

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA

Faculté Des Technologies
Département d'Aéronautique

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Aéronautique

ELABORATION D'UN SYSTEME AUTOMATISE DE SUIVI DE LA
MISE EN ŒUVRE DU CONCEPT CNS/ATM EN ALGERIE

Par

Abdessamed MOGTIT

Devant le jury composé de :

REZOUG Tahar	Professeur, U. de Saad Dahleb de Blida	Président
LAGHA Mohand	Maître de conférences (A), U. de Saad Dahleb de Blida	Rapporteur
BERGHEUL Said	Professeur, U. de Saad Dahleb de Blida	Examineur
BACHARI Nour El Islam	Professeur USTHB, Alger	Examineur

Blida, 23 juin 2013

ملخص

صادقت الدول الأعضاء في المنظمة الدولية للطيران المدني (ICAO) على اتفاقية شيكاغو مما يفرض عليها احترام القواعد التي وضعتها هذه الأخيرة. يتوجب على كل واحدة من هذه الدول اتخاذ التدابير الملائمة لتنفيذ نظام CNS/ATM بموجب الخطة العالمية للملاحة الجوية.

ونظرا للموقع الاستراتيجي للجزائر الذي يعد بوابة للحركة الجوية بين أوروبا وأفريقيا يجعلها مباشرة معنية بتحسين ورفع كفاءة نظم الاتصالات الملاحة و المراقبة الجوية.

و تلبية لهذا المطلب فإن الغرض من هذه الدراسة هو إجراء جرد أو احصاء لمواقع هذه الأنظمة الحالية ومن ثم سد الثغرات وإتمام النقائص مما يحسن أداء أفضل لنظام CNS/ ATM

كلمات البحث : نظام البرمجة –مدى التغطية CNS ATM –CNS ATM الجزائر

RESUME

Les états membres de l'Organisation Internationale de l'Aviation Civile (OACI) ont ratifié la convention de Chicago et doivent répondre aux règles établies par cette ladite organisation. Chaque un de ces états doit prendre les mesures appropriées pour mettre en œuvre le concept CNS/ATM requis conformément au plan mondial de navigation aérienne.

L'Algérie de part sa situation géographique stratégique elle représente une passerelle importante du trafic aérien entre l'Europe et l'Afrique. C'est la raison principale qui fait qu'elle est directement concernée par l'amélioration et la mise à niveau de tous les systèmes de Communication, de Navigation et de Surveillance c'est-à-dire du Concept CNS ATM.

Pour répondre à cet impératif, l'objet de cette étude est de faire l'état des lieux de l'existant, relever et puis compléter les carences, pour ainsi rendre meilleure les performances du concept CNS ATM.

Mots clés : Système informatisé – couverture CNS/ATM – CNS/ATM Algérie.

ABSTRACT

Member states of the International Civil Aviation Organization (ICAO) have ratified the Chicago Convention and must meet the rules established by the said organization. Each one of these states should take appropriate measures to implement CNS / ATM concept required under the Global Air Navigation Plan.

The Algeria due to its strategic location it is a gateway in air traffic between Europe and Africa. This is the main reason why it is directly concerned with the improvement and upgrade of all systems Communication, Navigation and Surveillance that is to say, the CNS ATM Concept.

To meet this requirement, the purpose of this study is to make an inventory of existing face and then fill gaps, thereby rendering better performance concept CNS ATM

Keywords: System computerized - Coverage CNS ATM - CNS ATM Algeria

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

- A mes très chers parents qui m'ont tant donné et ont tant sacrifié, que dieu les protèges.
- A ma chère sœur.
- A mes deux chers frères Ismail et Fouad.
- A tout mes amis du service navigation.
- A tout mes amis du département aéronautique de Blida.
- A toutes les personnes qui ont toujours été présents pour me donner courage et volonté.

M. Abdessamed

REMERCIEMENTS

Avant tout nous remercions DIEU le tout puissant pour l'accomplissement de ce travail, car sans DIEU rien n'aura lieu.

Grâce à notre encadreur Monsieur LAGHA Mohand, maître de conférences que je tiens à le remercier tout particulièrement pour m'avoir fait confiance pour ce projet, j'ai beaucoup appris en particulier dans la manière d'aborder une problématique de recherche scientifique. Son encadrement, sa grande disponibilité et la clarté de ses explications m'ont permis d'accomplir mon stage dans les meilleures conditions.

Au cours de ce projet, beaucoup de personnes m'ont apporté leur aide. Je suis notamment reconnaissante envers :

- MEGUELATI Ismaïne pour sa patience et le temps qu'il a consacré à résoudre des bugs.

- Le Chef Service de Navigation qui m'a accueilli dans leur service pendant les travaux, ainsi que Monsieur BENAHMED Ali pour ses aides ponctuelles concernant le logiciel de SIG.

Je tiens également à remercier Monsieur MEDDAH Larbi pour ses indications et remarques pertinentes concernant la rédaction de mon rapport.

Nos remerciements vont aussi à Messieurs T.REZOUG, S .BERGHEUL, N.BACHARI d'avoir accepté de faire partie du jury.

Enfin, je remercie ma famille pour m'avoir encouragé, soutenu et fait confiance tout au long de mes études.

TABLE DE MATIERES

RESUME	2
ABSTRACT	3
DEDICACE	4
REMERCIEMENTS	5
TABLE DE MATIERES	4
LISTE DES ILLUSTRATIONS ET TABLEAUX	6
1. SITUATION ACTUELLE DE L'ESPACE AERIEN ALGERIEN	12
1.1. Introduction	12
1.2. Position de l'Algérie dans le plan régional et international	13
1.3. Situation actuelle de l'espace aérien Algérien	14
1.4. Structure du trafic aérien Algérien	15
1.5. Conclusion	23
2.1. Introduction	24
2.2. Communication	25
2.3. Système de communication actuel en Algérie	25
2.4. Navigation	29
2.5. Moyens de radionavigation en Algérie	29
2.6. Surveillance	30
2.7. L'existant du l'élément surveillance en Algérie	30
2.8. Systèmes de gestion de trafic aérien	31

2.9. Critique de l'existant et besoins	36
2.10. Conclusion	37
3. COUVERTURE ET MODELE NUMERIQUE DU TERRAIN (MNT)	38
3.1. Introduction	38
3.2. Types de couverture	38
3.3. Besoins généraux	39
3.4. Besoins opérationnels	40
3.5. Analyse de couverture avec le modèle numérique de terrain	41
3.6. Propagation en visibilité	42
3.7. Analyse de couverture	45
3.8. Les sources d'erreurs de calcul de couverture	46
3.9. Conclusion	47
4. SIMULATIONS ET RESULTATS	48
4.10. Introduction	48
4.11. Principe de calcul	51
4.12. Architecture du programme	51
4.13. Algorithme	52
4.14. Résultats et discussions	55
4.15. Application	71
4.16. Conclusion	91
CONCLUSION GENERALE	92
LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS	95
REFERENCES	98

LISTE DES ILLUSTRATIONS ET TABLEAUX

Figure 1.1 : FIR d'Alger et ses limites	12
Figure 1.2 : FIR d'Alger avec sectorisation, zone de contrôle et espaces restreints	15
Figure 1.3 : Ventilation du trafic aérien par catégorie (2003/2004)	16
Figure 1.4 : Ventilation du trafic aérien par catégorie (2005/2006)	17
Figure 1.5 : Ventilation du trafic aérien par catégorie (2008/2009)	17
Figure 1.6 : Décomposition du trafic aérien entre (2003-2009)	18
Figure 1.7 : Évolution du trafic aérien de route par an (2003-2009)	19
Figure 1.8 : Évolution des vols par secteur	19
Figure 1.9 : Aéroport en termes de trafic	20
Figure 1.10 : Évolution du trafic des routes	21
Figure 1.11 : Répartition des niveaux de vol requis (par catégorie d'aéronef)	22
Figure 1.12 : Répartition des niveaux de vol requis [3]	23
Figure 2.1: Concept CNS/ATM	24
Figure 2.2 : Réseau fixe de télécommunications aéronautiques liaisons nationales [3]	27
Figure 2.3 : Les liaisons internationales [3]	27
Figure 2.4 : Connectivité du circuit voix de l'ATS	28
Figure 2.5 : Service fixe aéronautique (téléphone)	28
Figure 2.6 : Moyens de radionavigation en Algérie (NDB et VOR/DME)	29
Figure 2.7 : Antenne radar primaire celle en bas (www.radartutorial.eu)	30
Figure 2.8 : Relation entre les composants de CNS /ATM	31
Figure 2.9 : Aéroports dans la FIR d'Alger	34
Figure 3.1 : Minima opérationnel d'une couverture radar pendant les phases de vol [1]	40
Figure 3.2 : Model de TIN et RSG pour les altitudes [10]	41
Figure 3.3 : Zone d'étude	42
Figure 3.4 : Géométrie de l'atmosphère terrestre	43
Figure 3.5 : Phénomène de réfraction	44
Figure 3.6 : Mesure la distance maximale pour 4/3 de la terre	45

Figure 3.7 : Couverture radar pour deux sites différent [6]	46
Figure 4.1 : Mosaïque des données fournies du territoire Algérien.	49
Figure 4.2 : Coupe topographique AB- Région Alger « zone A » (3.70E-35.48N et 5.25E-36.21N)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 4.3 : Format d'un exemple réduit de fichier DTED	50
Figure 4.4 : Effet de sol sur une l'onde électromagnétique	51
Figure 4.5 : Architecture du programme	52
Figure 4.6 : Schéma illustrant le principe de calcul	53
Figure 4.7 : Mode de test du MNT	55
Figure 4.8 : Page de garde de l'utilitaire	56
Figure 4.9 : Page de démarrage	56
Figure 4.10 : Module de choix	57
Figure 4.11 : Fenêtre de menu principal (couverture Radar et VHF)	58
Figure 4.12 : Fenêtre de menu principal de la barre de menu	59
Figure 4.13 : Module de mise à jour	59
Figure 4.14 : Exemple d'une fenêtre de données de Radar de surveillance d'Algérie»	60
Figure 4.15 : Organigramme de mise à jour	60
Figure 4.16 : Fenêtre présentant le nord Algérien	61
Figure 4.17 : Message d'avertissement de la fenêtre topographique	62
Figure 4.18 : Fenêtre d'entrée les informations nécessaires	62
Figure 4.19 : Exemples de simulation de Radar El Oued (Guemar) à FL 100	63
Figure 4.20 : Exemple de couverture Radar El Bayedh composé sur la topographie	63
Figure 4.21 : Couverture Radar à FL 100, 200,300 sur la topographie	64
Figure 4.22 : FIR d'Alger avec sectorisation actuelle, routes aériennes à haute altitude	65
Figure 4.23 : Couverture Radar simple FL 100, 200,300	66
Figure 4.24 : Couverture Radar multiple à FL 100, 200,300	67
Figure 4.25 : Organigramme du module tridimensionnel	68
Figure 4.26 : Menu principal du module tridimensionnel	69
Figure 4.27 : Exemple de couverture Radar « El Bayedh et El Oued »	70
Figure 4.28 : Couverture multiple actuelle des radars composée à FL 100, 200 300	72
Figure 4.29 : Couverture Radar Multiple actuelle à FL 200	73
Figure 4.30 : Couverture Radar Multiple des cinq radar avec les nouveaux radar proposés à Constantine et Hassi Messaouad.	75
Figure 4.31: Couverture Radar Multiple à FL 200 Pour nouveaux Radars en Route Proposés à Constantine et Hassi Messaouad	76
Figure 4.32 : Couverture Radar Multiple à FL 200 avec les nouveaux Radars en Route Proposés à Constantin, Hassi Messaouad et Ghardia	77

Figure 4.33 : Couverture radar multiple des nouveaux Radars en route proposés TMS, DJA, BOD à FL 100, 200,300	78
Figure 4.34 : Effet de géométrie d'une onde électromagnétique	79
Figure 4.36 : Couverture VHF au nord	81
Figure 4.37 : Couverture VHF au sud	82
Figure 4.38 : Couverture VHF simple au nord FL (100, 200,300)	84
Figure 4.39 : Couverture VHF simple au sud FL (100, 200,300)	85
Figure 4.40 : Couverture VHF multiple au nord FL (100, 200,300)	86
Figure 4.41 : Couverture VHF multiple au sud FL (100, 200,300)	87
Figure 4.42 : Couverture VHF multiple au nord à FL 200	88
Figure 4.43 : Couverture VHF multiple au sud à FL 200	89
Figure 4.44 : Couverture VHF multiple proposé au sud à FL (100, 200,300)	90
Figure 4.45 : Couverture VHF multiple proposé au sud à FL 200	91
Tableau 1.1 : Secteurs actuels dans l'espace aérien	14
Tableau 2.1 : Antennes VHF installés dans la FIR d'Alger	26
Tableau 2.2 : Radar installés dans la FIR d'Alger	31

INTRODUCTION GENERALE

Les efforts de l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI) pour répondre aux besoins de l'industrie du transport aérien et de l'aviation civile internationale ont été axés sur la coordination des processus de planification à l'échelle mondiale afin de mettre en œuvre un système mondial de gestion de trafic aérien (ATM) qui soit une évolution du concept de systèmes communications, navigation, surveillance et de gestion du trafic aérien CNS/ATM fondé sur les technologies [18].

L'Algérie et comme toutes les régions de l'OACI se sont, depuis engagés dans des programmes régionaux de mise en œuvre, destinés à améliorer les opérations aériennes en faisant appel aux technologies CNS/ATM.

Les installations radar et VHF du contrôle de la circulation aérienne (ATC) varient du plus simple au plus sophistiqué dans le monde, alors que les capacités actuelles d'exploitation du trafic aérien dans la région d'information de vol (FIR) d'Alger, en matière de communication et surveillance, ont atteint leur objectif jusqu'ici et dépassent, dans bien des cas, les niveaux requis par le plan régional [19], mais doivent être optimisées pour répondre aux demandes futures.

L'élément décisif pour la mise en place des nouvelles installations pour est l'estimation de la couverture c.-à-d. la visibilité depuis leur point d'origine. Où une couverture correspond à l'ensemble du secteur visible depuis un point de vue donné. Cela correspond en fait à un calcul de propagation du signal visuel ou de signaux électromagnétiques. Parmi la multitude d'applications possibles, voici quelques exemples : le placement optimal de points d'observations selon des contraintes prédéfinies, le calcul d'itinéraires avec certaines propriétés de visibilité, les emplacements de radars, la position d'émetteurs de radio, ou de encore la position de certains points exigeant de ne pas être visibles

(équipements dans des zones protégées ou militaire). Plusieurs panels des difficultés et des questions qui peuvent être résolues à partir des informations relatives à la visibilité ont été établis par Nagy [16], De Florian et al. [14], Fisher [15], O'Sullivan et Turner [17].

Nous allons nous intéresser à la simulation de couverture Radar et VHF à l'appui de modèle numérique de terrain aux fins d'une exécution efficace du contrôle de la circulation aérienne, ce qui demeure l'objectif ultime.

Pour mener à bien ce mémoire, l'étude se scinde en quatre chapitres :

Le premier chapitre décrit l'espace aérien souverain, Les accords pris par l'Algérie sur le plan régional et international. La gestion de la circulation aérienne à travers de différents regards.

Le deuxième chapitre définit les fonctions actuelles du système CNS/ATM en Algérie lors de la fourniture de services de la circulation aérienne (ATS). Aussi le besoin de l'amélioration leurs capacités tout en maintenant ou en optimisant le niveau actuel de sécurité aérienne.

Le troisième chapitre s'intéresse à la surveillance radar indépendante (primaire) et indépendante coopérative (secondaire) et à la communication VHF (pilote-contrôleur) dans l'espace aérien en route et dans les grandes régions terminales. Ainsi que les données nécessaires pour la réalisation de ladite couverture.

Finalement, le dernier chapitre de ce mémoire est consacré aux résultats des simulations de couverture radar et VHF dans la FIR d'Alger et aux commentaires.

Ce manuscrit se terminera par une conclusion générale suivie par des perspectives sur le travail effectué.

CHAPITRE 1

SITUATION ACTUELLE DE L'ESPACE AERIEN ALGERIEN

1.1. Introduction

La position géographique de l'espace aérien Algérien est comprise entre le 19° N jusqu'à 39°N parallèle et entre le 9°W jusqu'au 12° E méridiens. L'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA) assurant le service du contrôle aérien et d'informations en vol aux aéronefs traversant l'espace aérien national qui s'étend à la partie sud de la Méditerranée contiguë aux régions (FIR) (s) Marseille, Barcelone et Séville au Nord et adjacent à l'ouest à la FIR Casablanca, à l'est à la FIR Tunis et Tripoli, au Sud à la FIR Dakar et Niamey voir (figure 1.1) [3].

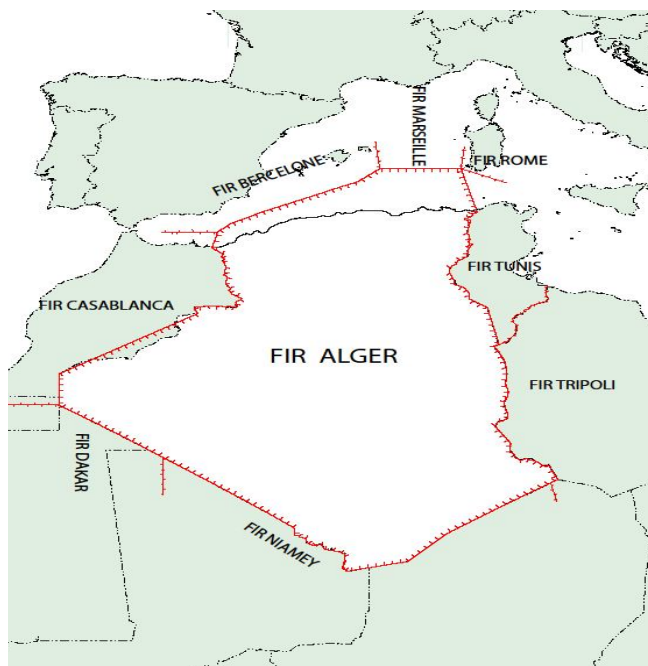


Figure 1.1 : FIR d'Alger et ses limites

1.2. Position de l'Algérie dans le plan régional et international

1.2.1. Plan AFI de mise en œuvre du CNS/ATM

Le Plan de mise en œuvre pour la région AFI a été conçu comme un plan glissant étalé sur quinze ans. Ce plan est destiné à permettre la mise en œuvre du système intégré CNS/ATM de l'OACI dans l'ensemble de la région AFI et à l'interface avec les régions adjacentes [8].

La coordination régionale entre les pays voisins est un élément crucial pour assurer la mise en œuvre en douceur de systèmes CNS/ATM nouveaux et gérer les évolutions des systèmes de navigation aérienne aux frontières entre les régions OACI.

1.2.2. Plan commun EFP

le Plan d'Espagne, de la France et du Portugal (EFP) était conçu pour harmoniser les trois (3) systèmes de navigation aérienne par un partage des ressources et des données et en prenant en compte les programmes d'Eurocontrol visant à harmoniser les systèmes de navigation aérienne européens.

En 1996, après six ans de collaboration entre l'Espagne, la France et le Portugal, il a été décidé d'étendre le "Plan EFP" à l'Algérie et au Maroc, et c'est ainsi qui a fait la naissance du "Plan AEFMP".

Initialement, les deux plans ont fonctionné en parallèle et ont contribué au progrès et à l'harmonisation des systèmes ATM et simultanément, ils ont permis d'améliorer la coordination au sein de l'espace des cinq pays [8].

1.2.3. Plan commun AEFMP, coordination et collaboration

Le Plan régional d'Espagne, la France, le Portugal et l'Algérie et au Maroc AEFMP ce plan commun a démontré sa capacité à constituer un excellent cadre pour la coordination, le partage d'information et de connaissance et l'amélioration des relations entre pays voisins [8].

1.3. Situation actuelle de l'espace aérien Algérien

1.3.1. Espace aérien des services de la circulation aérienne

1.3.1.1 Région d'information de vol

La FIR d'Alger contient l'espace aérien souverain immédiat chevauchant l'Algérie et l'espace aérien international au-dessus de la Méditerranée qui lui est délégué par l'OACI.

La FIR est délimitée par les points suivants : 39°00''N 008°00''E, 39°00''N 004°40''E, 38°20''N 003°45'' E, 36°15''N 00130''W, 35°50''N 002°06''W, 35°05''N 002°12''W, suivant ensuite les frontières nationales de l'Algérie [3].

1.3.1.2 Classification de l'espace aérien

L'espace aérien algérien est composé d'une seule FIR, à l'intérieur de cette FIR, quatre classes d'espace sont utilisées actuellement, A, D, F et G.

↳ Division de l'espace aérien

Le tableau 1.1 donne les (07) secteurs exploités par les contrôleurs de la navigation aérienne de L'ENNA. Chaque secteur avec ses limites regroupées dans sa classe [3].

Secteurs	Altitudes	Classe
TMA Alger Centre	FL245/FL450	A
TMA Nord-est	450M/FL450	D
TMA Oran	450M/FL450	D
Sud-Centre	Toutes	F
Sud-Ouest	Toutes	F
Sud-Est	Toutes	F
Sud-Sud	Toutes	G

Tableau 1.1 : Secteurs actuels dans l'espace aérien

↳ Les zones déléguées à l'approche

Le contrôle d'approche est actuellement fourni à Alger, Annaba, à Constantine, à Oran, et Hassi Messaoud. La prestation de surveillance est actuellement fournie à Alger, Annaba, et Oran.

↳ Les zones à statuts particuliers

Ce sont des espaces aériens réservés en fonction de leur utilisation spéciale et des besoins de la défense nationale. Il existe pratiquement trois types de zones à statuts particuliers : zones dangereuses, réglementées et interdites.

La figure 1.2 présente l'espace aérien à statut particulier actuel et les zones de contrôle d'approche en jaune et zone a statuts particuliers dans la FIR d'Alger.

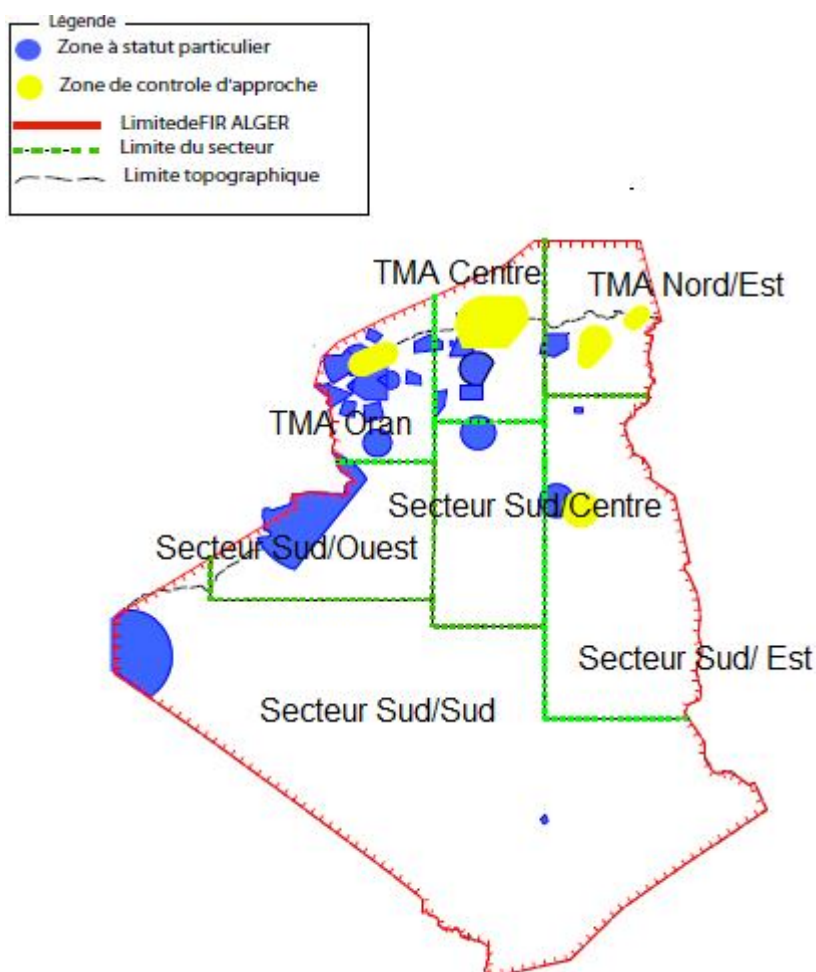


Figure 1.2 : FIR d'Alger avec sectorisation, zone de contrôle et espaces restreints

1.4. Structure du trafic aérien Algérien

La structure du trafic aérien est caractérisé au regard de la catégorie, de mois, de secteurs, de l'aérodrome, de trafic des routes aériennes et de l'occupation des niveaux de vol [9].

1.4.1. Par catégories

Les statistiques officielles de L'ENNA classent les vols en trois catégories :

- ↳ Survol d'aéronefs : Aéronefs survolant l'espace aérien algérien et pris en charge par le centre de contrôle régionale (CCR).
- ↳ Survol avec escale : (Nationaux et Internationaux) : Il s'agit de vol comportant au moins une escale sur le territoire national.
- ↳ Survol sans escale : Vols sans atterrissage (transit).

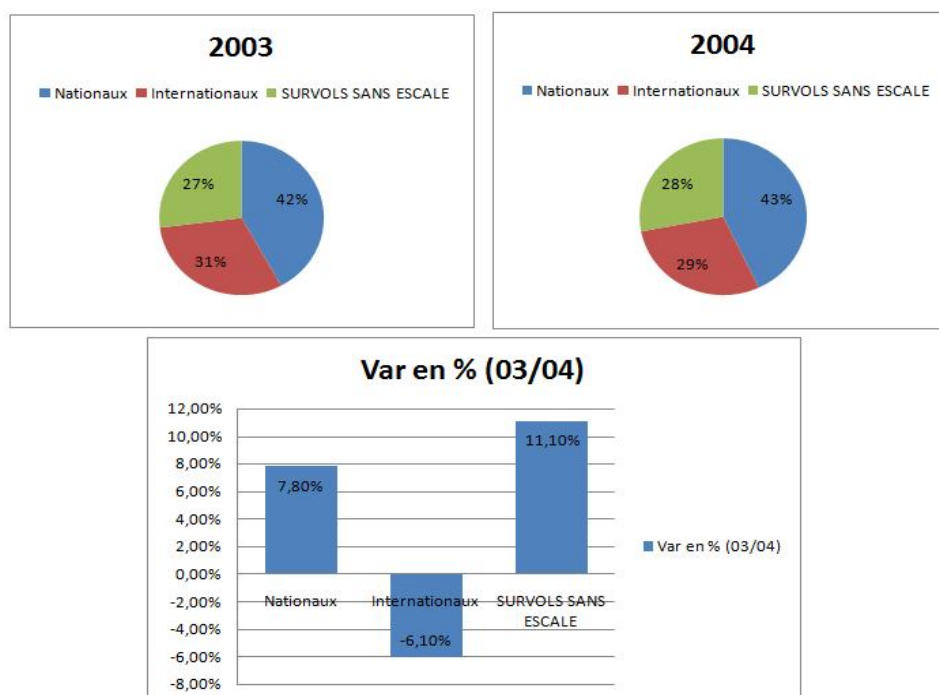


Figure 1.3 : Ventilation du trafic aérien par catégorie (2003/2004)

L'ATC algérien a pris en charge plus de 141765 vols en 2004, soit 4,4% de plus par rapport à 2003 (135768 vols). En 2004, les survols ont continué à se développer à une allure saine 11.3%, mais les vols Internationaux avec atterrissage ont chuté de 6.1% et les vols Nationaux en Algérie ont augmenté de 7.8% par rapport à 2003 [11].

Aussi ils ont enregistré aussi plus de 142180 vols en 2005, soit 0.3% de plus par rapport à 2004. En 2005, les survols ont continué à se développer 8.5%, mais les vols nationaux en Algérie ont chuté de 6.4%, et les vols Internationaux avec atterrissage ont augmenté de 1.8% par rapport a 2004 [11].

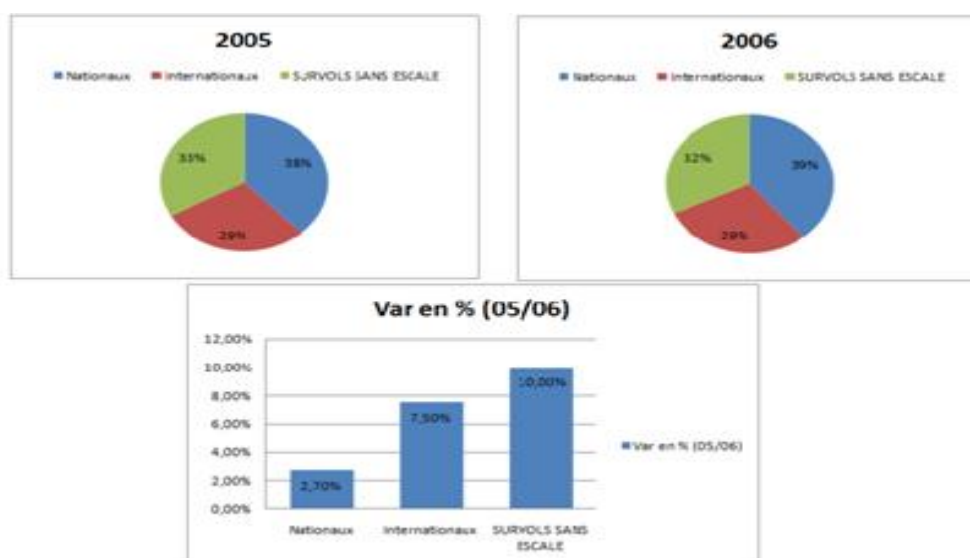


Figure 1.4 : Ventilation du trafic aérien par catégorie (2005/2006)

Le nombre de vols enregistré en 2006 est de 151283 vols, soit 6.4% de plus par rapport à 2005. En 2006, les survols ont continué à se développer 10%, les vols nationaux en Algérie ont augmenté de 2.7%, et les vols Internationaux avec atterrissage ont augmenté de 7.5% par rapport a 2005 [4].

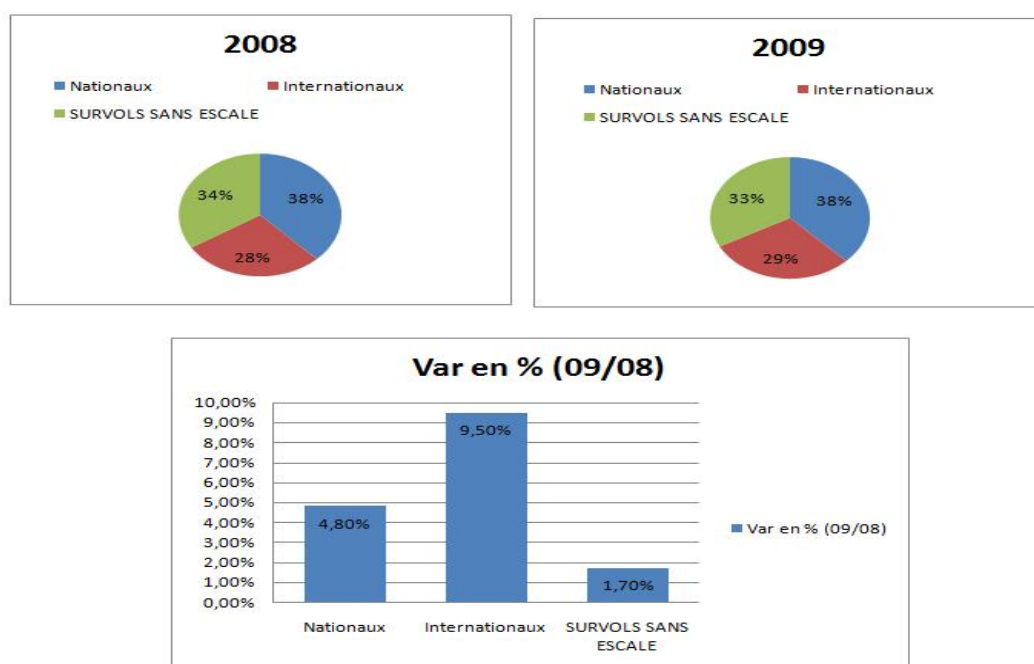


Figure 1.5 : Ventilation du trafic aérien par catégorie (2008/2009)

D'importantes variations ont été enregistrées dans les schémas de trafic :

Plus de vols circulation aérienne générale (CAG) ont été contrôlés pour l'année 2009 (176867 vols) par rapport à l'année 2008 (168314 vols). Le trafic a enregistré une hausse de 5,1%. En 2009 les survols ont continué à se développer à une allure de 1.7%. Les vols internationaux avec atterrissage ont poursuivi leurs croissances de 9.5% et les vols nationaux en Algérie ont augmenté de 4.8% par rapport à 2008 [4].

La figure suivante (Figure 1.6) montre la décomposition de trafic algérien où les vols nationaux constituent la partie dominante opérations, suivies de près par les survols mais ce n'est qu'à partir de 2004. Et enfin viennent les vols Internationaux avec atterrissage.

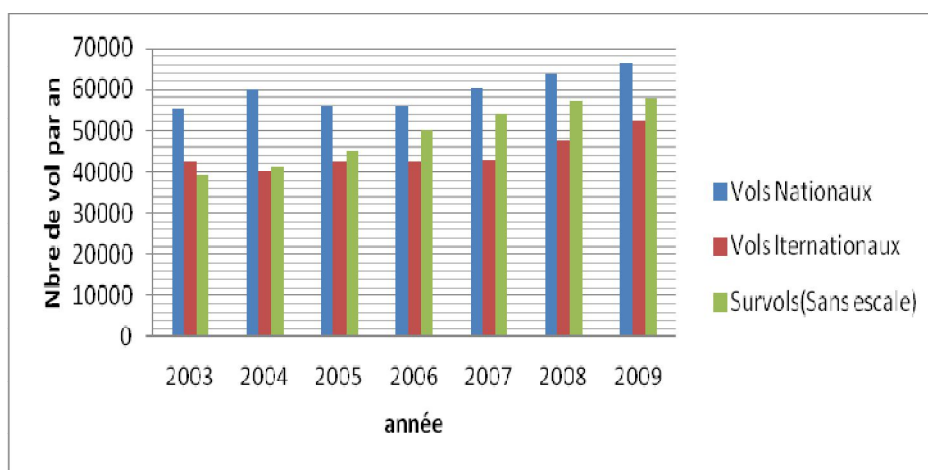


Figure 1.6 : Décomposition du trafic aérien entre (2003-2009)

La figure suivante indique l'évolution du trafic aérien durant les dernières années. Il est intéressant d'observer que les survols en Algérie ont pu garder une allure de croissance saine, alors que les vols internationaux ont connu une légère baisse entre 2003 et 2004 suivis d'une stabilité jusqu'à 2005 ou le trafic retrouve sa croissance. Et que Vols nationaux entre (2003-2009) ont enregistré un niveau de croissance de 60000 vols en 2004, puis une légère baisse en 2005 qui n'est pas réelle mais due au manque d'enregistrement de certains vols, une fois remédié a ce problème le trafic retrouve sa fourchette de croissance [4].

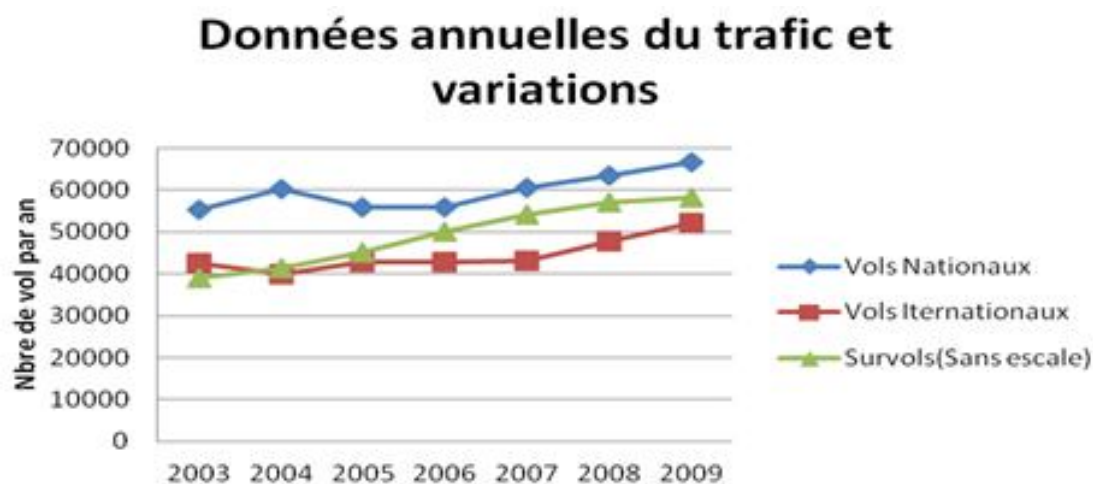


Figure 1.7 : Évolution du trafic aérien de route par an (2003-2009)

1.4.2. Par secteurs

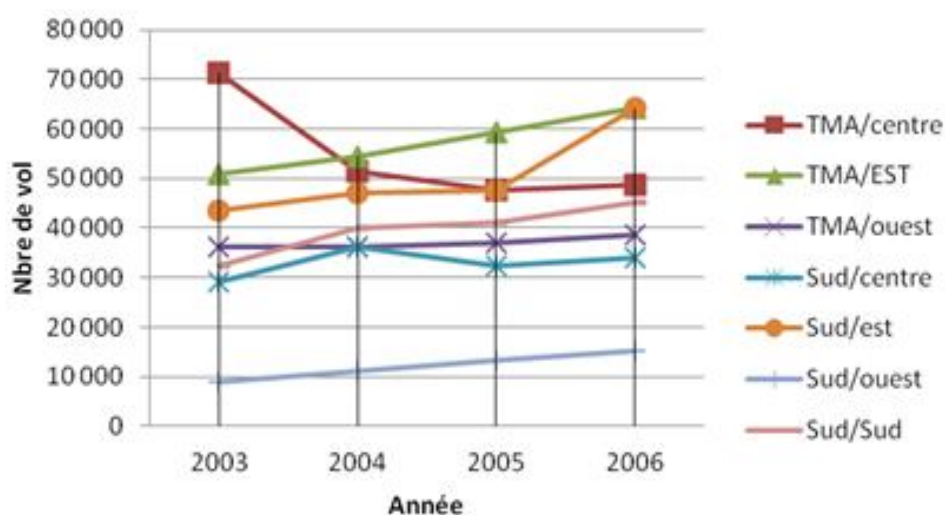


Figure 1.8 : Évolution des vols par secteur

L'évolution du trafic entre 2003 et 2004 était croissante pour tous les secteurs sauf pour la TMA/Centre où la chute était très importante 28% de moins par rapport à 2003, quand à la TMA/Ouest sa chute était moins importante que la TMA/Centre [4]. Pour le nombre de vols entre 2004 et 2005 c'est le secteur Sud/Centre qui décroît à son tour avec la TMA/Centre qui continue sa chute, on remarque une croissance du trafic dans tous les secteurs entre 2005 et 2006 avec une croissance très importante du secteur Sud/Est [4].

On constate que la partie « Est » de la FIR connaît une évolution très élevée du trafic qui la classe en première position avec un taux qui dépasse les 75000 vols chaque un et c'est parmi les problèmes qui vont conduire a une nouvelle sectorisation de l'espace actuel [4].

1.4.3. Par aéroports

La figure suivante (Figure 1.9) montre les plus importants aéroports jusqu'à le moins en terme de trafic dans le territoire national (année 2009).

Notons que pour obtenir des nouveaux secteurs dans la FIR d'Alger, on peut prendre comme une sélection préliminaire les aéroports (Alger, Hassi-Messaoud, Oran, Constantine, Annaba, Batna, In Amenas, Hassi-Rmel, Biskra, Ouargla, Bejaia, Tamanrasset, et Ghardaïa) entrant dans la reconfiguration de l'espace actuel.

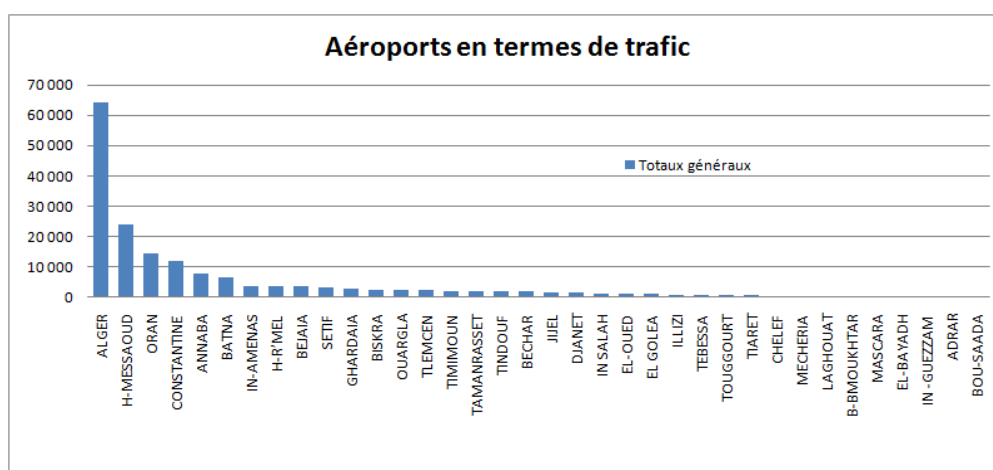


Figure 1.9 : Aéroport en termes de trafic

1.4.4. Trafic des routes aériennes

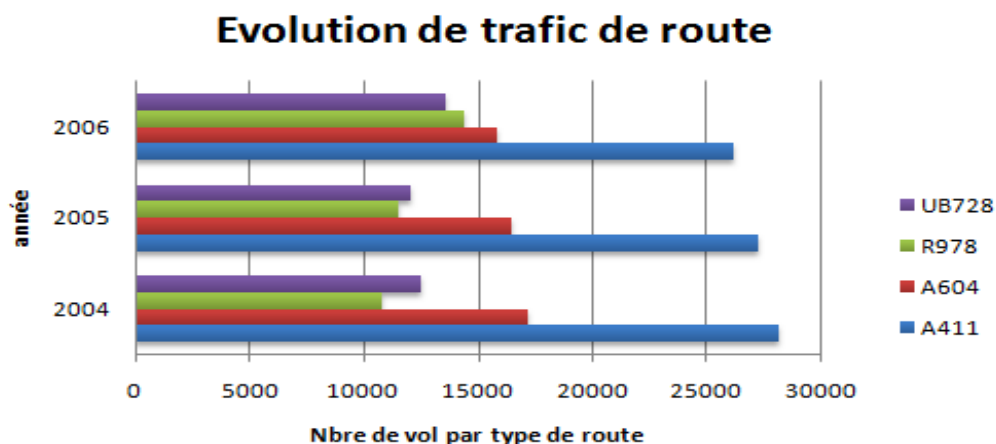


Figure 1.10 : Évolution du trafic des routes

Après avoir analysé le trafic des routes, on a pu constater que les routes les plus empruntées sont la A411 ; la A604 ; la R978 ; et la UB726. ou on enregistre plus de 25000 vols en 2006 rien que pour la A411 [4].

1.4.5. Par occupation des niveaux de vol

Les niveaux de vol requis pour les vols d'aéronefs se situent principalement dans l'espace aérien inférieur qui compte 45% des vols enregistrés en CAG.

Suivi de près par le niveau supérieur qui compte lui aussi un taux considérable par la demande de cet espace aérien par certains avions comme l'illustre la figure 1.11. Finalement remarquons une légère demande sur le niveau de transition qui enregistre les 13% restant.

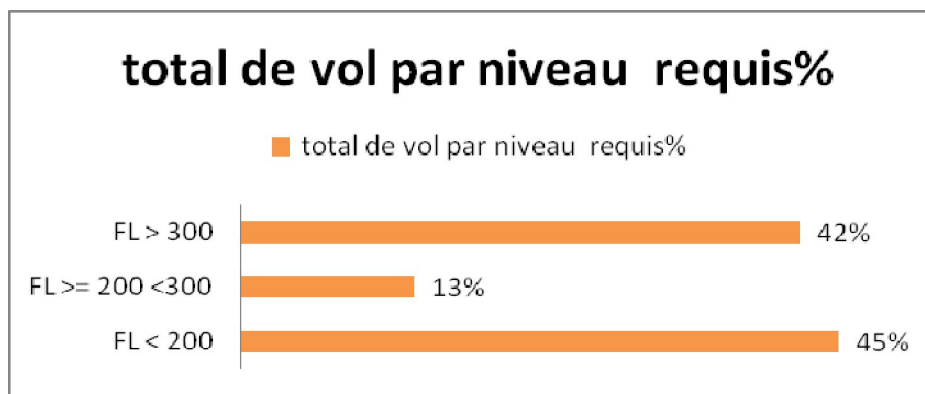


Figure 1.11 : Répartition des niveaux de vol requis (par catégorie d'aéronef)

En tenant compte la densité mesurée dans le niveau haut donné de l'espace aérien donné, nous conduira à une reconfiguration de l'espace verticale et avoir deux niveaux de sectorisation [4].

↳ Sectorisation basse altitude.

↳ Sectorisation haute altitude.

La figure 1.12 illustre sectorisation basse et haute altitude dans l'espace aérien algérien

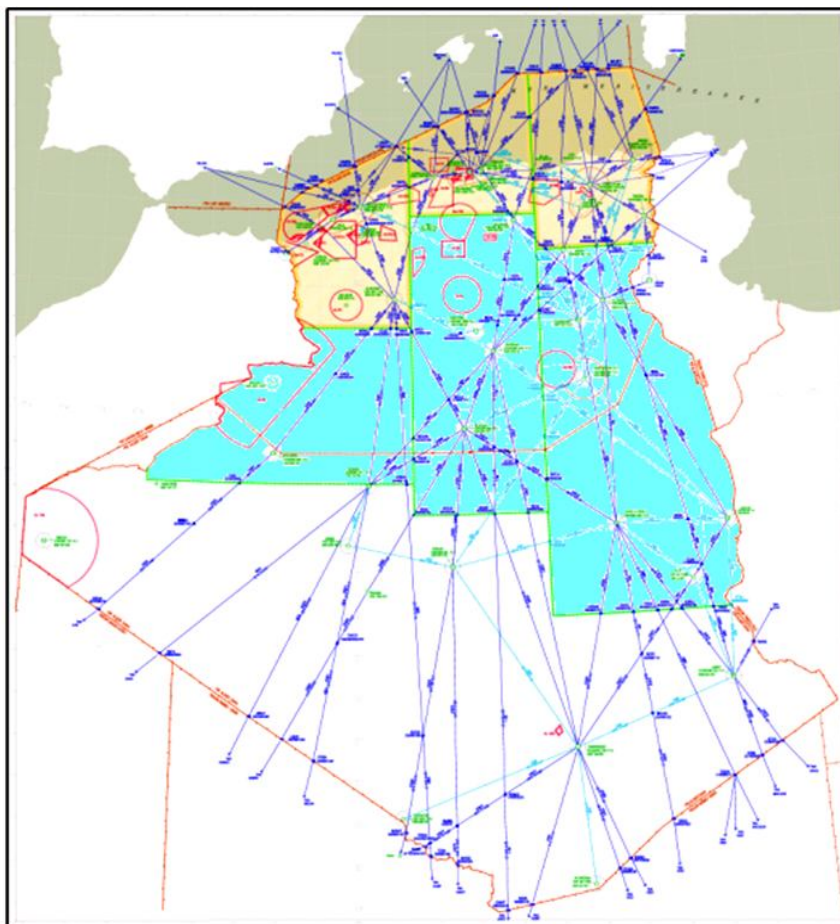


Figure 1.12 : Répartition des niveaux de vol requis [3]

1.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté un récapitulatif sur les différents engagements pris par l'Algérie sur le plan régional et international pour la mise en place du contrôle positif visant à améliorer les indicateurs de sécurité nationale de la navigation aérienne et nous avons décrit la situation actuelle de l'espace aérien. Puis, nous avons étudié la structure du réseau ATM Algérien et son évolution à travers de différents regards. Cette dernière étape nous a permis de constater de nombreuses anomalies qui vont conduire à la préparation d'un système national de navigation aérienne (CNS / ATM) pour répondre aux exigences internationales.

CHAPITRE 2

CONCEPT DES SYSTEMES COMMUNICATION, NAVIGATION, SURVEILLANCE ET DE GESTION DU TRAFIC AERIEN (CNS/ATM) EN ALGERIE

2.1. Introduction

Le processus de prendre un avion sans risque et efficacement de son origine à la destination exige les systèmes de gestion efficaces de trafic aérien soutenus par trois fonctions principales en utilisant la technologie satellite : Communication, Navigation et Surveillance. L'OACI appelle les trois fonctions les systèmes de CNS et les considère comme les services de support de base des systèmes de l'ATM.

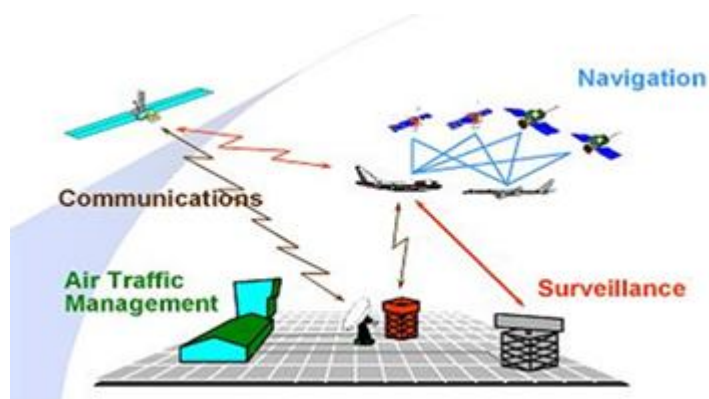


Figure 2.1: Concept CNS/ATM

2.2. Communication

L'élément de communication des systèmes de CNS/ATM prévoit l'échange des données et des messages aéronautiques entre les utilisateurs aéronautiques et/ou les systèmes automatisés.

Des systèmes de communication sont également employés à l'appui des fonctions spécifiques de navigation et de surveillance. On l'envisage que la plupart des communications air-sol courantes dans la phase en cours de route du vol seront par l'intermédiaire d'échange numérique de données. Pour des communications de secours, la voix demeurera comme moyens primaires des communications air-sol. Pour des communications de sol-sol, elle est envisage que la plupart des communications courantes entre les utilisateurs et les systèmes aéronautiques au sol (bureaux de météorologie, des bureaux de NOTAM, des banques de données aéronautiques, des unités d'ATS, etc.) seront par échange de données.

2.3. Système de communication actuel en Algérie

Les services de télécommunication sont assurés pour toute la FIR d'Alger, l'autorité chargée de la fourniture des installations de télécommunications et de navigation est l'administration de l'aviation civile.

1.3.1. Type de communication

- Communications Air-Sol de tour et du contrôle d'approche

Assurées à travers des radios VHF analogiques de 25 KHz conformes au standard de l'OACI. Les antennes sont situées à la base de la tour mais à des étages différents [4].

- Communications Air-Sol en route

Les communications en route sont assurées par seize sites (16) d'émetteurs/récepteurs VHF distants dispersés à travers le pays [11].

Site (Ville)	Altitude (m)
Adrar	279
Alger	25
Annaba	1008
Bechar	811
Constantine	702
Djanet	968
El Golea	400
Ghardaïa	461
Hassi Messaoud	141
Illizi	542
In Salah	269
Oran	580
Tamanrasset	1377
Tiaret	989
Tindouf	443
Zarzaitine	563

Tableau 2.1 : Antennes VHF installés dans la FIR d'Alger

- Communications Point à Point

↳ Réseau fixe de télécommunications aéronautiques (AFTN)

Les plans de vol, l'information aéronautique, et l'information météorologique sont collectés et diffusés par l'AFTN aussi bien à l'intérieur de la FIR d'Alger que dans les FIR adjacentes.

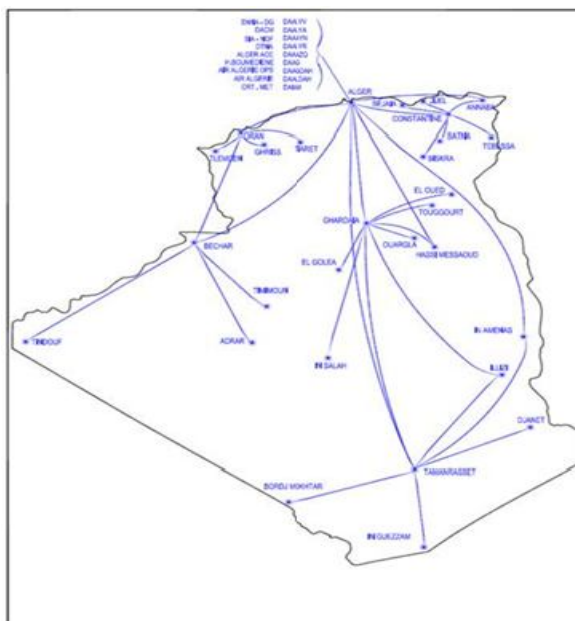


Figure 2.2 : Réseau fixe de télécommunications aériennes liaisons nationales [3]



Figure 2.3 : Les liaisons internationales [3]

↳ Réseau Voix de l'ATS

Le service d'interphone voix de l'ATS est assuré entre le CCR d'Alger et les unités de service internes du trafic aérien et les CCR adjacentes à travers un nouveau commutateur de communications au niveau du CCR d'Alger.

2.4. Navigation

L'élément de navigation des systèmes de CNS/ATM est censé pour fournir des possibilités précises, fiables et sans couture de détermination de position, mondiales, par l'introduction de la navigation aéronautique par satellite ou du système satellite de navigation globale (GNSS).

2.5. Moyens de radionavigation en Algérie

Les moyens de radionavigation et les infrastructures aéroportuaires jouent un rôle prépondérant dans la sécurité de la navigation aérienne. La navigation est généralement fournie dans la FIR d'Alger par un système de VOR et DME la plupart de ces VOR sont installées au niveau des aéroports sur la ligne centrale prolongée de la piste principale de l'aéroport [3].

Il existe actuellement:

- ↪ 33 VOR (VHF Omni Range).
- ↪ 33 DME (Distance Measuring Equipment).
- ↪ 41 NDB (Non Directional Beacon).
- ↪ 16 ILS (Instrument Landing System).

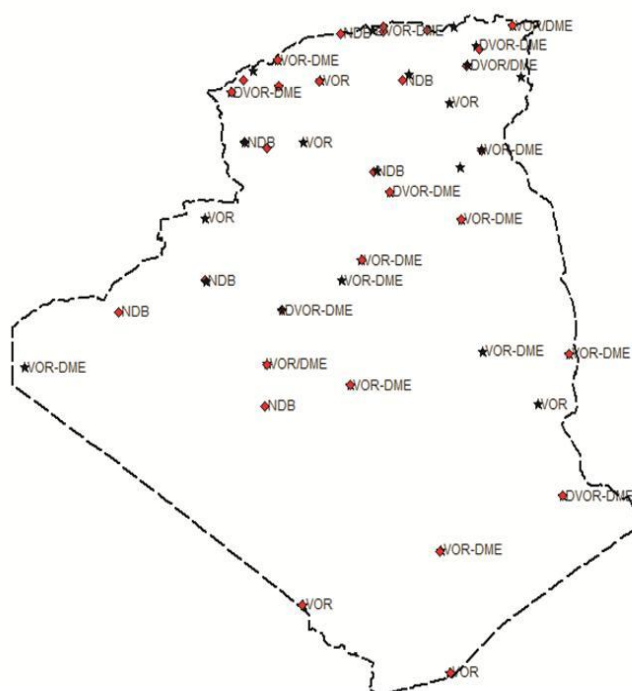


Figure 2.6 : Moyens de radionavigation en Algérie (NDB et VOR/DME)

2.6. Surveillance

Les systèmes de surveillance actuellement en service peuvent être divisés en deux types principaux :

- ↳ Surveillance dépendante.
- ↳ Surveillance indépendante.

Dans les systèmes dépendants de surveillance, la position de l'avion est déterminée à partir de l'équipement à bord et puis donnée par le pilote à l'ATC par la radiotéléphonie. La surveillance indépendante est un système qui mesure la position de l'avion par rapport au sol.

La surveillance courante est basée sur le radar (radar primaire de surveillance (PSR) ou radar secondaire de surveillance (SSR)) que les mesures s'étendent en azimut d'avion de la station au sol.



Figure 2.7 : Antenne radar primaire celle en bas (www.radartutorial.eu)

2.7. L'existant du l'élément surveillance en Algérie

Cinq radars secondaires et un radar primaire ont été installés en tant qu'élément du projet TRAFCA [2].

Type	Station Radar	Site
Primaire/Secondaire	Oued Smar	Alger
Secondaire	Seraidi	Annaba
Secondaire	Murdjadjo	Oran
Secondaire	Guemmar	EL Oued
Secondaire	Bouderga	EL Bayadh

Tableau 2.2 : Radar installés dans la FIR d'Alger

2.8. Systèmes de gestion de trafic aérien

L'ATM est employée pour décrire le volume et les activités de gestion de trafic aérien qui sont effectuées conjointement par des autorités aéronautiques concernées par la planification et l'organisation pour l'usage efficace du volume et de ses mouvements dans leurs régions de la responsabilité.

L'ATM se compose d'un espace aérien et d'un composant au sol, de tous les deux étroitement intégrés par des procédures bien définies et des interfaces.

Le composant au sol se compose les services de la gestion d'espace aérien (ASM), de la mesure d'écoulement de trafic aérien (ATFM) et de trafic aérien (ATS).



Figure 2.8 : Relation entre les composants de CNS /ATM

1.8.1. Systèmes de gestion du trafic aérien (ATM) en Algérie

↳ Tours de contrôle du trafic aérien

Il y a 35 tours de contrôle (civil) du trafic aérien dans la FIR d' Alger, L'ENNA fournit des services de trafic aérien aux aéroports civils et à usage commun.

2.8.1.1 Centre de contrôle de la zone d'Alger

Un nouvel CCR d'Alger a été construit en tant qu'élément du projet TRAFCA. Il est installé dans un nouveau bâtiment avec une nouvelle salle de contrôle moderne de classe internationale.

↳ Moyens d'urgence.

↳ L'ENNA dispose de moyens techniques mobiles (Tour, VOR, NDB, groupes électrogènes) pouvant être déployés dans les situations d'urgence.

↳ Projet IEBA (Infrastructures Électriques et Balisage de l'aérodrome d'ALGER).

↳ Projet TRAFCA (Traitement Automatique des Fonctions de la Circulation).

↳ Le CQRENA est situé à côté de l'installation du CCR d'Alger :

Le projet TRAFCA a permis également la construction cette nouvelle installation moderne de formation, d'expérimentation et de simulation.

C'est une excellente plate-forme pour développer et tester de nouveaux équipements et procédures et pour développer le futur personnel de l'ENNA.

2.8.1.2 Concept d'exploitation

Les infrastructures actuellement dans la FIR d'Alger fournissent les services requis mais ont besoin d'améliorations pour répondre aux besoins de demain.

2.8.1.3 Opérations d'aéroport et tours de contrôle du trafic aérien

L'Algérie compte trente six (36) aérodromes répartis comme suit :

↳ Onze (11) Aérodromes internationaux

Alger, Constantine, Annaba, Tlemcen, Oran. In-Amenas, Tamanrasset, Adrar, Hassi-Messaoud, Ghardaïa (Noumerat), et In Salah.

↳ Vingt cinq (25) Aérodromes domestiques

Bechar, Biskra, Ouargla, Tindouf, Hassi R'mel, Méchéria, Sétif, Laghouat, In - Guezzam. Mascara, Biskra, Bejaia, Bordj Mokhtar (Adrar), Timimoun (Adrar), Zarzaitine (Illizi), Tindouf, Chlef, Bou Saâda, El Oued. El Bayedh, Jijel, Tebessa, Tiaret, Batna, El Goléa (Ghardaïa), Djanet (Illizi).

La plupart des aéroports sont soutenus par une approche VOR avec la VOR placée sur ou à proximité de la ligne centrale prolongée de la piste principale de l'aéroport. Certaines ont des capacités d'approche de précision (CAT I) soutenues par un système d'atterrissage aux instruments sur la piste principale. Ce complexe d'installations est bien convenable pour soutenir les opérations de trafic aérien dans la FIR d'Alger.

Des efforts continus seront exigés pour maintenir ces équipements en très bon état et pour introduire de nouvelles technologies de concert avec les besoins des usagers et d'autres fournisseurs de services régionaux [3].

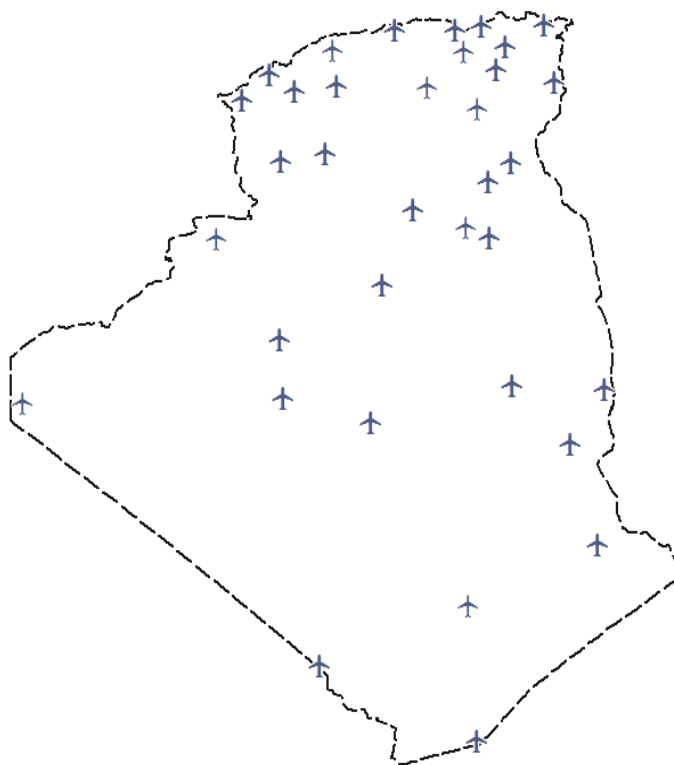


Figure 2.9 : Aéroports dans la FIR d'Alger

2.8.1.4 Service d'information aéronautique

Le Service de l'information aéronautique qui constitue une structure de l'organisation de l'aviation civile algérienne assure le flux de l'information nécessaire à la sécurité, la régularité et l'efficacité de la navigation aérienne internationale et nationale dans sa zone de responsabilité. Il se compose du service de l'information aéronautique comprenant le bureau NOTAM International (NOF) et les unités établies sur les aérodromes.

2.8.1.5 Zone de responsabilité

La zone de responsabilité du service de l'information aéronautique Algérienne en matière d'information aéronautique s'étend au territoire de l'Algérie ainsi qu'à l'espace aérien maritime placé sous sa juridiction aux fins de contrôle de la circulation aérienne.

2.8.1.6 Publications aéronautiques

L'information aéronautique est fournie dans le cadre du système intégré d'information aéronautique qui se compose des éléments suivants :

- ↪ Publications d'information aéronautique (AIP).
- ↪ Amendements à l'AIP (AMDT AIP).
- ↪ Supplément d'AIP (SUP AIP).
- ↪ NOTAM et bulletins d'information pré vol (PIB).
- ↪ Circulaires d'information aéronautique (AIC).
- ↪ Listes récapitulatives et résumés diffusés mensuellement.

Il est rappelé que seuls les aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique (CAP) bénéficient des services de l'information aéronautique. Toutefois, des renseignements de base pourront, à titre indicatif, être insérés dans l'AIP pour certains aérodromes ouverts à usage restreint.

1.8.2. Services météorologiques

2.8.2.1 Services compétents

L'Office National de la Météorologie, sous tutelle du ministère des transports est l'autorité chargée de donner satisfaction, aux besoins de la navigation aérienne ainsi qu'aux autres demandes d'ordre météorologique.

Parmi les informations fournis par le centre météorologique national.

- ↪ Des données climatologiques concernant les renseignements au sol:
 - Valeurs moyennes de la nébulosité, et des précipitations.
 - Des phénomènes particuliers (brouillard, orage, grêle, sirocco, vent de sable).

↪ Données particulières:

Sur les fréquences des vents, des diverses valeurs de visibilité et de la hauteur des nuages.

- ↪ Stations pour lesquelles il existe des moyennes climatologiques des renseignements en altitude :
 - ↪ Niveau standard : altitudes moyennes et extrêmes.
 - ↪ Niveau standard : températures moyennes et extrêmes.

↳ Composantes du vent et vitesse moyenne.

2.9. Critique de l'existant et besoins

Les infrastructures actuelles fournissent les services requis aujourd'hui, mais ont besoin des améliorations pour répondre aux besoins de futur.

Parmi les problèmes soulevés dans les systèmes CNS sont :

↳ Le système actuel des postes et télécommunications (PTT) n'a pas et n'atteindra probablement pas à court terme, la fiabilité requise. La disponibilité du service téléphonique des PTT reliant les sites par radiotéléphonie et le PTT par les contrôleurs dans les unités algériennes de navigation aérienne montre les que communications contrôleur à pilote sont délicates.

↳ La fiabilité des télécommunications point-à-point ne répond pas aux normes de l'OACI qui constituent la base pour les services de contrôle positif de la navigation aérienne. Les liaisons de télécommunications VHF existantes causent des coupures prolongées et constituent un problème. Les connexions actuelles de télécommunications par terminal pour micro station (VSAT) fournies par les PTT la moitié des sites distants équipés de radio VHF ne fonctionnaient pas. Même après ajustement, ce système n'a pas le niveau de redondance requis pour assurer la fiabilité appropriée des communications. Ces niveaux de disponibilité ne sont pas acceptables pour l'utilisation dans la fourniture de la séparation des avions dans le cadre du trafic aérien.

↳ Les zones extrêmes du sud n'ont aucune couverture au dessus de 6000 m/msl. En fait, la couverture simple au dessus de 6000 m/msl est disponible à travers dans la plupart de la FIR.

↳ Bien que la double couverture est meilleure dans l'espace aérien nord, ni le nord ni le sud n'ont la couverture requise pour soutenir le réseau VHF à haute fiabilité nécessaire à travers toute la FIR d'Alger.

↳ Aucune couverture radar n'est fournie dans l'espace aérien du sud, quant au nord on remarque l'apparition d'un trou à l'ouest de Constantine.

↳ Dans la plupart des endroits, l'état des VOR et le système d'atterrissage aux instruments (ILS) ne sont pas surveillés par l'ATC.

Dans la suite du document nous intéressons aux exigences en matière de couverture, en particulier, afin de remédier ces problèmes:

↳ Etendre la couverture VHF et ajouter les sites nécessaires pour assurer la couverture VHF requise en Algérie.

↳ Une couverture étendue de surveillance des aéroports du sud les plus occupés et une couverture radar renforcée dans l'espace aérien du nord sont fortement souhaitables.

2.10. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude détaillée sur les trois éléments principaux utilisés pour la gestion de trafic aérien (ATM) en Algérie. Dans ce concept nous intéressons aux systèmes de communication et de surveillance radar. D'après cette étude, nous avons pu constater qu'il existe de nombreux problèmes en particulier dans la couverture VHF et Radar au nord et au sud de la FIR d'Alger. Une couverture totale de l'espace aérien Algérien exige un bon choix du site pour l'antenne VHF et Radar. Dans la suite du document nous réaliserons un outil informatique pour la représentation de la couverture VHF et Radar pour répondre à ces limites.

CHAPITRE 3

COUVERTURE ET MODELE NUMERIQUE DU TERRAIN (MNT)

3.1. Introduction

La stratégie de l'ENNA prévoit qu'une couverture radar ou VHF doit être complète et continue, de qualité et de fiabilité élevées dans toute la partie de la FIR d'Alger. Cet objectif peut être atteint soit par une exploitation optimale des installations actuelles, par la mise en place de nouvelles installations radar ou VHF, ou encore par l'utilisation en commun des stations radar ou VHF. Il faudra prévoir un programme de mise en œuvre par étapes, des priorités étant définies selon les besoins les plus urgents des ATS.

3.2. Types de couverture

1.2.1. Couverture simple

Une couverture simple correspond à l'ensemble du secteur visible depuis un seul point de vue donné.

1.2.2. Double couverture

Il y a double couverture lorsque pour un point donné de l'espace, les données utilisées par un organisme ATS soit pour la fonction de surveillance ou pour la fonction de communication proviennent d'au moins deux sources radar SSR ou deux antennes de communications (VHF) indépendantes, fonctionnant simultanément.

3.3. Besoins généraux

1.3.1. Services radar

Les services radar sont fournis aux fins de la séparation des aéronefs dans tout l'espace aérien en route et dans les grandes régions terminales, pour garantir la prise en charge efficace de volumes croissants de trafic de manière sûre, ordonnée et rapide.

3.3.1.1 Couverture radar

La couverture radar requise à l'appui des services de la circulation aérienne dans l'espace aérien en route et dans les régions terminales doit être la suivante :

↳ ESPACE AERIEN EN ROUTE

Couverture radar secondaire de surveillance double.

↳ GRANDE REGION TERMINALE

Couverture radar secondaire de surveillance (SSR) double.

Couverture radar primaire de surveillance simple.

Une couverture SSR simple suffit pour répondre aux besoins opérationnels en matière de services radar dans les régions à faible densité du trafic [1].

1.3.2. Services communications

Les services de communication permettent à l'équipage de rester en contact et de changer les communications de données entre contrôleur-pilote dans la TMA et en route pour assurer une prise en charge optimale du trafic.

3.3.2.1 Couverture VHF

La couverture VHF devrait être choisies et harmonisées de manière à assurer la non-discontinuité, l'interopérabilité des opérations et réduire les erreurs (les trous) au sein de la FIR pour répondre aux besoins de l'ATM.

3.4. Besoins opérationnels

1.4.1. Couverture radar requise

Les défauts de la couverture radar, tels que les trous, qui ne font pas obstacle à la fourniture des services radar sont acceptables. Les stations radar doivent être situées de telle manière que leur cône de silence soit inclus dans la couverture d'un radar adjacent, ou ne réduise pas l'efficacité opérationnelle du service radar.

3.4.1.1 Grandes régions terminales

Les grandes régions terminales doivent disposer d'une couverture radar secondaire double et d'une couverture radar primaire simple. Cette combinaison garantit la disponibilité permanente d'informations de position radar et permet la fourniture de services de la circulation aérienne aux aéronefs incapables de répondre à des interrogations SSR [1].

3.4.1.2 Espace aérien en route

Dans l'espace aérien en route, la couverture SSR double doit s'étendre des niveaux minimum de croisière jusqu'aux niveaux maximum de croisière IFR ainsi que là où la fourniture de services radar est obligatoire. La couverture horizontale doit s'étendre sur 30 Nm au moins au-delà de la région relevant du CCR correspondant, à moins que cela ne soit impossible pour des raisons géographiques [1].

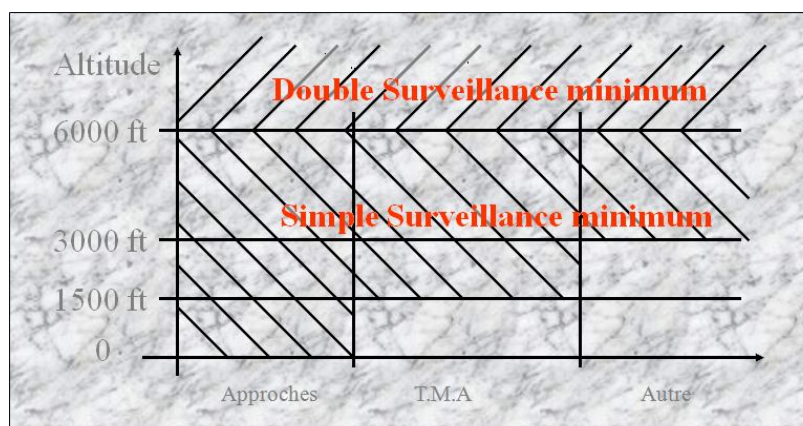


Figure 3.1 : Minima opérationnel d'une couverture radar pendant les phases de vol [1]

1.4.2. Couverture requise VHF

L'infrastructure du réseau de communication aéronautique doit répondre au besoin croissant d'échanger des informations à l'intérieur de l'espace aérien. une couverture double est souhaitable dans les secteurs connus un trafic dense. La continuité de la couverture VHF doit être assurée dans les régions d'interface entre les grandes régions terminales et l'espace en route.

3.5. Analyse de couverture avec le modèle numérique de terrain

1.5.1. Représentation du terrain

La modélisation du terrain dans les SIG est représenté sous les modèles numériques soit par Triangulated Irregular Network (TIN) ou les réseaux de triangles irréguliers qui sont des partition des surfaces du triangulaires planes cette méthode est utilisé dès l'arrivé les premiers systèmes géographique [23,12], ou Raster Digital Elevation Model (DEM) [20, 21] ou les grilles régulières carrées (RSG) qui sont définies par un partitionnement en rectangles (appelés cellules ou pixels) telles que les MNA (Modèle Numérique d'Altitudes), MNT (Modèle Numérique du Terrain) et MNE (Modèle Numérique d'Élévation), indépendamment du modèle numérique TIN. dans notre travail nous avons utilisé MNT RASTER qui est particulièrement bien adapté a nos problèmes et permet dans ce cas de traiter le MNT de façon simple.

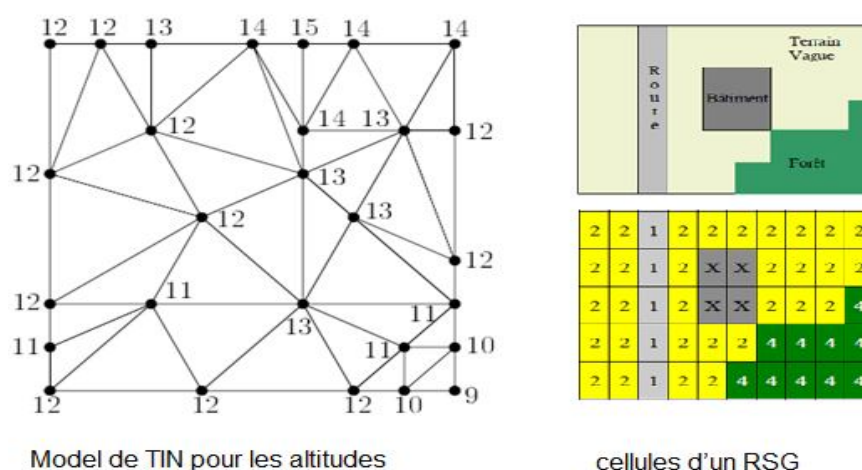


Figure 3.2 : Model de TIN et RSG pour les altitudes [10]

1.5.2. La courbure de la terre

Lorsque l'on souhaite calculer une couverture Radar, ou VHF on a le choix entre prendre en considération ou non la courbure de la terre dans le calcul. Après avoir fait des tests sur notre zone d'études, on constate qu'en moyenne, à partir de 1800-1900 km, on a une différence importante selon la prise en compte ou non de la courbure de la terre.

Notre zone d'étude faisant 1830-1982 km, c'est raisonnablement d'introduire la courbure de la terre. Les longueurs des surfaces de visibilité n'excéderont pas 50 km en théorie [7].

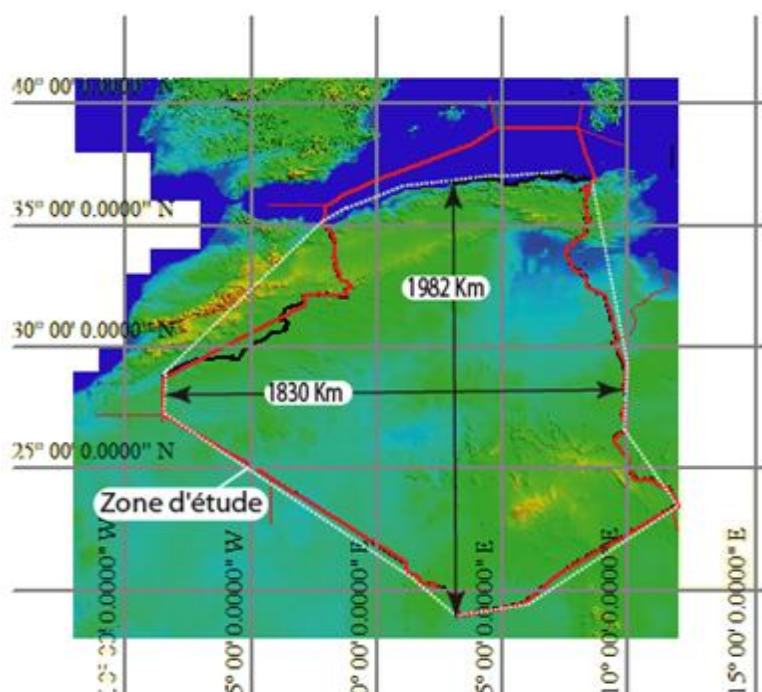


Figure 3.3 : Zone d'étude

3.6. Propagation en visibilité

1.6.1. Effet de l'atmosphère terrestre

L'atmosphère terrestre est comprise de plusieurs couches, comme illustrés dans la figure 3.4. Les ondes électromagnétiques se propagent en ligne droite. Elles ont beaucoup de propriétés comprenant la vitesse, la fréquence, et la puissance ; elles visualisent beaucoup de phénomènes tels que la réfraction, l'atténuation, et la réflexion.

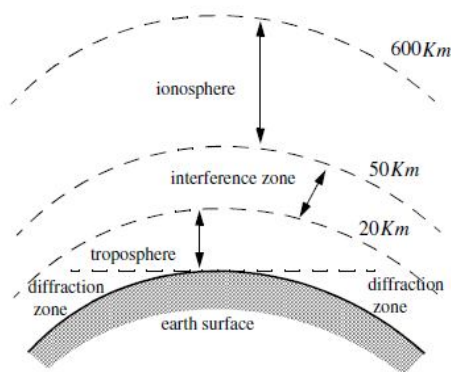


Figure 3.4 : Géométrie de l'atmosphère terrestre

3.6.1.1 Réfraction

Dans la troposphère, les ondes peuvent être très perturbées par la variation de la température, pression et l'humidité. On rencontre une croissance de **l'indice de réfraction** qui suit une loi physique donnée par la formule suivante :

$$n = 1 + \frac{77.6}{T} \left(P + 4810 \frac{e}{T} \right) \times 10^{-6} \quad (3.1)$$

- ↪ P : Pression atmosphérique [mb]
- ↪ e : Pression de vapeur d'eau [mb] tel que (e = humidité relative \times pression de vapeur d'eau saturée)
- ↪ T : Température absolue [°K].

Et le **Co-indice de réfraction (réfractivité)** est donné par la loi suivante :

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 = \frac{77.6}{T} \left(P + 4810 \frac{e}{T} \right) \times 10^{-6} \quad (3.2)$$

- ↪ N : représente le co-indice de réfraction, sa valeur ne dépasse la centaine que pendant des pourcentages de temps très faible.

L'évolution du co-indice de réfraction en fonction de l'altitude est donnée par la formule suivante :

$$N(h) = 315e^{-0.136 \cdot h} \quad h: \text{Altitude.} \quad (3.3)$$

Alors on appelle atmosphère normale, une atmosphère sphérique dont le gradient vertical du co-indice de réfraction reste constant en fonction de l'altitude et vaut :

$$\frac{dN(h)}{dh} = -39 \quad [\text{N/km}] \quad (3.4)$$

Donc La visibilité directe est perturbée (voir Figure 3.4). Dans un modèle standard de la troposphère et dans les conditions normales.

Le facteur k est donné par l'équation suivante [5] :

$$k = \frac{1}{1 + R_0 \frac{dN(h)}{dh}} \quad \text{On obtient : } k = \frac{4}{3} \quad (3.5)$$

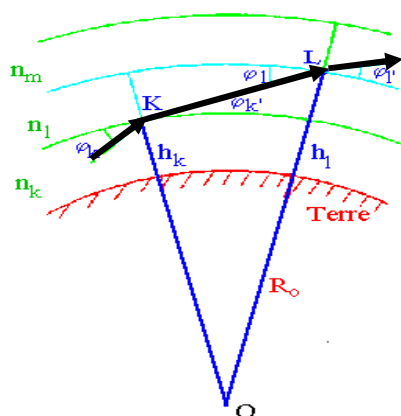


Figure 3.5 : Phénomène de réfraction

1.6.2. Horizon et portée

Une transmission radio en ligne droite entre une cible (avion) situé à une altitude h_r et un observateur (radar /antenne VHF) placé à une hauteur h_t à la surface d'une terre sphérique est limitée en portée par la courbure équivalente terrestre.

La portée radio tout comme la portée géométrique, dépend de :

- ↪ La hauteur des antennes VHF (ou radars).
- ↪ La distance séparant les deux points.

Pour la portée radio, l'influence de la troposphère se fait via le facteur k qui modifie le rayon terrestre. Le rayon de courbure équivalent de la terre R_{eff} vient donc qu'à limiter la transmission entre deux points.

La diffraction causée par une surface courbe sera le mécanisme de propagation trans-horizon. la portée maximale est maintenant donnée par [5, 32] :

$$D_{max} = \sqrt{2 \cdot R_{eff}} (\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r}) \quad (3.6)$$

$$R_{eff} = \frac{R_{terre}}{1+c \cdot R_{terre}} \approx \frac{4}{3} R_{terre} \quad (3.7)$$

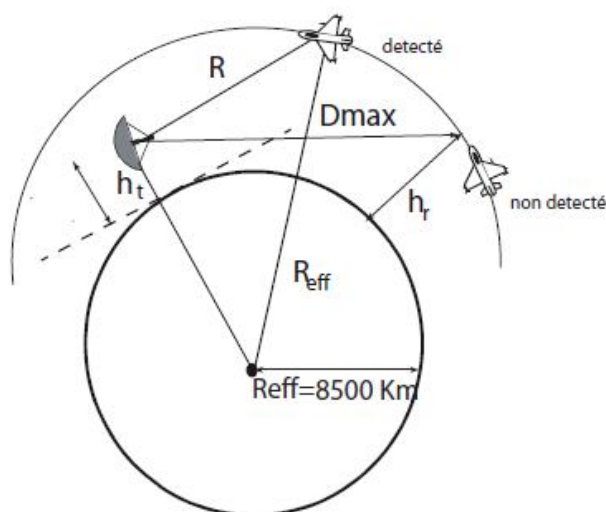


Figure 3.6 : Mesure la distance maximale pour 4/3 de la terre

3.7. Analyse de couverture

L'organisme ATS utilise les données de la surveillance radar et la communication VHF dans l'espace aérien en route et dans les grandes régions terminale pour les besoins ATC. Pour assurer une exploitation optimale de ces deux fonctions, conformément aux normes de l'OACI, une couverture complète et contenue doit être prévoir sur toutes la FIR d'Alger. Les problèmes de calcul de couverture ou visibilité sur MNT on fait l'objet de nombreuses études. parmi ces études on trouve l'approche dites « front to back » exploite le fait qu' un triangle ne peut être cacher que par des triangles se trouvant devant lui .elle développer et implanté d'abord par Floriani [22] puis reif [28] .il ya d'autres auteurs ont développé des algorithmes décrivant ce concept de base comme

katz [33], Overmars [34] ou d'un point de vue plus théorique Preparata [35] ou Edelsbrunner [36] pour les algorithmes applicables au RSG on trouve la méthode DE Shapira [37] aussi l'algorithme [38] et d'autres auteurs. Notre approche consiste à utiliser l'approche des angles α qui consiste à calculer les cellules visibles ou non visibles depuis une source.

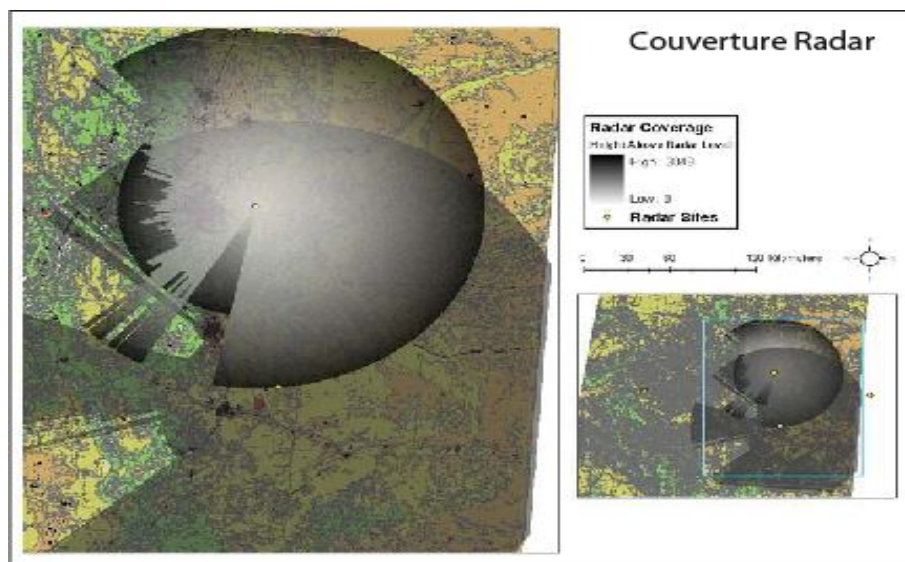


Figure 3.7 : Couverture radar pour deux sites différents [6]

3.8. Les sources d'erreurs de calcul de couverture

La qualité du MNT d'entrée joue donc un rôle très important : une erreur et/ou une imprécision du modèle auront inévitablement des répercussions sur le calcul du MNT.

À côté des erreurs dues aux données utilisées, il en existe aussi d'autres types :

- ↳ les erreurs inhérentes à l'algorithme lui-même ; parmi elles, on trouve par exemple la façon dont elles les altitudes sont interpolées.
- ↳ les erreurs de « rasterisation » du modèle d'altitudes (c'est-à-dire les erreurs engendrées par le passage du mode vecteur au mode raster s'il a lieu d'être).
- ↳ Parallèlement à ces multiples sources d'erreurs, de nombreux autres facteurs peuvent également influencer sur les résultats d'un calcul de couverture :

↳ La hauteur de l'observateur (ce paramètre peut être pris en compte et permet de calculer des couvertures à partir de la hauteur des yeux ou du haut d'une tour).

↳ Les conditions météorologiques (la visibilité varie en cas de pluie, de brouillard ou selon la réfraction atmosphérique).

3.9. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre, les besoins généraux et opérationnels d'une couverture requise dans l'espace aérien en route et les grandes régions terminales. Les différents modèles numériques utilisés dans le calcul de couverture pour un point donné. Nous avons aussi abordé l'effet de réfraction troposphérique (courbure des ondes) de l'onde radio. Tous les outils seront alors disponibles pour permettre l'élaboration d'un système de suivi pour traiter le problème de communication et de surveillance en Algérie dans le chapitre4.

CHAPITRE 4

SIMULATIONS ET RESULTATS

4.10. Introduction

L'information de couverture est importante pour les applications de défense telles que la surveillance et les communications.

Dans ce chapitre nous décrivons les démarches que nous avons utilisés, et les résultats obtenus sous simulation utilisant logiciel MATLAB, afin de faire une étude sur l'état des lieux de l'existant et compléter les insuffisances en matière de couverture du concept CNS/ATM en Algérie.

Ce chapitre se décompose de deux parties. Tout d'abord, nous abordons le volet de surveillance afin d'examiner et compléter les radars secondaires existants et assurer une couverture radar continue et complète des routes à hautes altitude dans la FIR d'Alger.

La deuxième partie de ce chapitre sera consacré au volet de communications en route (pilote-contrôleur) afin de mettre en place un réseau VHF solide et fiable dans notre espace aérien.

1.10.1. Modélisation de terrain

La partie la plus difficile de cette application est l'acquisition de données. Dans ce projet, tel que discuté précédemment nous avons besoin d'information sur l'altitude, latitude et longitude qui sera nécessaire pour effectuer une analyse complète de couverture.

1.10.2. Exigences relatives aux données disponibles

4.10.2.1 Le format MNT utilisé

Pour des simulations numériques de couverture radar et VHF nous avons utilisé un format MNT d'une résolution de 30 mètres [24]. La représentation sous forme de matrice d'altitudes est bien adaptée au type de modélisation de nos problèmes de couverture et ce qui a permis de traiter le MNT d'une manière simple.

4.10.2.2 Source et taille des données

Les données mises à disposition pour ce projet concernant la FIR d'Alger. Les données qui m'ont été fournis sont des données numériques matricielles qui proviennent du Centre des Techniques Spatiales d'Arzew (Oran) CTS. La mosaïque des données forment un MNT de l'Algérie (la figure 4.1), soit une surface d'environ 2324544 km². Les données nécessaires pour couvrir toute la région de la FIR d'Alger se situeraient autour de 220 Méga[24].

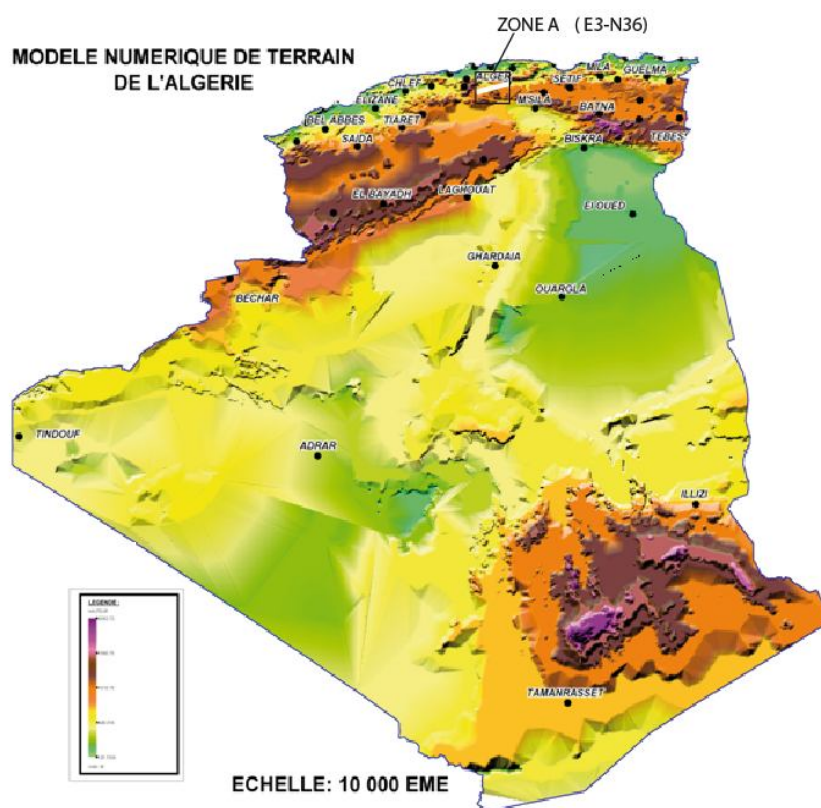


Figure 4.1 : Mosaïque des données fournies du territoire Algérien.

4.10.2.3 Système de coordonnées

Les coordonnées de ce MNT sont exprimées dans le système de projection : système géodésique mondial-1984 (WGS-84) comprise entre le 19° N jusqu'à 39°N parallèle et entre le 9°W jusqu'au 12° E méridiens. Les données sont disponibles dans fichier ayant une extension DTED (.dt0) [24,25]. Dans l'exemple ci-dessous le contenu provient d'un fichier DTED (.dt0) pour la région d'Alger :

La première colonne représente la latitude, la deuxième ligne représente longitude et la dernière colonne représente l'altitude. Ce fichier sa taille est de 18.1 Méga. Et le nombre de champ qu'il contient dans la grille est x col, ycol, z col : 534361 lignes et 03 colonnes.

3.0000000000	36.8666666667	0.000
3.0000000000	36.8583333333	0.000
3.0000000000	36.8500000000	0.000
3.0000000000	36.8416666667	0.000
3.0000000000	36.8333333333	0.000
3.0000000000	36.8250000000	0.000
3.0000000000	36.8166666667	1.000
3.0000000000	36.8083333333	208.000
3.0000000000	36.8000000000	300.000
3.0000000000	36.7916666667	291.000
3.0000000000	36.7833333333	263.000
3.0000000000	36.7750000000	255.000
3.0000000000	36.7666666667	229.000
3.0000000000	36.6750000000	196.000
3.0000000000	36.6666666667	183.000
3.0000000000	36.6583333333	100.000
3.4083333333	36.7250000000	26.000
3.8833333333	33.0166666667	521.000
3.8916666666	37.0000000000	000.000

Figure 4.3 : Format d'un exemple réduit de fichier DTED

4.11. Principe de calcul

Nous présentons dans cette partie une simulation de couverture radar et VHF en utilisant le MNT.

1.11.1. Hypothèse

Ici, nous considérons le problème du calcul de la propagation d'un signal provenant d'une antenne de communications VHF ou d'un radar de surveillance sur un profil de terrain sphérique en tenant compte que l'effet de réfraction.

La réflexion, et la diffraction et les paramètres météorologiques (pluie, brouillard, brumes,...) sont négligés, ils sont extrêmement difficiles à modéliser. Considérons aussi que notre radar ou antenne VHF est défini de la manière suivante :

- ↳ Visibilité de 0 mètre à l'infini.
- ↳ Visibilité sur tous les azimuts (soit sur 360°).
- ↳ Visibilité du zénith au nadir (soit de +90° à -90°).

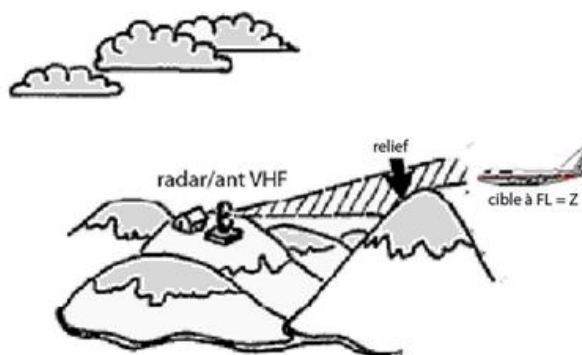


Figure 4.4 : Effet de sol sur une l'onde électromagnétique

4.12. Architecture du programme

L'application se compose de 3 éléments principaux :

- ↳ Le programme bidimensionnel qui fournit l'affichage de la carte et la simulation de couverture radar et VHF en 2D (topographique, ATS supérieures, ATS inférieures).

↳ Le programme tridimensionnel qui offre la visualisation de la carte et la couverture en 3D .L'utilisateur peut choisir le type d'affichage à l'aide des boutons de choix.

↳ Le programme de mise à jour

Les trois programmes exécutent à partir de leurs modules et chacun à part à l'aide de l'interface graphique principal de l'utilisateur (GUI).

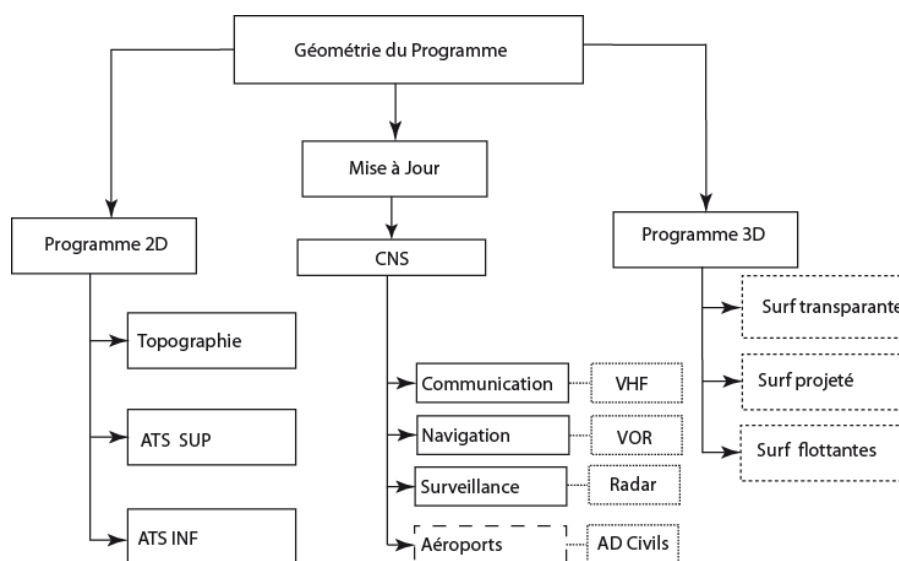


Figure 4.5 : Architecture du programme

4.13. Algorithme

1.13.1. Lecture des données de terrain DTED et les fichiers de forme

L'algorithme utilisé dans ce projet détermine simplement si les lignes droites peuvent être dessinées entre deux points (Radar ou antenne VHF et un avion) sans intersectées par le terrain. Nous avons employé dans notre programme des ensembles de données de type DTED du niveau 0.

Ces données sont converties au format TIFF qui convient à la géométrie du programme et des fichiers de forme sous l'extension (.shp) pour la FIR et le territoire Algérien. Pour créer des couvertures à partir d'un point concerné P défini par l'utilisateur et d'un MNT, l'algorithme calcule les cellules du raster qui peuvent être vues et celles qui ne peuvent pas l'être. Le résultat, en sortie, est alors une grille où les cellules visibles sont codées par le chiffre 1 et les cellules non visibles par le chiffre 0.

1.13.2. Calcul de distance

Pour atteindre l'objectif visé, La relation géométrique suivante doit être respectée [26] :

$$D_{\max} = \sqrt{2kh_0R} + \sqrt{2kzR} \quad (\text{m}) \quad (4.1)$$

↪

↪ D_{\max} : Portée maximale entre l'antenne située à une altitude h_0 et un récepteur situé à une altitude z

↪ R : Rayon terrestre réel (6370 km)

↪ K : Facteur de réfraction standard ($K = 4/3$).

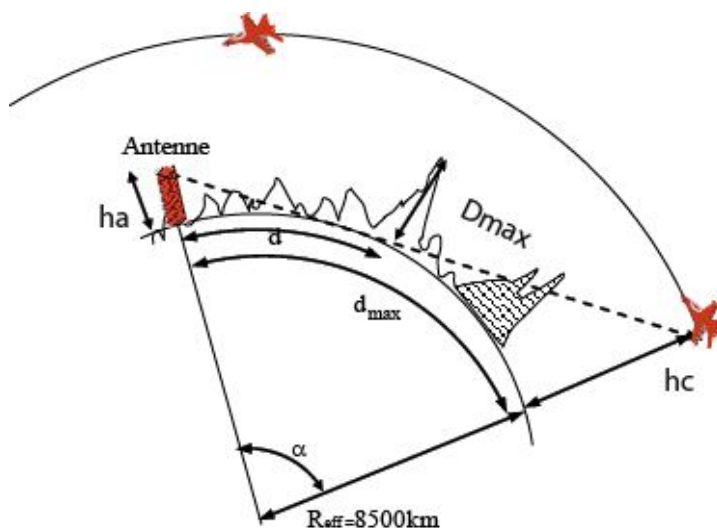


Figure 4.6 : Schéma illustrant le principe de calcul

On calcule cette distance, puis on calcule l'angle α grâce à l'expression suivante [26] :

$$D_{\max}^2 = (R + h_0)^2 + (R + z)^2 - 2 \times (R + h_0) \times (R + z) \times \cos(\alpha) \quad (4.2)$$

On calcule ensuite d_{\max} :

$$d_{\max} = R_{\text{eff}} \times \alpha \quad (4.3)$$

On va utiliser cette distance d_{\max} pour éliminer des données de tous les points situés à une distance supérieure à d_{\max} . Ensuite parmi les points restants, on

va chercher les points qui constituent un obstacle pour notre point concerné, ces points vont constituer la couverture radio ou VHF au niveau de vol z recherché.

Après le calcul sur le terrain topographique, la distance d_{max} sera calculé ensuite sur une grille MNT en pixel de la manière suivante :

↳ (i,j) : les coordonnées géographiques du radar ou de l'antenne VHF.

↳ (i+1, j+1) : les coordonnées géographiques de l'avion.

D'après le fichier MNT affiché ci-dessus (4.1.2.3), on peut calculer le pas de MNT qui égale :

$$\begin{cases} \text{lat}_{i+1} - \text{Lat}_i \\ \text{long}_{i+1} - \text{lon}_i \end{cases} \Delta x = \Delta y = 0.0833. \quad (4.4)$$

Par la suite on calcule la précision de MNT P_e comme suit : Précision MNT =

$$P_e = \Delta x * \left(\frac{\pi}{180}\right) * R_{eff} \quad (4.5)$$

Finalement on obtient :

$$d_{max} = R_{eff} \times \alpha \times p_e \quad (4.6)$$

Cette distance correspond à la distance maximale de l'émetteur (radar ou antenne VHF) et l'avion au niveau de vol z d'un profil terrestre sur une grille MNT. et ce la correspond à la première étape.

1.13.3. Calcul de couverture

Dans la deuxième étape, La couverture est traité sur le pixel, à chaque pixel des coordonnées (i,j) dans la grille associe au MNT correspondant à un angle de vue depuis l'émetteur (radar-antenne VHF) dont la tangente s'écrit [27]:

$$\text{Angle}(i, j) = \frac{\text{Altitude de pixel} - \text{Altitude de l'émetteur}}{\underbrace{((i-i_0)^2 + (j-j_0)^2)^{1/2}}_{\text{distance émetteur-pixel}}} \quad (4.7)$$

(i_0, j_0) coordonnées d'émetteur dans le MNT.

La recherche des points visibles s'effectue en examinant successivement la grille constituant le MNT dont le point de départ se situant au niveau de l'émetteur (point P). L'exploration se fait ligne à ligne ou colonne à colonne suivant l'orientation de sa bissectrice

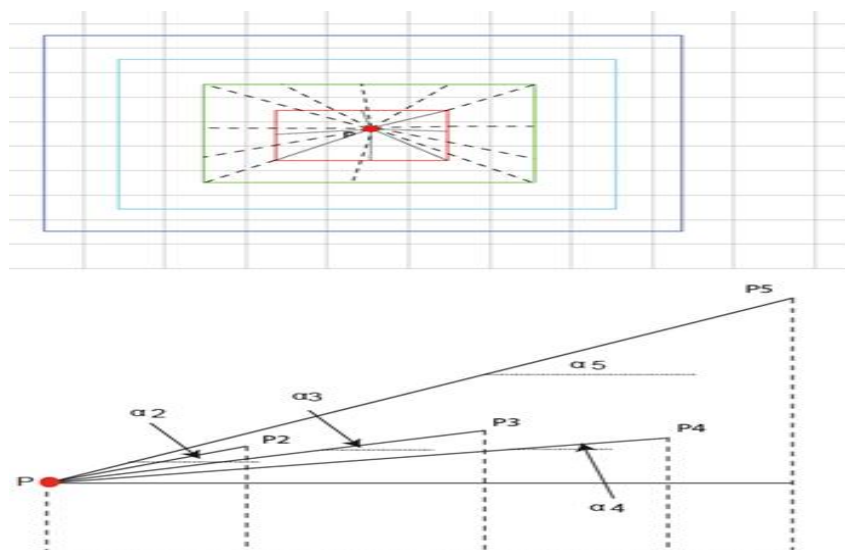


Figure 4.7 : Mode de test du MNT

Une fois le point concerné (P) choisi, un premier calcul des pentes entre la cellule origine (point P) et le centre de chacune des cellules cibles adjacentes (la pente α_2) ; ces cellules sont marquées comme visibles et codé 1 (visible) ; puis un second calcul de la pente α_3 correspond à la pente entre P et le centre des nouvelles cellules cibles ; un test précise si ce pixel est effectivement vu depuis l'émetteur c'est-à-dire si α_3 est supérieure à α_2 , alors la cellule cible est codée 1 (visible) et α_3 est alors stockée en mémoire ; sinon, elle est codée 0 (invisible) et α_2 reste en mémoire [29]. un nouveau test, de nouvelles pentes sont calculées et la plus grande est stockée pour calculer la visibilité. Ce processus est répété jusqu'à ce que toutes les cellules de la grille soient codées.

4.14. Résultats et discussions

1.14.1. Introduction

Dans cette application nous avons utilisé une station de calcul (PC) du Service Navigation/DSMO pour notre calcul. L'application que nous avons réalisée sous logiciel MATLAB version (R2010b) est nommée « Coverage ».

1.14.2. Simulation de l'utilitaire

4.14.2.1 Interface d'ouverture de la plateforme

Pour lancer l'application, ouvrir une session MATLAB, puis double-cliquer sur « coverage ». Il apparaît un formulaire identique à celui de la figure 4.8 ci-dessous.



Figure 4.8 : Page de garde de l'utilitaire



Figure 4.9 : Page de démarrage

Sur la page de garde, tapé « Quitter » : la fenêtre de la figure 4.9 apparaît : Le bouton « Quitter » permet à l'utilisateur de quitter l'application ; Le bouton « Entrer » permet d'accéder à l'interface de la plateforme.

4.14.2.2 Interface principale de la plateforme

A partir de la page d'accueil de la figure 4.8, cliquer sur le bouton « Enter » ; on obtient la fenêtre de la figure 4.10.



Figure 4.10 : Module de choix

Cette interface offre deux modules correspondant chacun à des fonctions assignées à la plateforme.

Alors on a le choix entre la simulation de la couverture radar ou la couverture VHF et trois boutons d'exécution définis comme suit :

- ↳ Le bouton « Appliquer » permet d'accéder au menu principal de la plateforme, si aucun module n'est sélectionné, un message d'erreur apparaît comme s'est affiché sur la figure 4.10.
- ↳ Le bouton « Retour » permet à l'utilisateur de revenir à la page de démarrage.
- ↳ Le bouton « Quitter » permet à l'utilisateur d'abandonner la simulation et de sortir définitivement de l'utilitaire.

4.14.2.3 Module de choix du calcul

Cette partie contient cinq boutons, dont quatre boutons sont destinés pour l'affichage et la visualisation de la couverture Radar ou VHF sur une carte topographique, carte des routes ATS à haute altitudes, à basse altitudes ou une carte à trois dimensions (3 D). Le dernier bouton est utilisé pour la mise à jour de la donnée comme indiqué dans la figure 4.11.

Le bouton « Précédent » permet à l'utilisateur de revenir au module de choix du calcul et changer le type d'étude. Il est également possible d'accéder aux cartes de visualisation via la barre de menu en haut comme s'est illustré ci-dessous (figure 4.11).



Figure 4.11 : Fenêtre de menu principal (couverture Radar et VHF)

Le bouton « A propos » permet de donner quelques informations sur l'outil de simulation. Comme s'est illustré dans la figure 4.12.

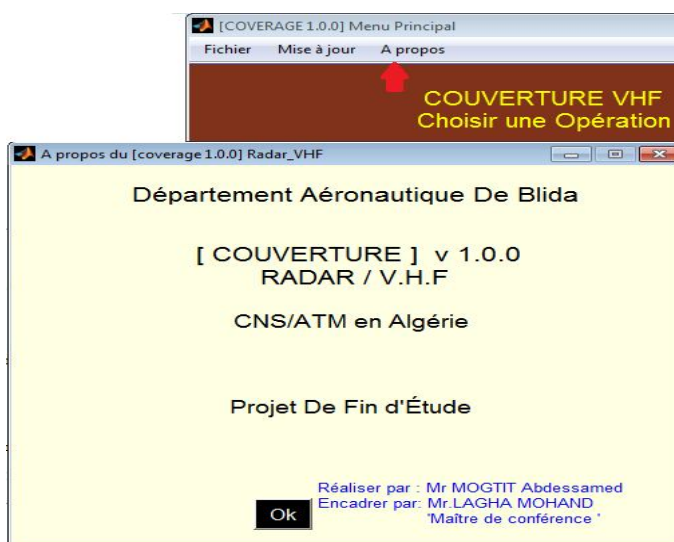


Figure 4.12 : Fenêtre de menu principal de la barre de menu

4.14.2.4 Module de mise à jour

Cette partie permet de donner des informations nécessaires sur les moyens utilisés soit en communication (VHF), en navigation (VOR, VOR/DME, NDB) ou en surveillance (radar) et d'autres renseignements utiles tels que les aéroports implantés dans l'espace aérien.

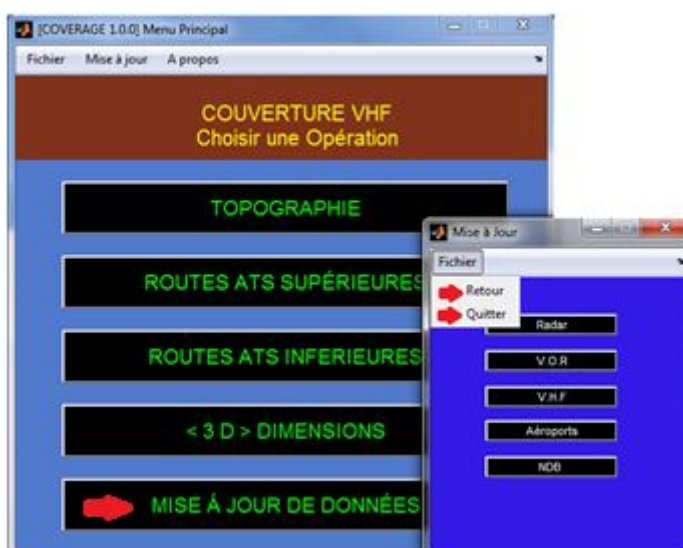


Figure 4.13 : Module de mise à jour

Depuis la fenêtre de mise à jour, les boutons « Radar », « VOR », « VHF », permet à l'utilisateur d'avoir quelques informations sur le moyen sur lequel l'opération de couverture est exécutée, comme c'est montré ci-dessous (figure 4.14).

Radar de Surveillance						
	Genre	Latitude (en degres)	Orientation	Longitude (en degres)	Orientation	Altitude (m)
Alger	SSR PSR	36.6700	N	3.1700	E	82
Oran	SSR	35.6900	N	-0.7700	W	512
Annaba	SSR	36.9100	N	7.6800	E	16
El Bayedh	SSR	33.6200	N	1.0640	E	1415
El Oued	SSR	33.5100	N	6.7600	E	208

Figure 4.14 : Exemple d'une fenêtre de données de Radar de surveillance d'Algérie»

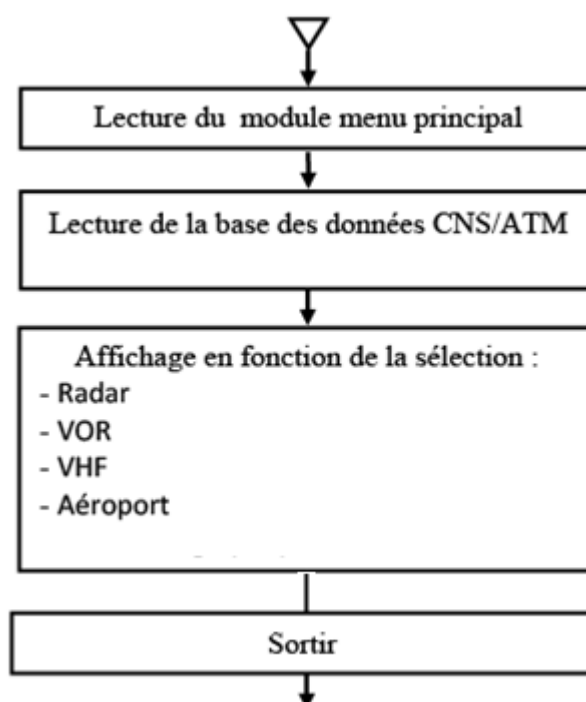


Figure 4.15 : Organigramme de mise à jour

4.14.2.5 Module topographique

A partir de la fenêtre de menu principal, appuyé sur le bouton <Topographie >, une fenêtre apparaîtra montrant la carte du territoire Algérien, utiliser cette carte pour visualiser et analyser la couverture Radar ou VHF. En cliquant sur les boutons de la fenêtre.

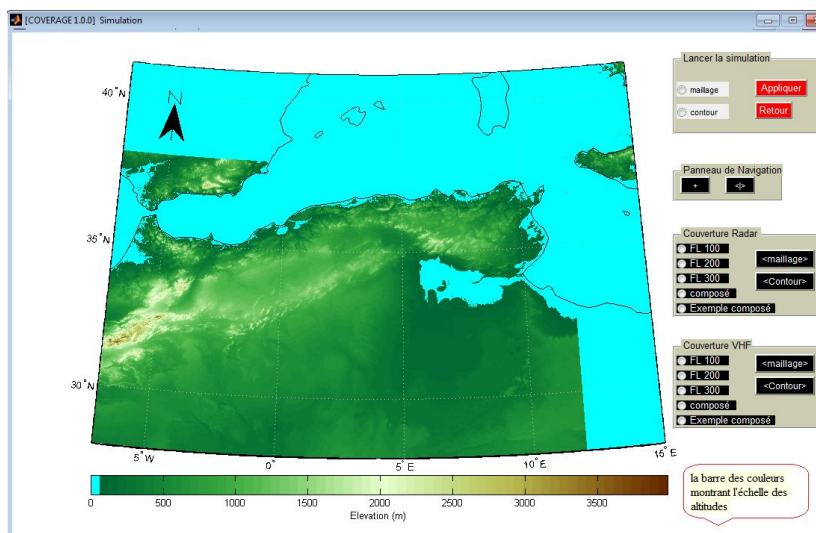


Figure 4.16 : Fenêtre présentant le nord Algérien

↳ Dans la boîte de dialogue « lancer la simulation »

Le bouton <Appliquer> permet à l'utilisateur d'exécuter la couverture pour n'importe quel emplacement du Radar ou antenne VHF où on entrant les paramètres suivants :

- ↳ Le nom du radar ou de l'antenne VHF.
- ↳ L'hauteur de l'émetteur (Radar ou VHF) par rapport au sol.
- ↳ Altitude de l'avion par rapport au niveau de la mer.
- ↳ Les coordonnées géographiques du radar ou l'antenne VHF écrit en degrés décimaux dans le système géographique WGS-84.

Activer le bouton « maillage » ou « contour » pour choisir le type d'affichage.

Note : si vous appuyer directement sur le bouton <Appliquer> sans cocher les cases un message d'avertissement s'apparait comme montre la figure suivante :



Figure 4.17 : Message d'avertissement de la fenêtre topographique

Exemple de simulation de radar El Oued

↳ Description: Radar El Oued (Guemar).

↳ Hauteur de Radar : 32 m.

↳ Altitude de l'avion : 3000 m (FL 100).

↳ Les coordonnées géographiques du radar $\left\{ \begin{array}{l} latitude = 33.51 N \\ longitude = 06.76 E \end{array} \right.$

↳

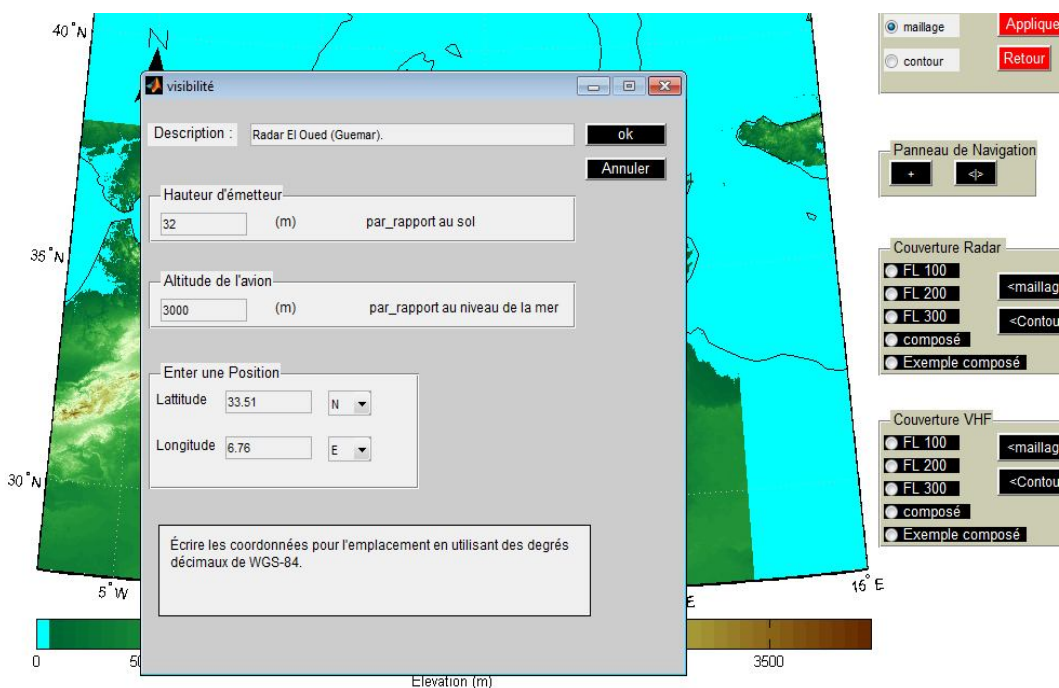


Figure 4.18 : Fenêtre d'entrée les informations nécessaires

Après validation de ces paramètres on clique sur le bouton « OK », nous obtenons les résultats ci-dessous :

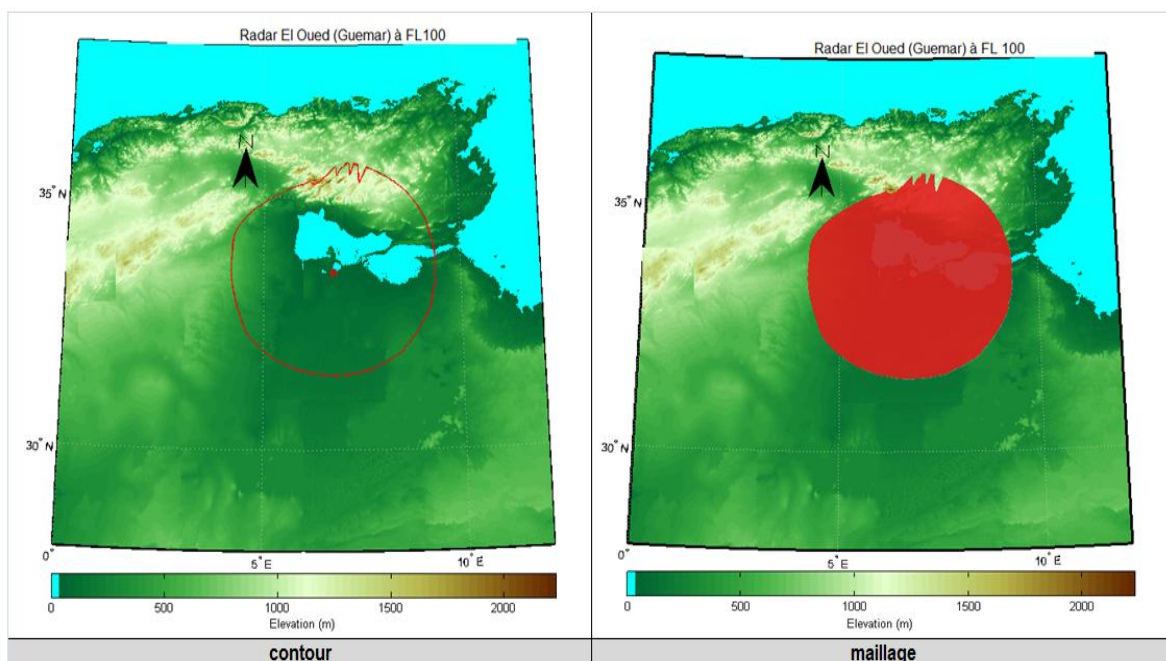


Figure 4.19 : Exemples de simulation de Radar El Oued (Guemar) à FL 100

↳ Dans la boîte de dialogue « Couverture Radar »

Des outils permettent à l'utilisateur d'afficher la couverture Radar de chaque niveau de vol (FL 100, FL 200, FL 300) et d'un outil supplémentaire de visualisation de couverture Radar composé, en choisissant le type d'affichage <maillage> ou <contour>.

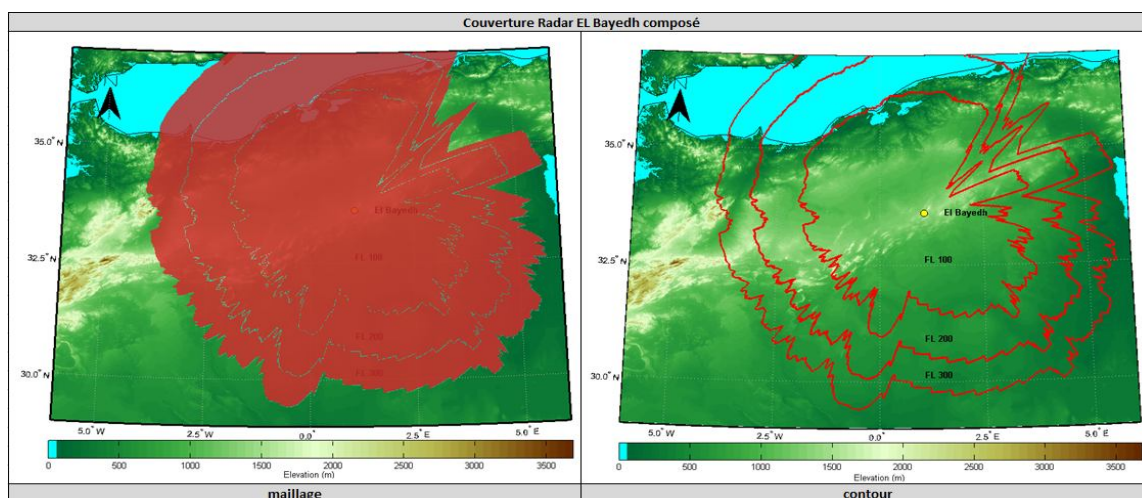


Figure 4.20 : Exemple de couverture Radar El Bayedh composé sur la topographie

Simulation

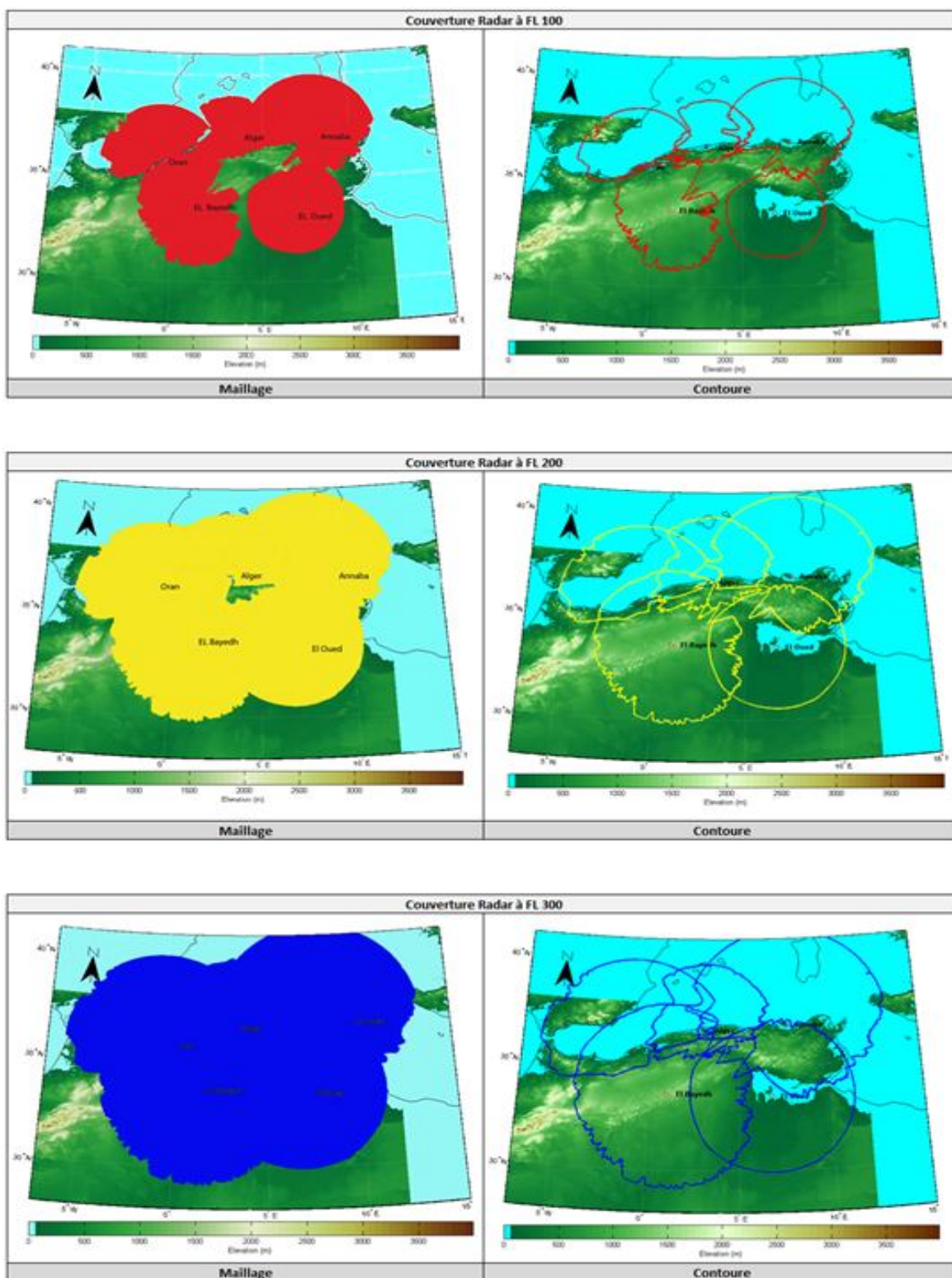


Figure 4.21 : Couverture Radar à FL 100, 200,300 sur la topographie

4.14.2.6 Module des ATS supérieures et inférieures

Les opérations en route de la FIR sont actuellement prises en charge à partir du CCR d'Alger où plusieurs problèmes de couverture Radar et VHF dans les routes à haute altitudes sont observées dans la FIR. Pour résoudre ces problèmes de couverture qui ont été soulevés dans le chapitre 2 (paragraphe 2.9). Une conception de trafic aérien a été mise en disposition dans cette application afin de trouver des solutions convenables.

A partir de la fenêtre de menu principal, on peut aussi afficher les routes ATS à hautes et basses altitudes avec le plan de sectorisations actuelles comme s'est montré dans la Figure 4.22. Un processus complet de choix a mis en disposition dans cette application pour évaluer la couverture radar et VHF du réseau aérien et la localisation des nouveaux sites de ces radars et VHF (voir figure ci-dessous). L'application permet aussi d'afficher la couverture double qui est nécessaire pour établir le nombre des radars ou des émetteurs VHF couvrant les routes principales de la même région. Cette technique est importante pour ajouter d'autre radar ou antenne VHF dans la même zone qui disposent que de la couverture simple.

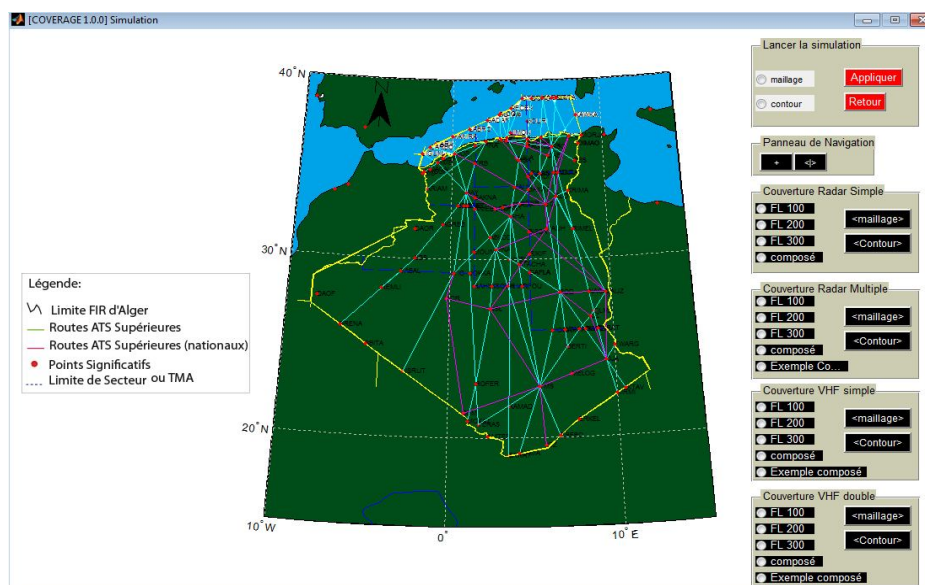


Figure 4.22 : FIR d'Alger avec sectorisation actuelle, routes aériennes à haute altitude

↳ Dans la boîte de dialogue « Couverture Radar »

Des outils permettent à l'utilisateur d'afficher la couverture Radar de chaque niveau de vol (FL 100, FL 200, FL 300) et d'un outil supplémentaire de visualisation de couverture Radar composé, en choisissant le type d'affichage <maillage> ou <contour>.

Simulation: Couverture Radar Simple

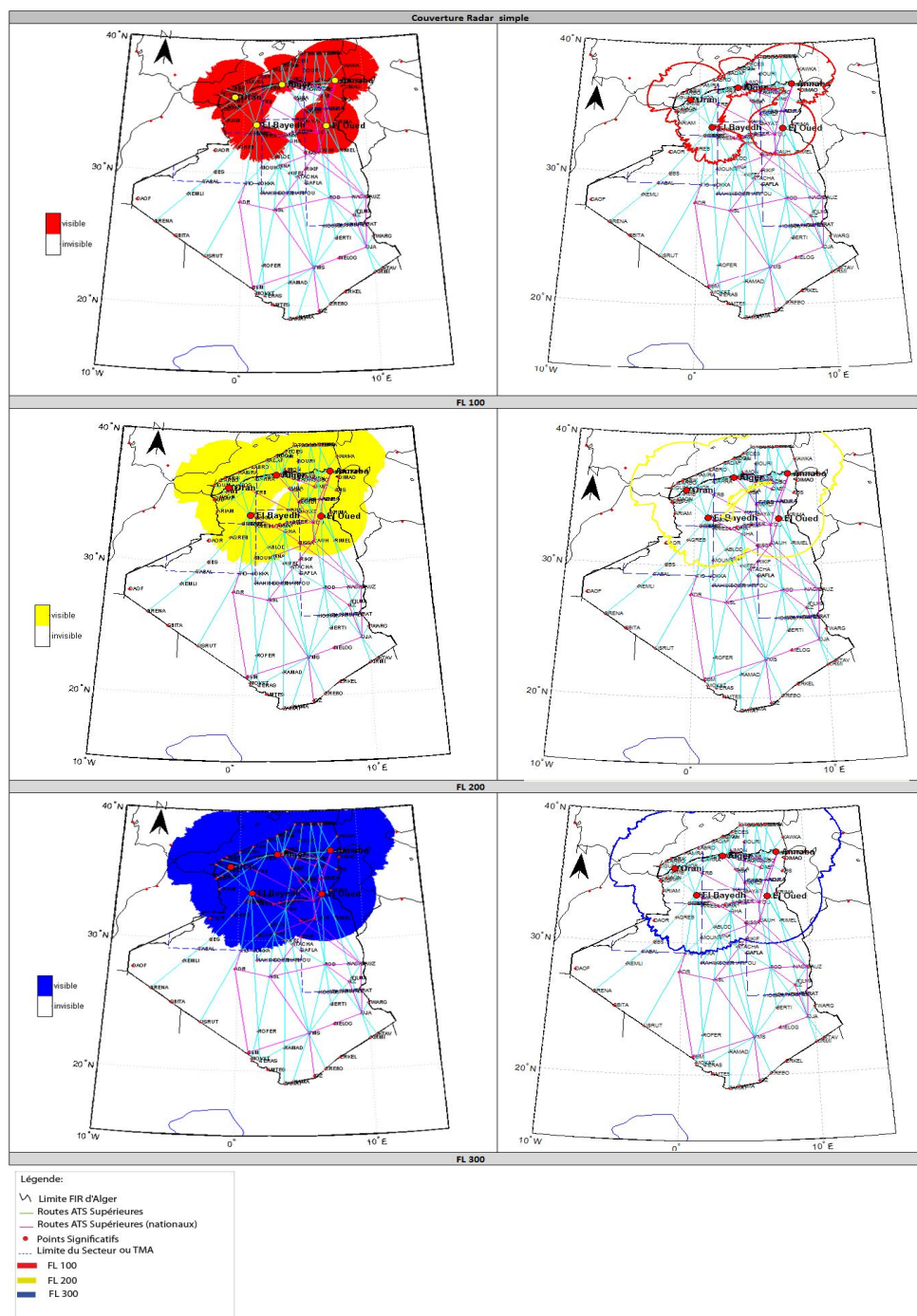


Figure 4.23 : Couverture Radar simple FL 100, 200,300

Simulation : Couverture Radar double

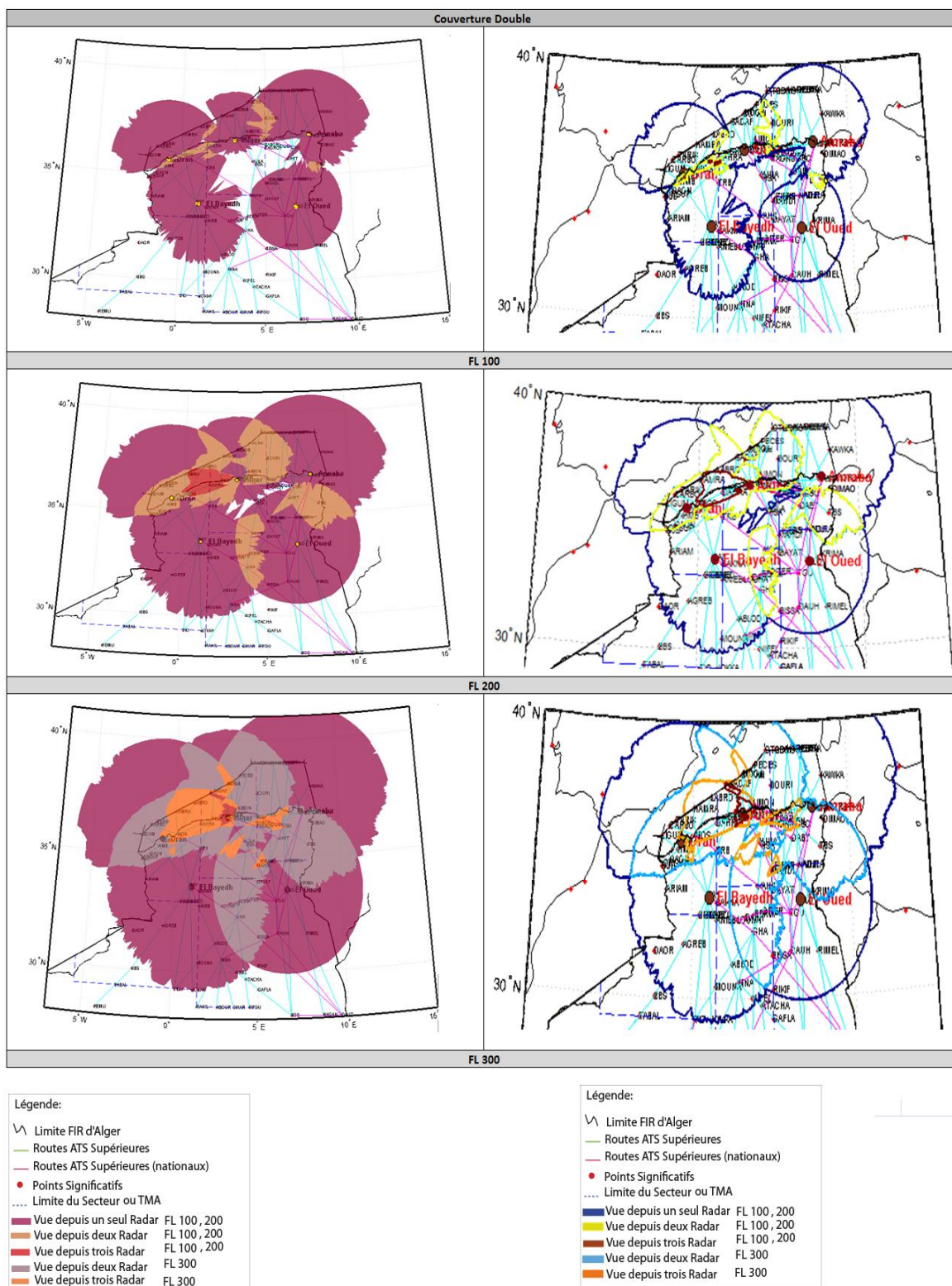


Figure 4.24 : Couverture Radar multiple à FL 100, 200,300

4.14.2.7 Module tridimensionnel

Le programme tridimensionnel fournit un affichage en 3D .L'utilisateur peut en mesure à changer leur point de vue en utilisant le menu de la fenêtre de visualisation : surface transparence en utilisant des couleurs arbitraires, surface projeté sur le terrain, surface flottantes. Utiliser le panneau de navigation au dessous de panneau de couverture pour déplacer, zoomer la carte[30].

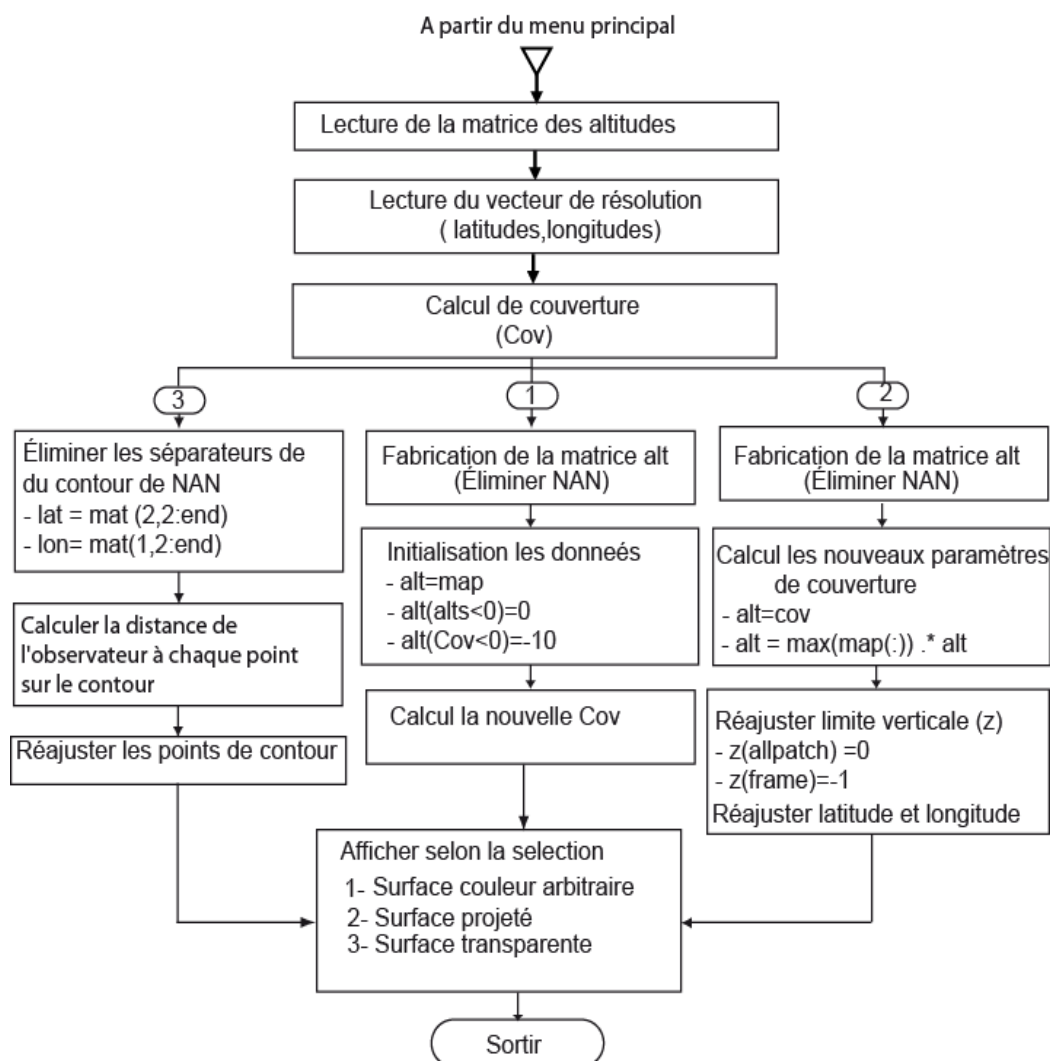


Figure 4.25 : Organigramme du module tridimensionnel

Simulation

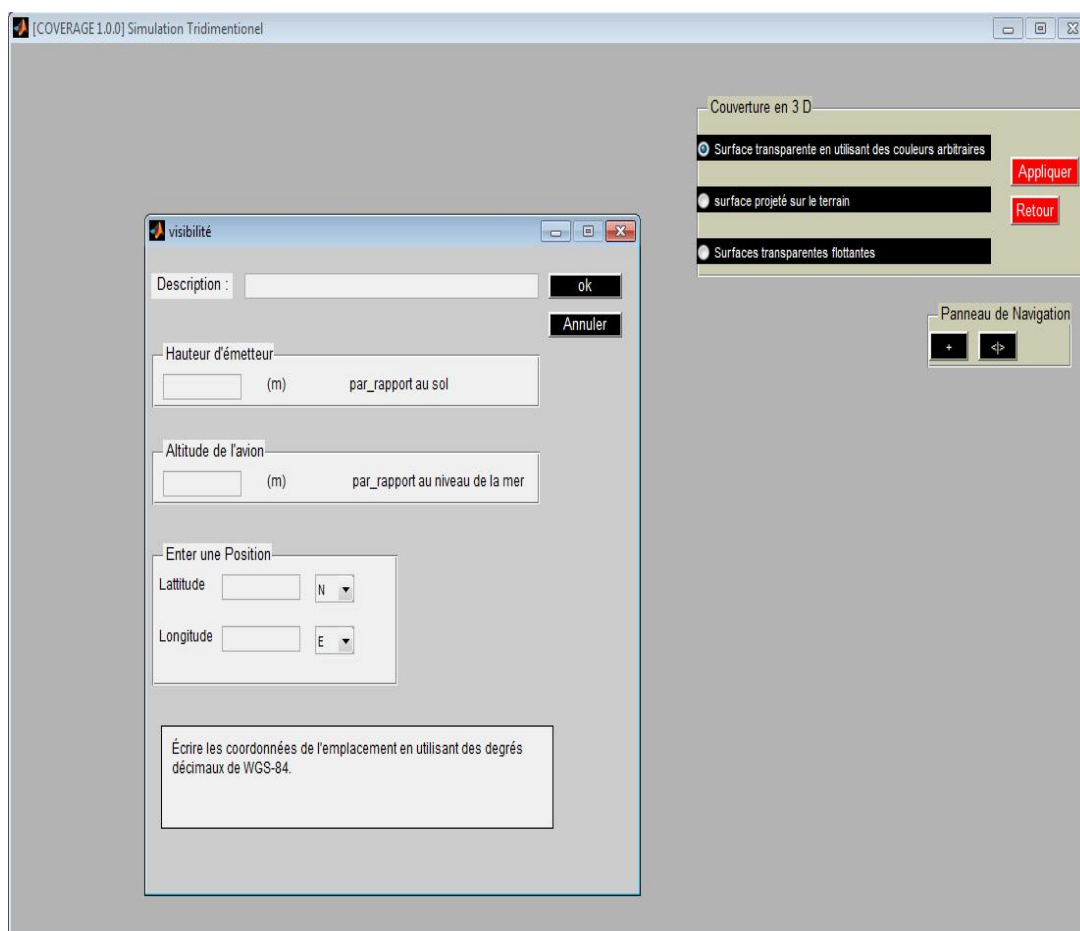


Figure 4.26 : Menu principal du module tridimensionnel

A partir de menu principal de la fenêtre on peut afficher les résultats suivants :

Simulation

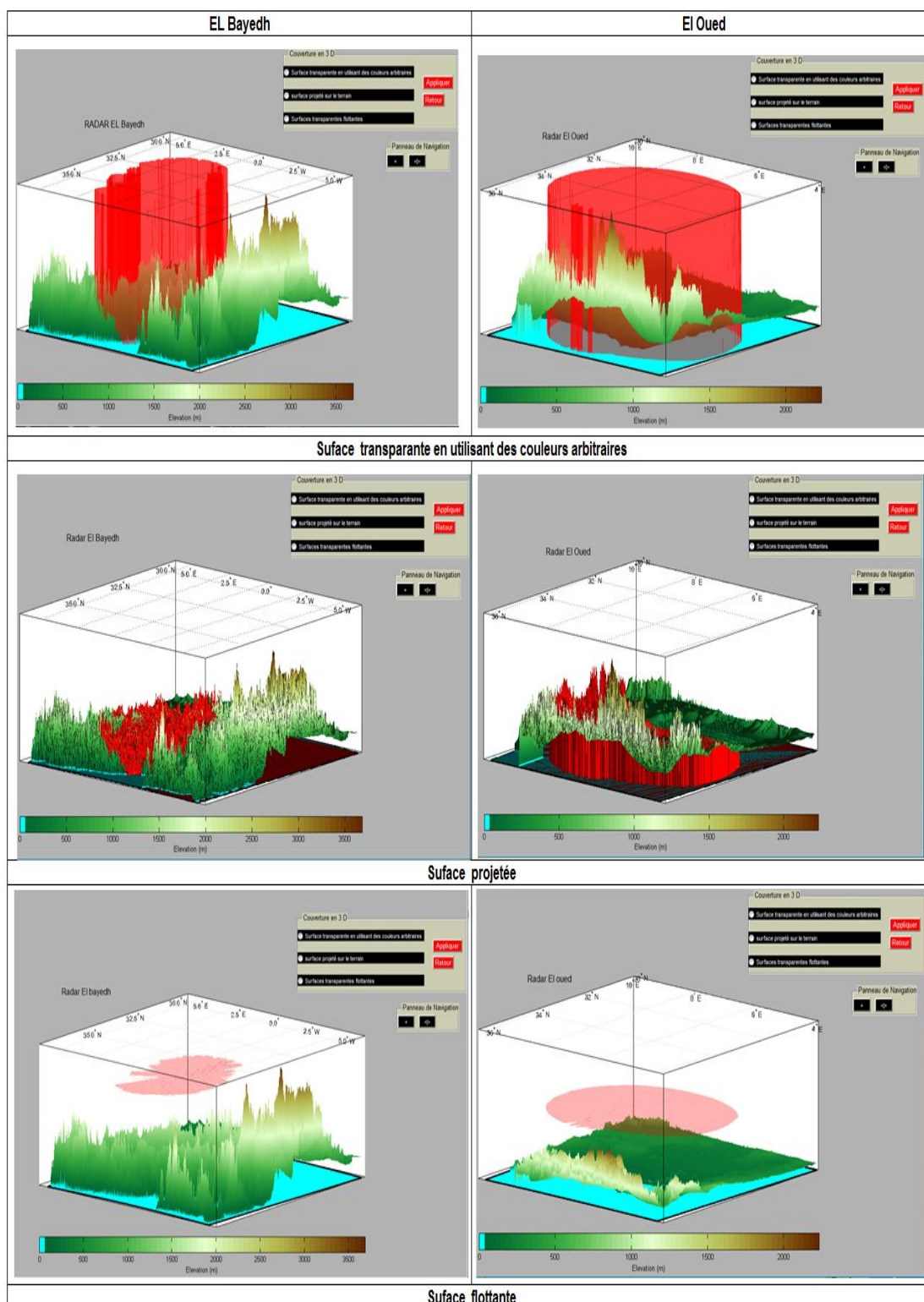


Figure 4.27 : Exemple de couverture Radar « El Bayedh et El Oued »

4.15. Application

1.15.1. Surveillance

Dans cette partie, nous simulons la couverture des radars existants dans la FIR d'Alger. Sachant que le système automatique Algérien de contrôle du trafic aérien (SAACTA) se compose de cinq (05) stations radar, d'un système de traitement de données radar (RTP et MTP) et d'un système de traitement de données plan de vol (FDP) [31].

4.15.1.1 État actuel des radars de surveillance

Le système radar est composé d'un radar primaire à Alger et cinq radars secondaires à Alger, Annaba, à Oran, El Oued, et El Bayadh.

D'après la figure 4.28 nous remarquons que ces radars fournissent la couverture du segment nord de la FIR d'Alger (TMA Centre Alger, TMA Nord Est et TMA ORAN) au-dessus de 3000 m par rapport msl (FL100) excepté un secteur au sud d'Alger. La couverture de l'espace aérien du nord est totale au-dessus de 6000 m de msl. Aucune couverture n'est fournie dans l'espace aérien du sud. La couverture simple est assurée à 6000 m de msl au-dessus de la presque totalité de l'espace aérien du nord avec une double couverture fournie dans environ la moitié de la zone couverte.

Simulation

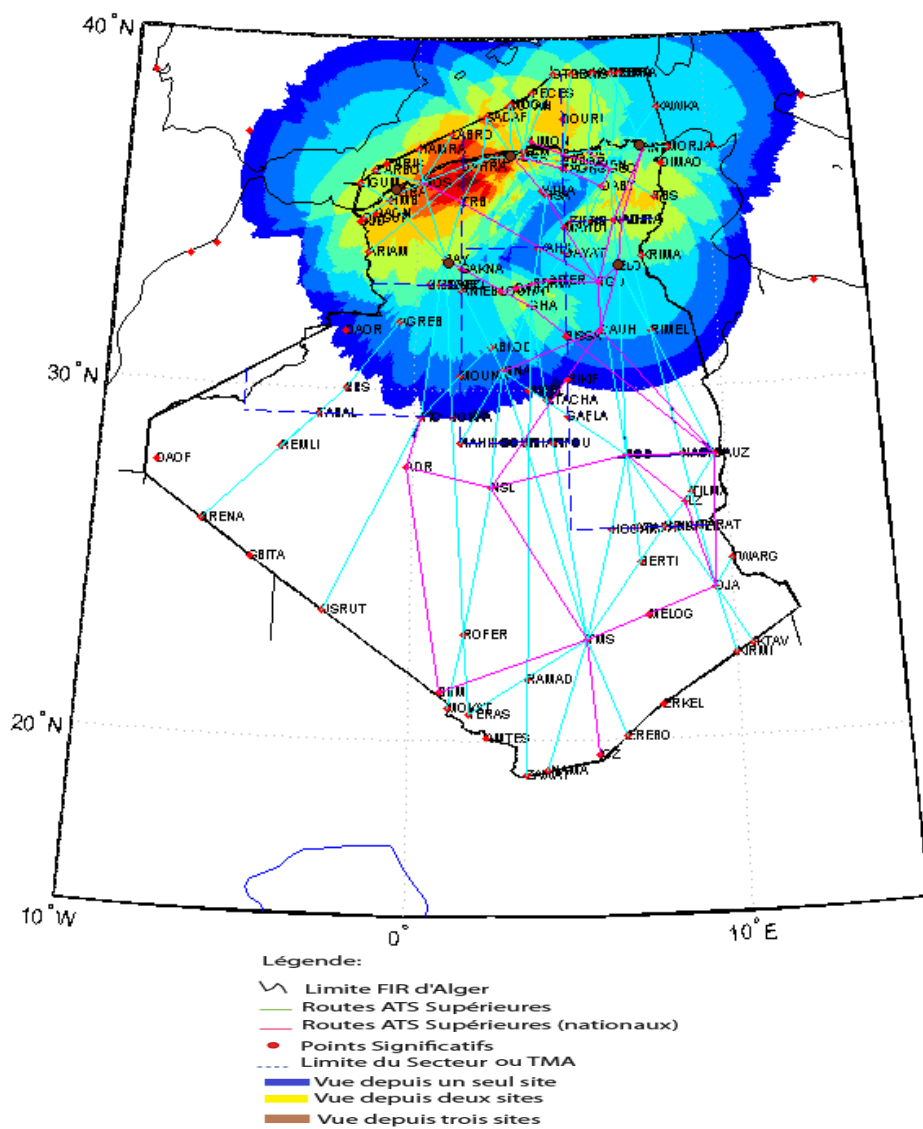


Figure 4.28 : Couverture multiple actuelle des radars composée à FL 100, 200 300

Simulation

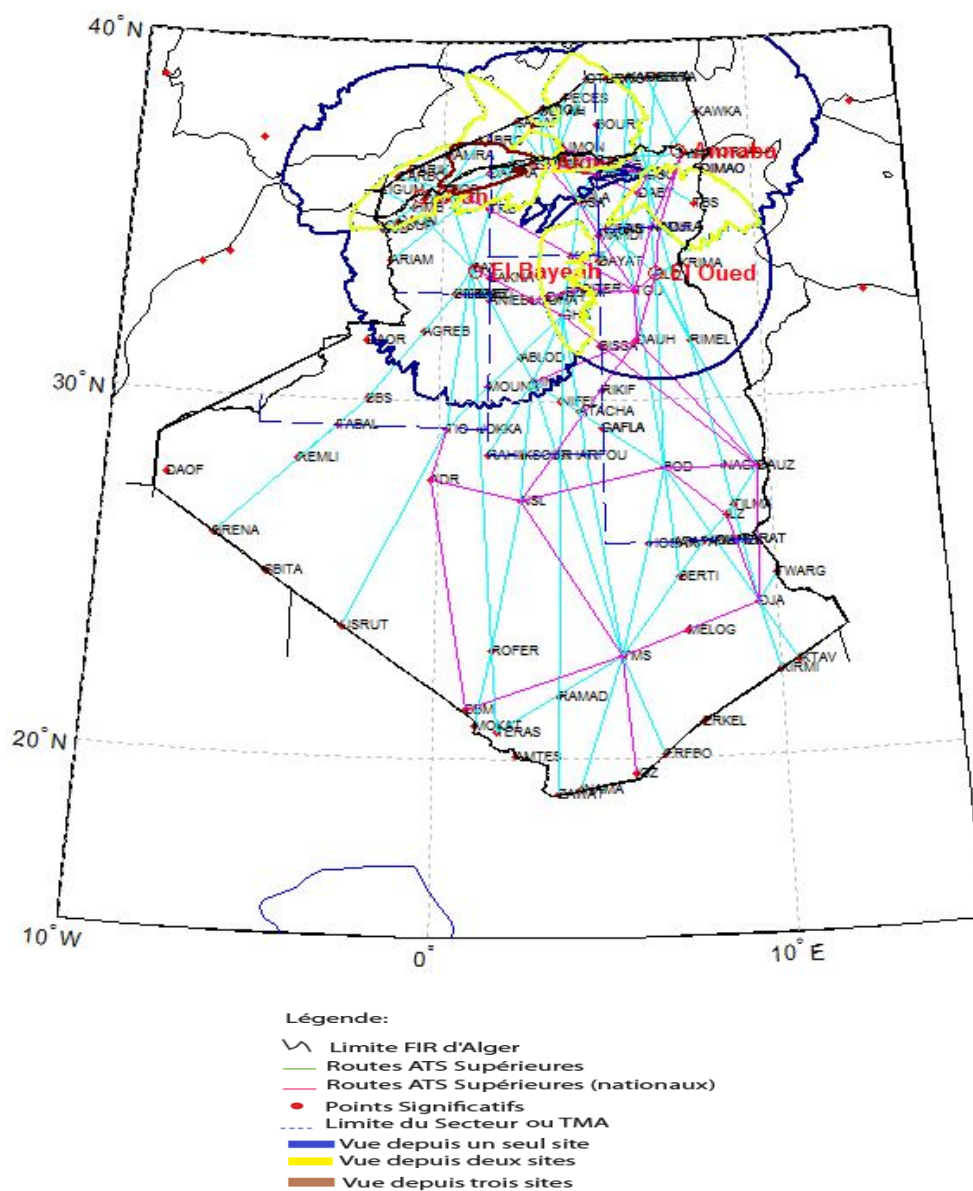


Figure 4.29 : Couverture Radar Multiple actuelle à FL 200

4.15.1.2 Mise en place des nouveaux radars dans la FIR d'Alger

↳ Au nord

Pour renforcer la couverture dans l'espace aérien du nord, il est proposé qu'un radar secondaire de surveillance mono pulse (MSSR) supplémentaire soit mis en place à l'ouest de Constantine. Ceci demandera une étude minutieuse sur place du site pour évaluer sa conformité opérationnelle.

Dans notre cas nous avons proposé que ce radar (MSSR) soit à l'intérieur de l'aéroport dont les coordonnées sont (Latitude : 36°17'07" N- Longitude : 006°37'09" E - Altitude de Radar : 706m).

↳ Sur la même figure 8 du chapitre 1 on remarque autant de croissance en nombre de vols dans la (TMA Ouest) et aussi une évolution remarquable dans les mouvements des avions militaires (statistique des mouvements 2011), dans ce cas une couverture d'un radar primaire combinée avec la couverture d'un radar secondaire sont souhaitables à Oran en raison de la complexité de cet espace aérien due au trafic mixte (militaire/civil).

↳ La figure 9 du chapitre 1, montre une capacité importante de l'aérodrome de Hassi Messaoud en termes du trafic, alors Il est proposé qu'un MSSR soit ajouté en raison du nombre de petits avions desservant les champs pétroliers à Hassi Messaoud et les opérations militaires à Ouargla.

Nous remarquons dans la figure 4.28 et 4.29 les routes passant du nord vers le sud au dessus de Constantine dans la TMA EST sont bénéficiées et renforcées d'une couverture double. Les routes passant à travers la TMA Centre et le secteur Sud /Centre sont assurées par une double couverture au dessus FL 200 à l'exception d'une partie au sud de TMA sud. Alors une couverture radar à Ghardaïa est nécessaire dans cette zone pour renforcer les opérations dans ce secteur.

Simulation

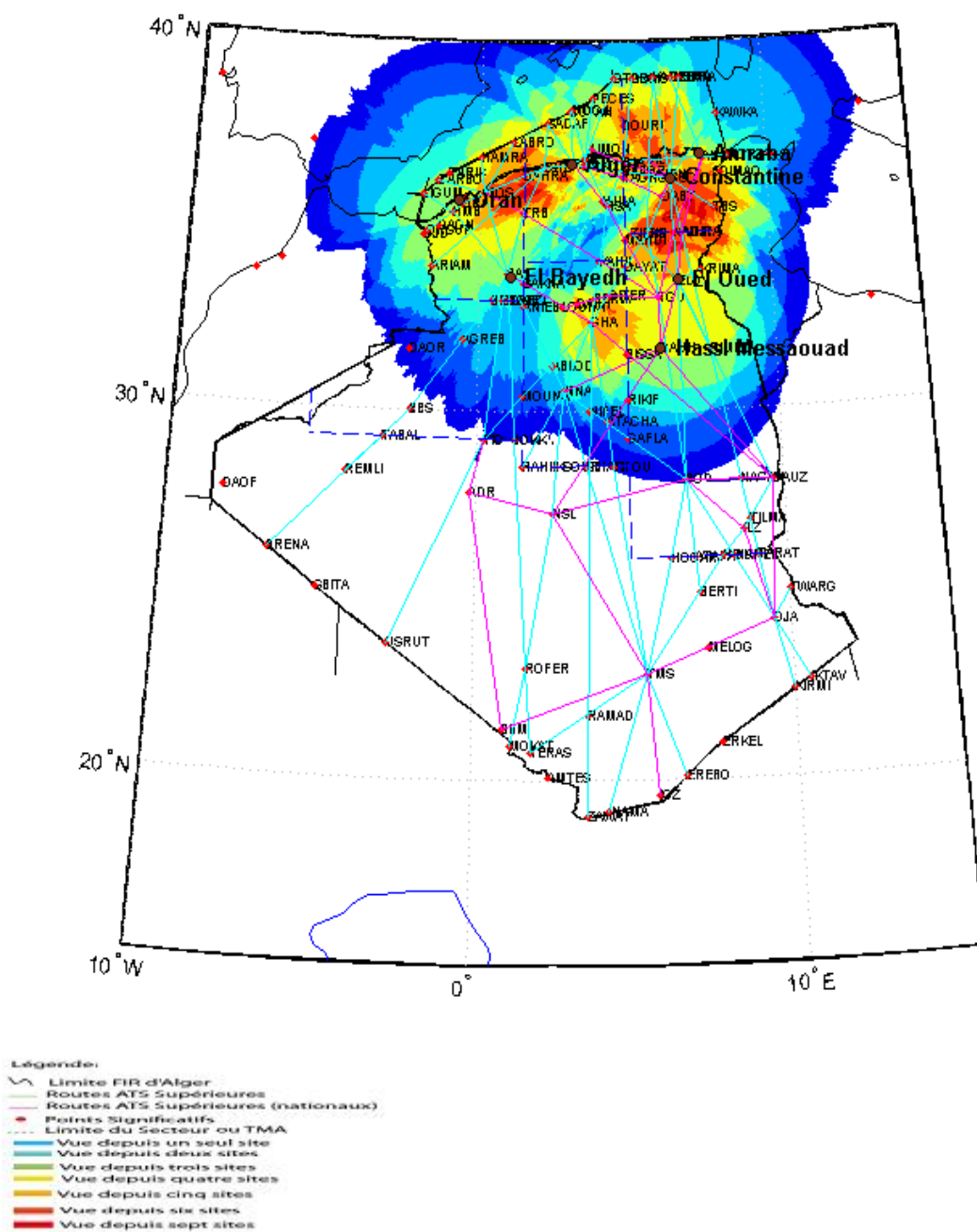


Figure 4.30 : Couverture Radar Multiple des cinq radar avec les nouveaux radar proposés à Constantine et Hassi Messaoud.

Simulation

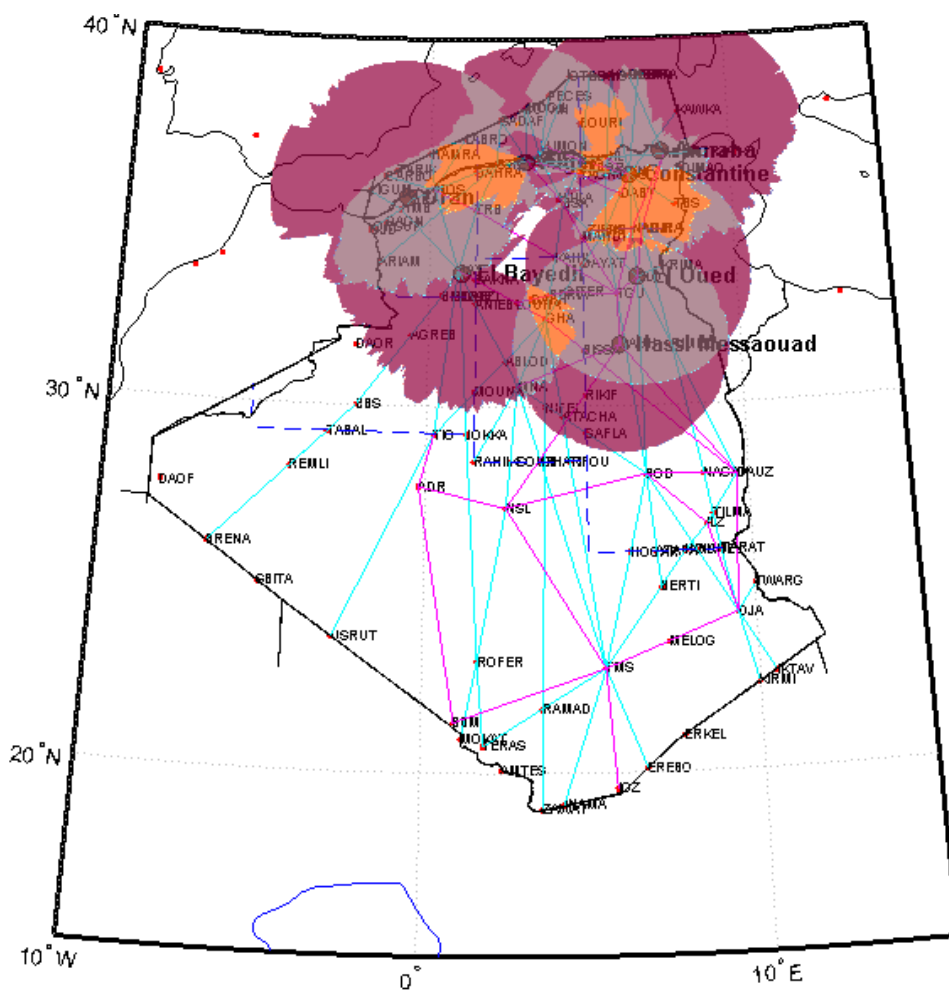


Figure 4.31: Couverture Radar Multiple à FL 200 Pour nouveaux Radars en Route Proposés à Constantine et Hassi Messaoud

Simulation

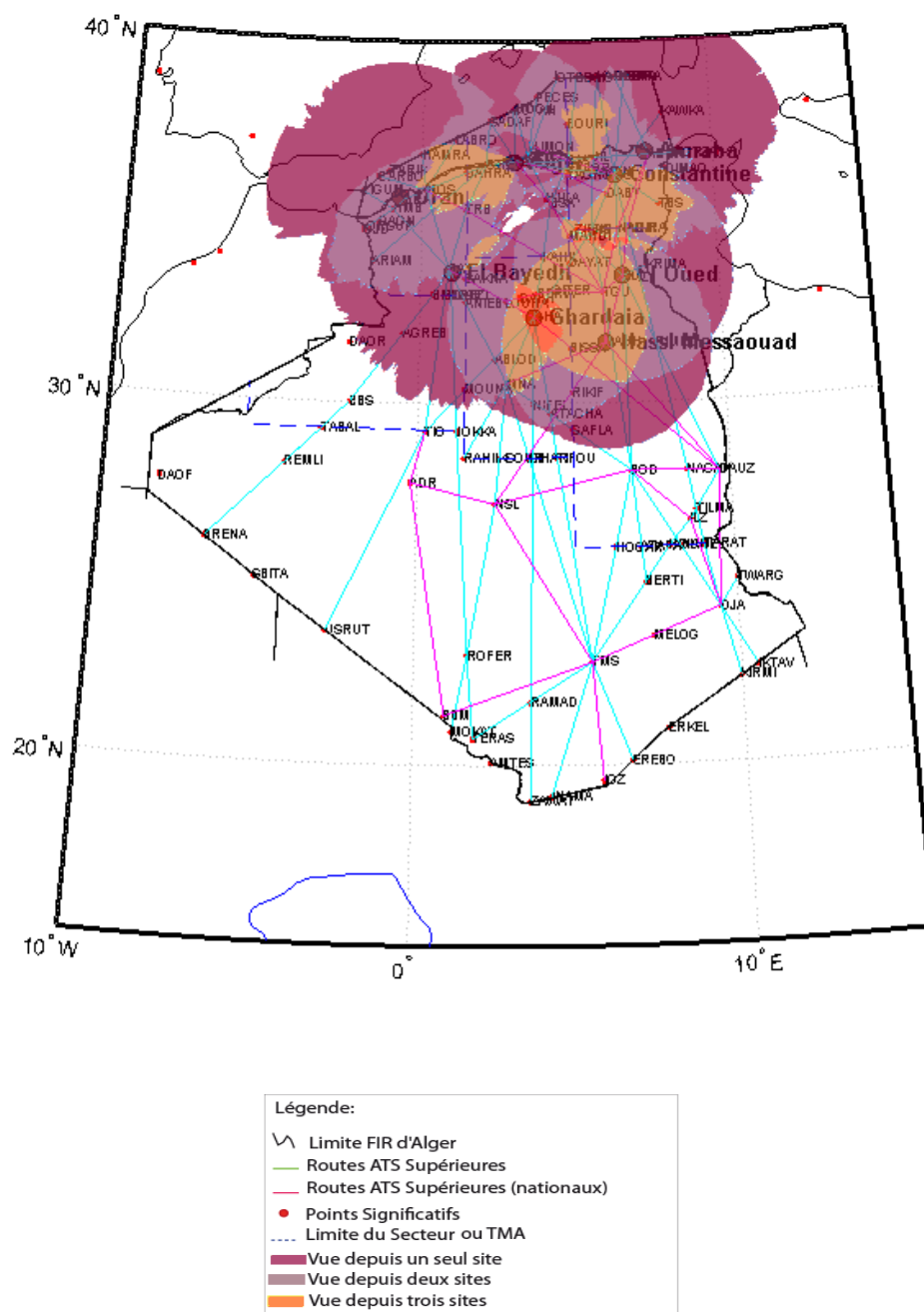


Figure 4.32 : Couverture Radar Multiple à FL 200 avec les nouveaux Radars en Route Proposés à Constantin, Hassi Messaoud et Gardia

↪ Au sud

Suite à l'ouverture de l'aérodrome mixte (civil/militaire) en 2012 à Tamarasset et l'installation d'un nouveau CCR, alors il est nécessaire d'ajouter un radar secondaire MMSR Co-implanté avec un radar primaire.

Une évolution permanente du trafic aérien a été enregistré dans les secteurs Sud/Sud et Sud/Est notamment dans les routes à hautes altitude traversant soit le sud ou le nord à travers la FIR d'Alger comme s'est illustré dans la figure 8 du chapitre 1, alors il est proposé que des MSSR soient ajoutés à Djanet et Bordj Omar Driss pour assurer une couverture continue dans ces routes.

Simulation

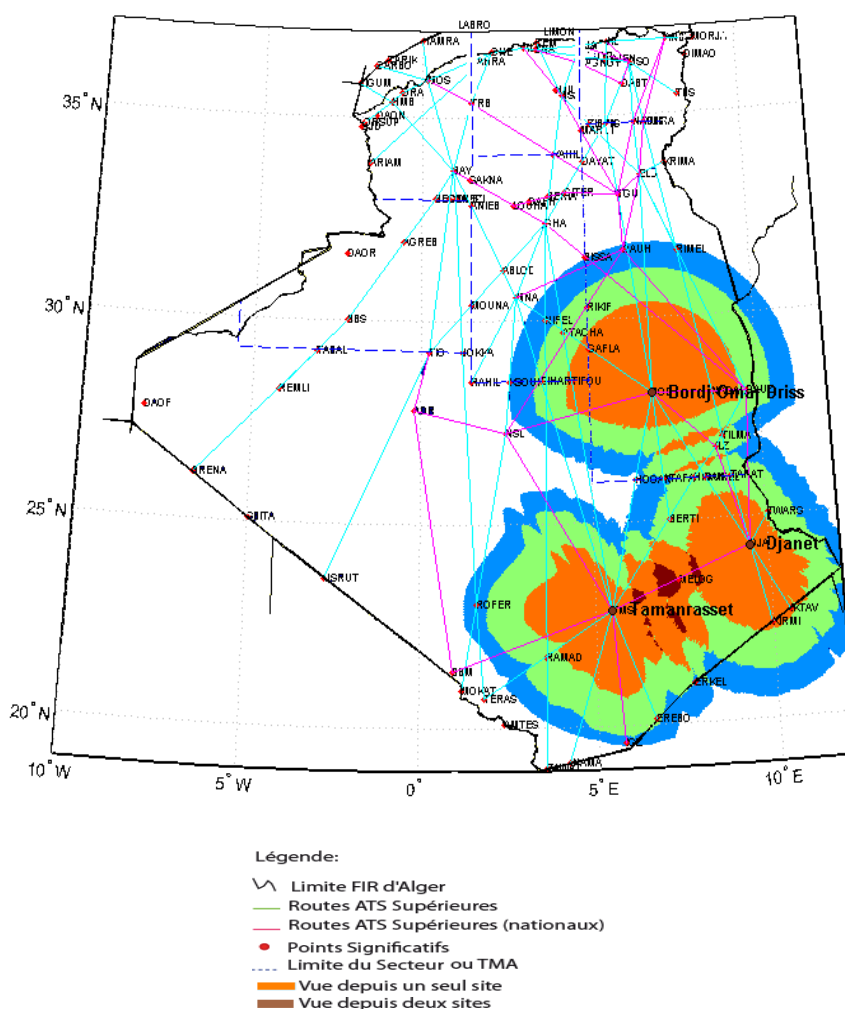


Figure 4.33 : Couverture radar multiple des nouveaux Radars en route proposés TMS, DJA, BOD à FL 100, 200,300

La figure 4.33 donne un aperçu claire sur la couverture des ces radars proposé .Ces MMSRs ont permis de :

- ↳ Assurer un contrôle adéquat des avions traversant cet espace particulièrement les routes passant à travers les secteurs Sud/Sud, Sud /Est au dessus de 6000 m/msl.
- ↳ Fournir un contrôle du secteur terminal à Tamanrasset Djanet.
- ↳ Soutenir les opérations militaires au niveau de la base aérienne de Tamanrasset.
- ↳ Etendre la couverture radar au sud.

1.15.2. Communications

Le système de communications actuel dans la FIR d'Alger se compose d'un réseau voix VHF sécurisé par deux installations HF destinées à une utilisation dans des opérations de secours. La disponibilité des communications a été un problème à la fois au nord et au sud, mais en particulier dans le sud. La mise en place d'un réseau de communications VHF solide, stable constitue l'un des buts principaux de la présente étude.

Dans la suite du document nous intéressons que par la mise en place des installations de communications nécessaires pour fournir la couverture simple à travers toute la FIR dans l'espace aérien actuel afin de soutenir les contrôles d'approche à ces endroits ainsi que les opérations en route.

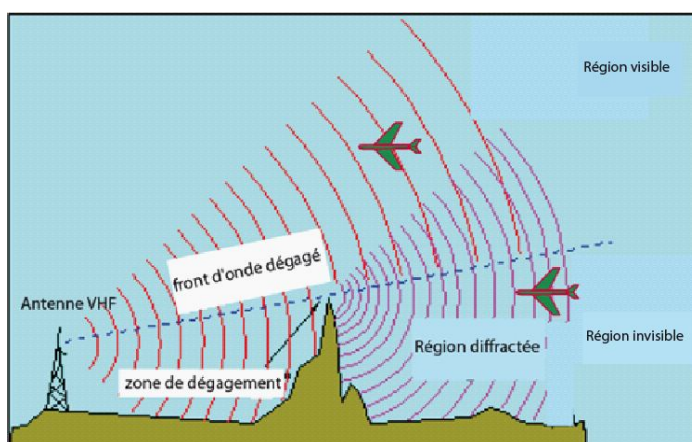


Figure 4.34 : Effet de géométrie d'une onde électromagnétique

4.15.2.1 Communications air-sol en route

Les communications en route sont assurées par seize sites d'émetteurs-récepteurs VHF distants dispersés à travers le pays.

Toutes ces installations sont situées dans les aéroports dotés de tour de contrôle ou sur des sites en dehors des aéroports et connectés à un aéroport à tour (Oran).

4.15.2.2 État actuel des installations communication (VHF)

Cette partie comporte les résultats de couverture VHF au nord et au sud de la FIR d'Alger pour chaque niveau de vol FL (100, 200, 300) et composé sous forme de <maillage> ou de <contour>. La figure 4.35 décrit un exemple de simulation de couverture VHF composé au sud et au nord de la FIR, on appuie sur le bouton « composé ».

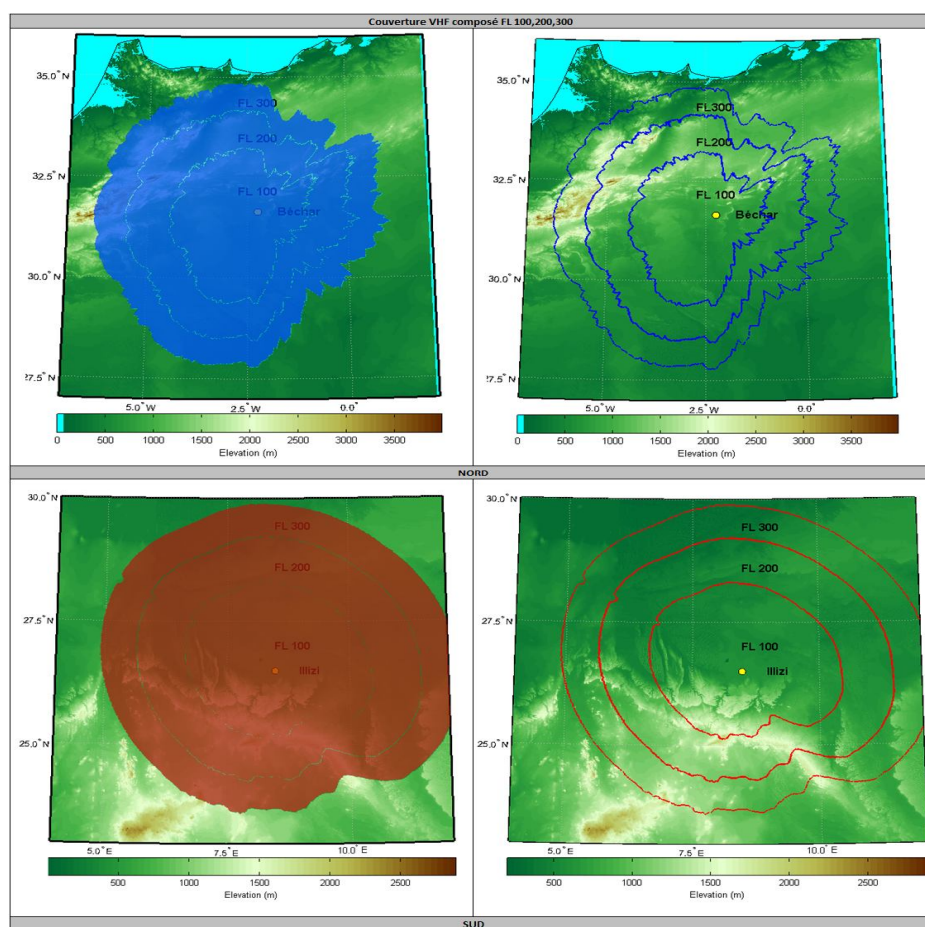


Figure 4.35 : Couverture VHF composé FL100, 200,300 au sud et au nord

4.15.2.3 Module topographique

Les figures 4.36 et 4.37 décrivent la couverture VHF au nord et au sud de la FIR résultant à partir de la simulation du module topographique pour chaque niveau de vol.

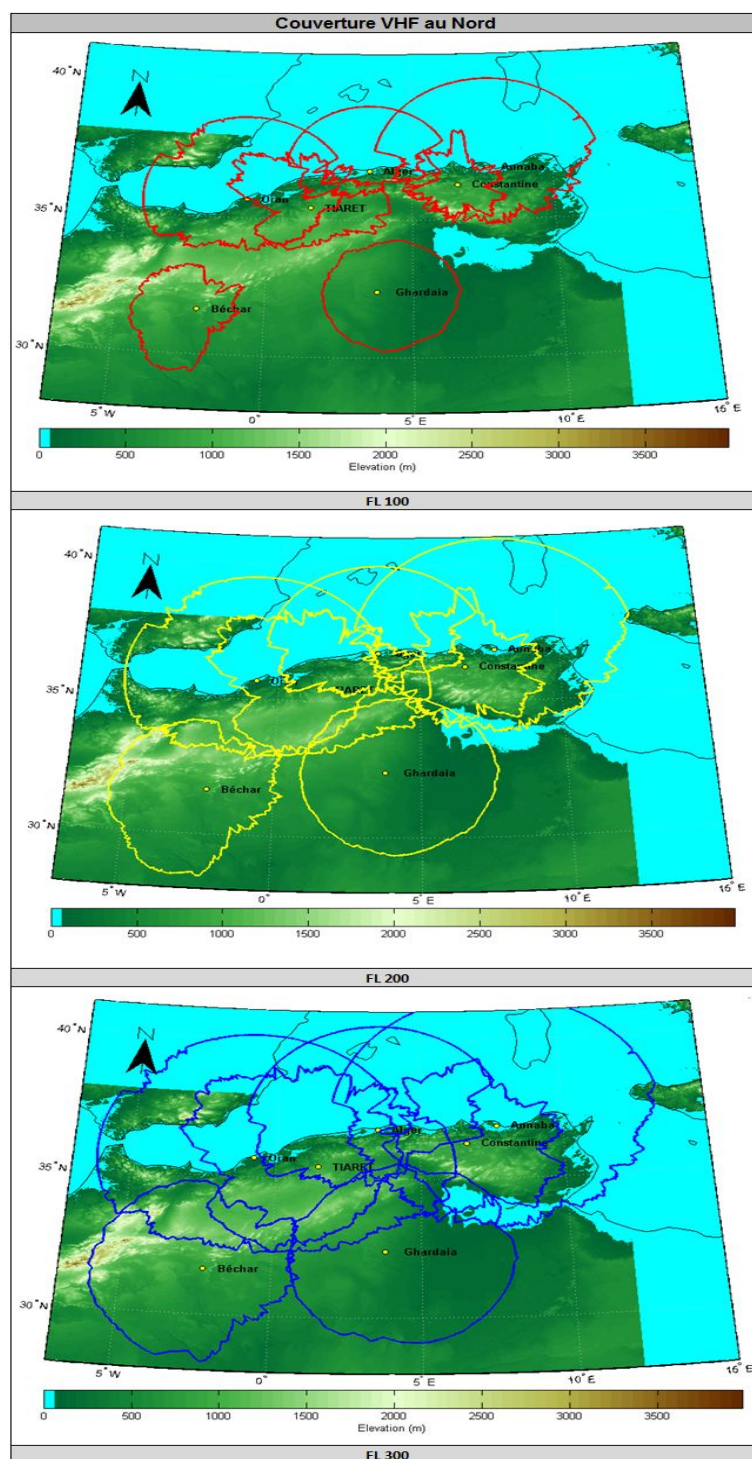


Figure 4.36 : Couverture VHF au nord

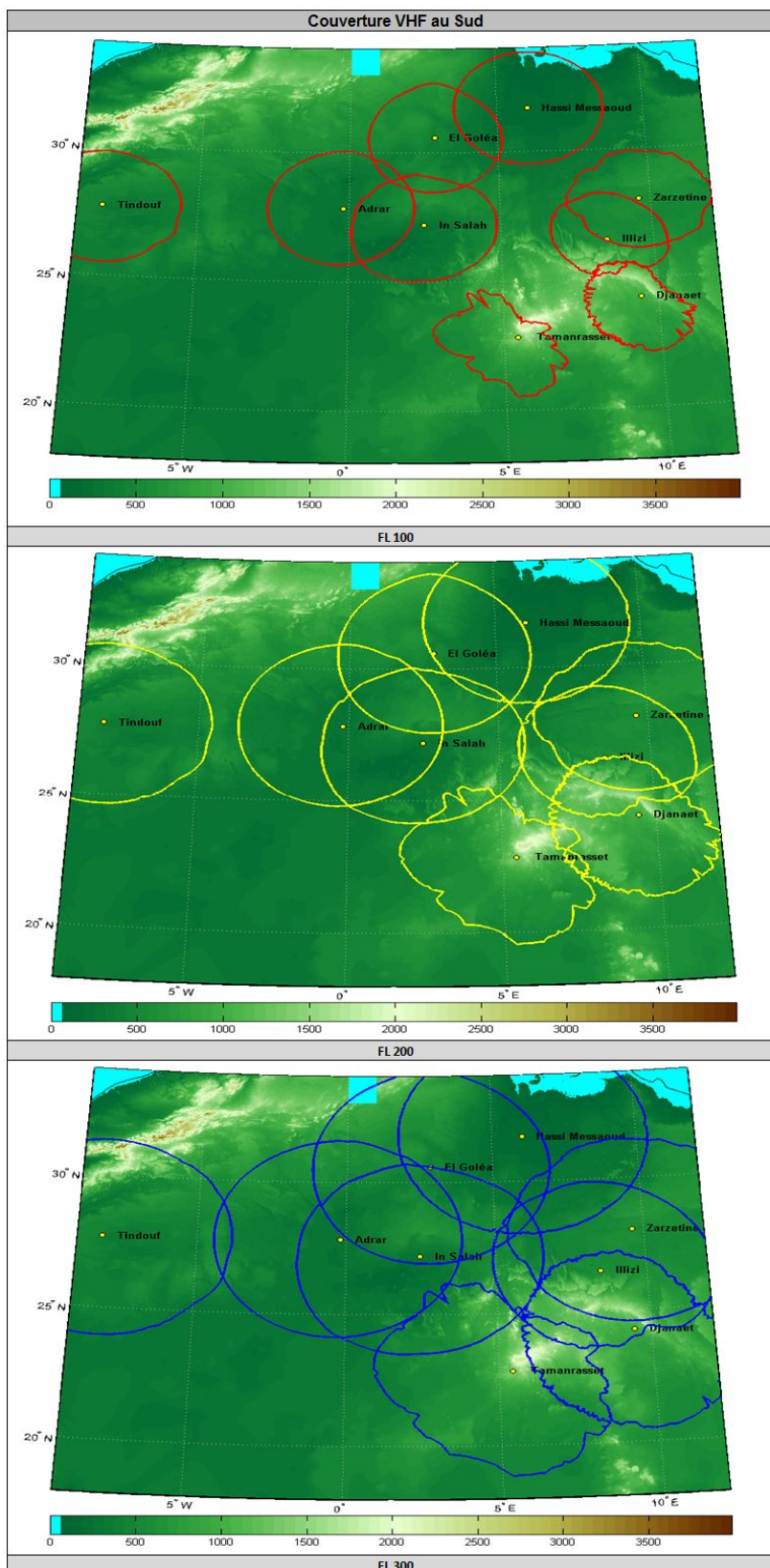


Figure 4.37 : Couverture VHF au sud

4.15.2.4 Module des ATS supérieures et inférieures

↳ Dans la boîte de dialogue « Couverture VHF nord Simple »

Les figures 4.38 et 4.39 décrivent la couverture VHF au nord et au sud de la FIR résultant à partir de la simulation du module ATS supérieure pour chaque niveau de vol FL (100, 200,300).

↳ Dans la boîte de dialogue « Couverture VHF nord Multiple»

Les figures 4.40 et 4.41 décrivent la couverture VHF au nord et au sud de la FIR résultant à partir de la simulation du module ATS supérieure à différents niveaux de vol FL (100, 200,300).

↳ Discussions des résultats

Après validations nous obtenons les résultats ci-dessous, où la couverture simple au-dessus de FL 200 est parfaite dans l'espace aérien nord. Aussi nous remarquons une double couverture meilleure dans l'espace aérien nord, elle est disponible à travers de la moitié de la FIR d'Alger au-dessus de 6000 m. Mais quelques zones de l'extrême sud restent découvertes.

Simulation : Couverture VHF Simple au nord

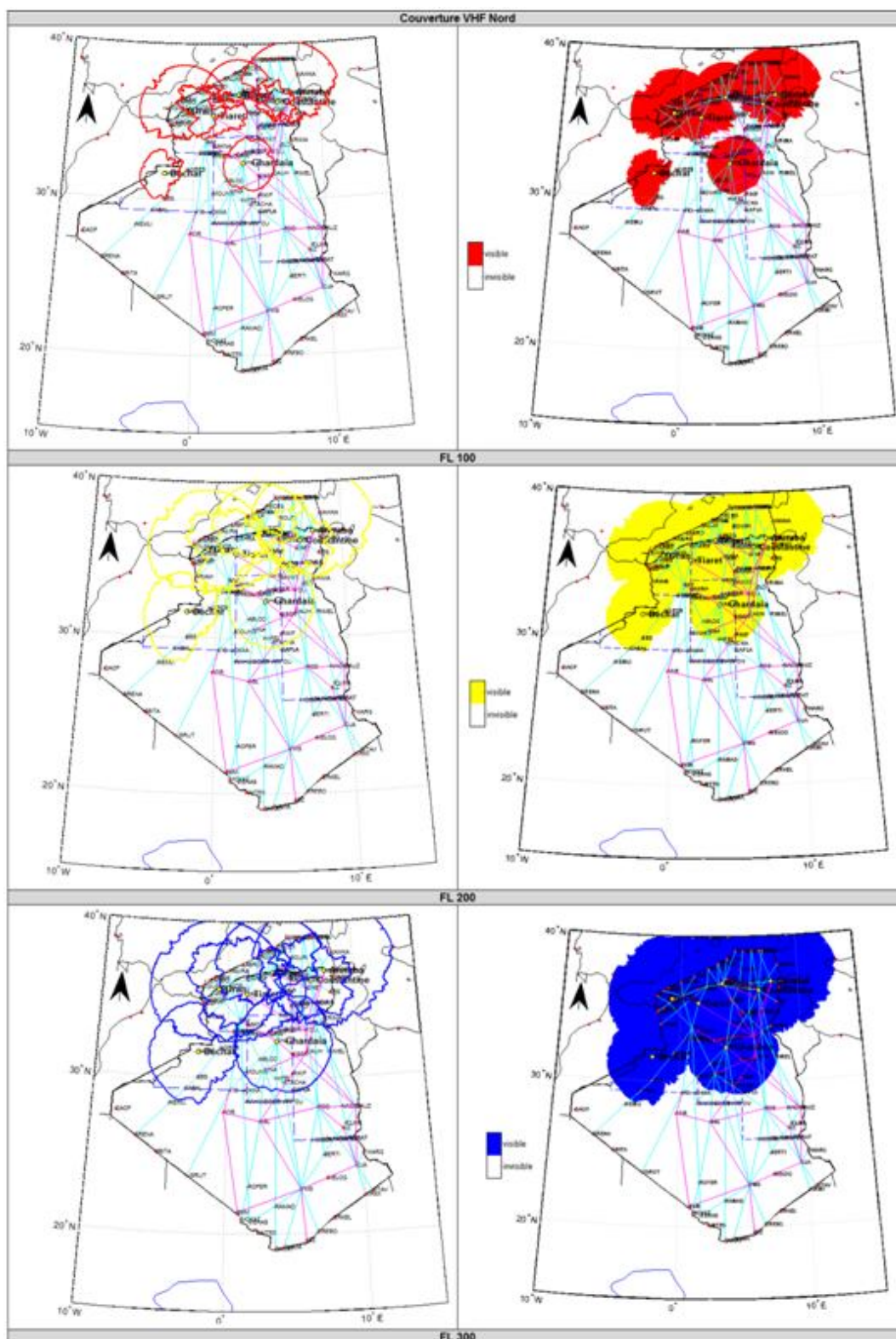


Figure 4.38 : Couverture VHF simple au nord FL (100, 200,300)

Simulation : Couverture VHF Simple au sud

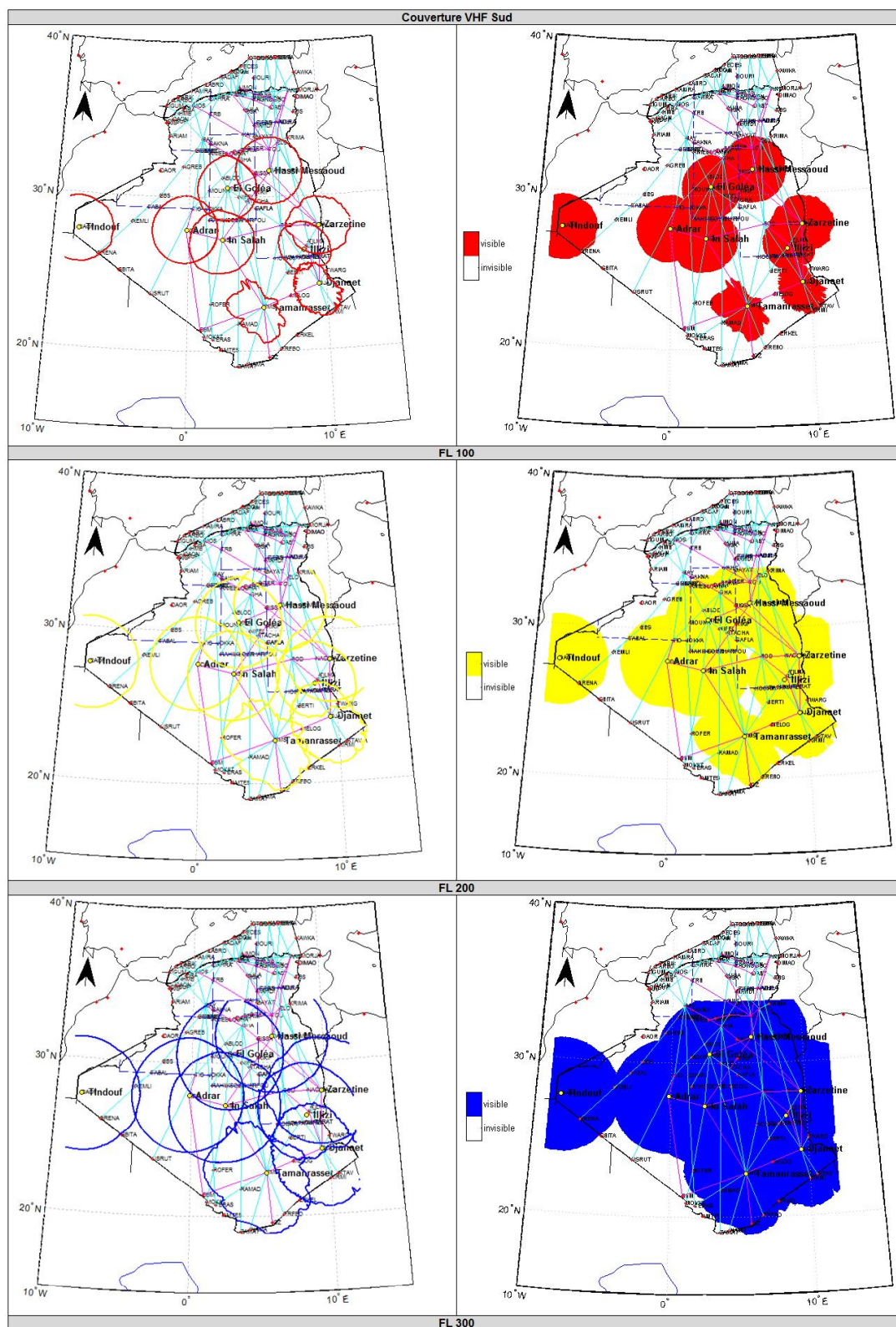


Figure 4.39 : Couverture VHF simple au sud FL (100, 200,300)

Simulation : Couverture VHF double au nord

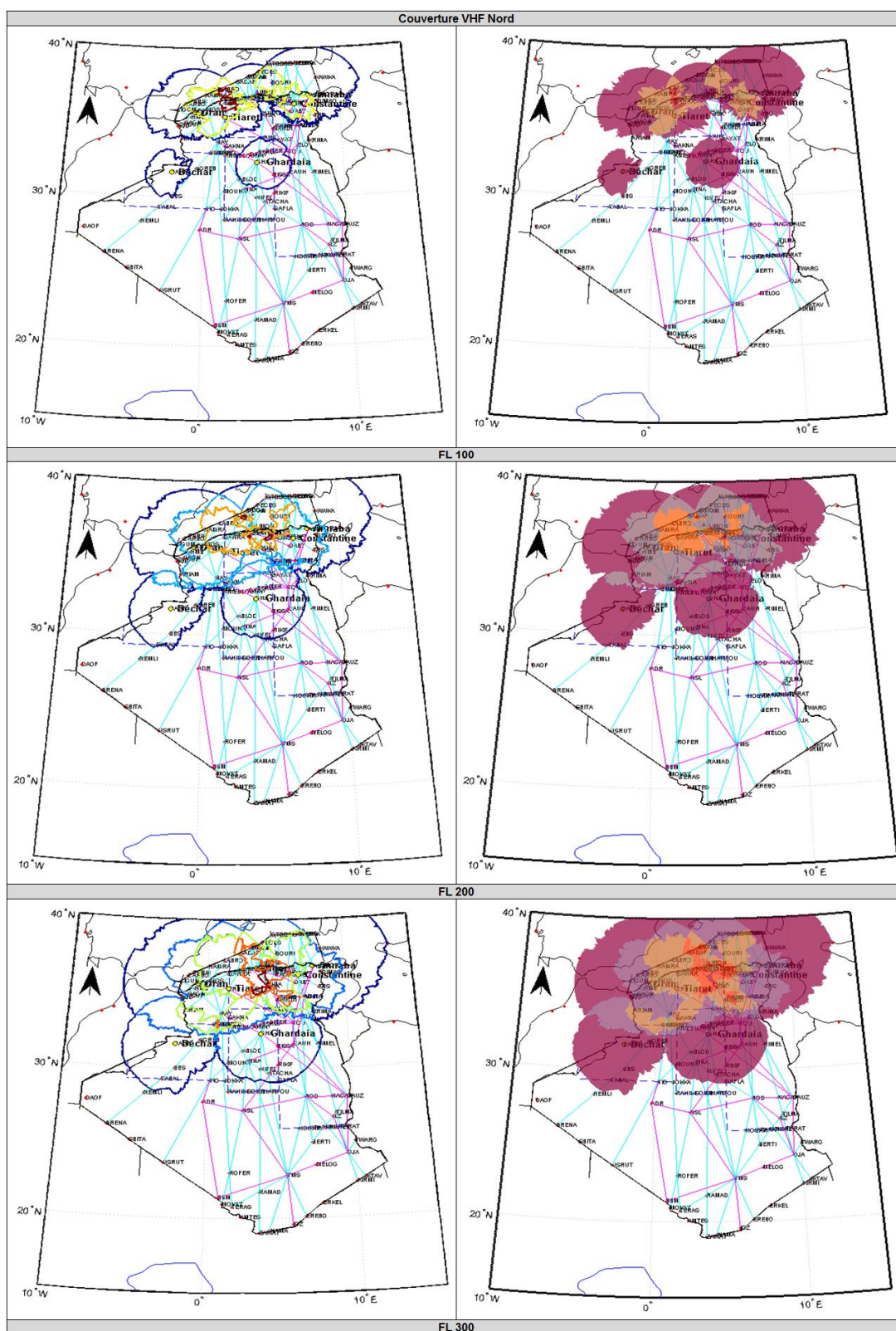


Figure 4.40 : Couverture VHF multiple au nord FL (100, 200,300)

Simulation : Couverture VHF double au sud

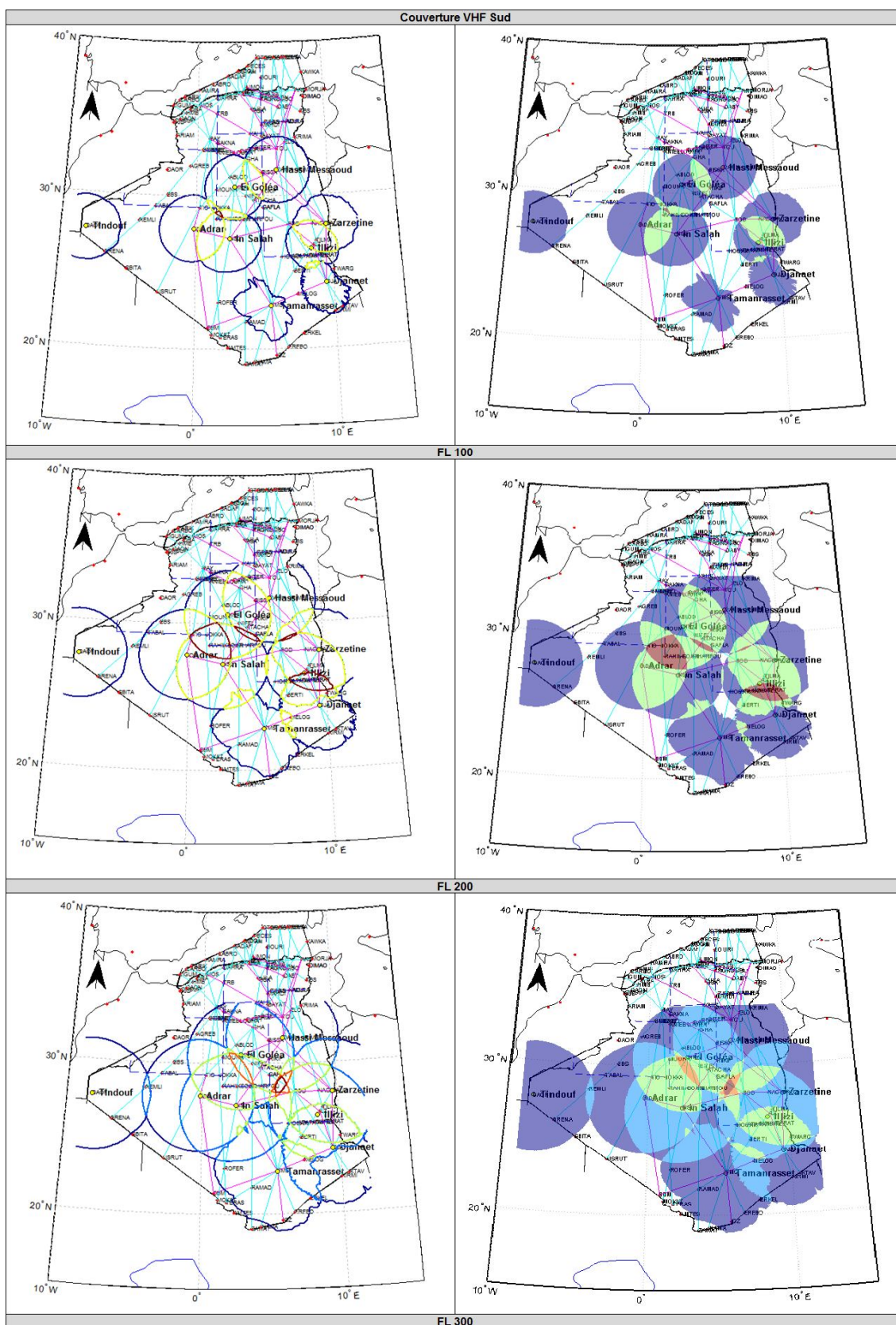


Figure 4.41 : Couverture VHF multiple au sud FL (100, 200,300)

4.15.2.5 Mise en place des nouvelles installations de communication VHF dans la FIR d'Alger

Pour soutenir les opérations en route et dans les grandes régions terminales, aussi pour fournir la double couverture au-dessus de 6000 m dans l'espace aérien. Il faut avoir suffisamment de sites supplémentaires qui seraient installés principalement au niveau des aéroports où elles seront sécurisées, aisément accessibles, et où elles pourront disposer d'une alimentation électrique et des installations de télécommunications VSAT et PTT.

La description des zones de couverture VHF multiple figure ci-après :

↪ Zone de couverture

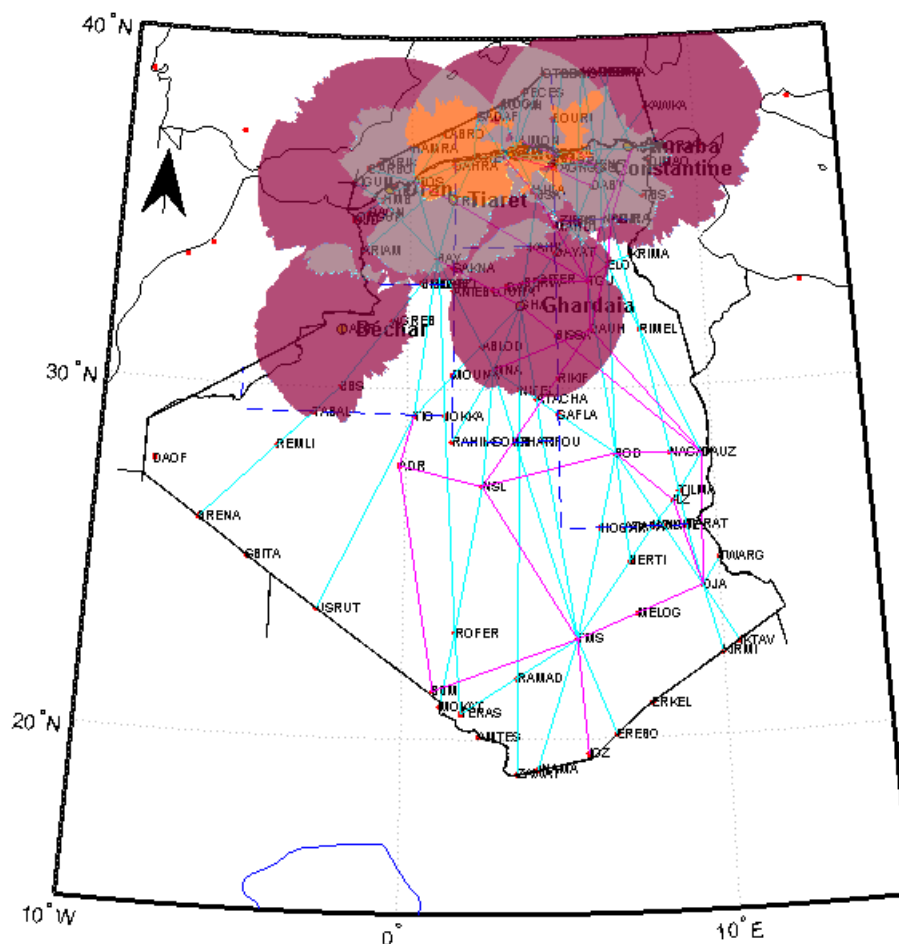


Figure 4.42 : Couverture VHF multiple au nord à FL 200

Simulation

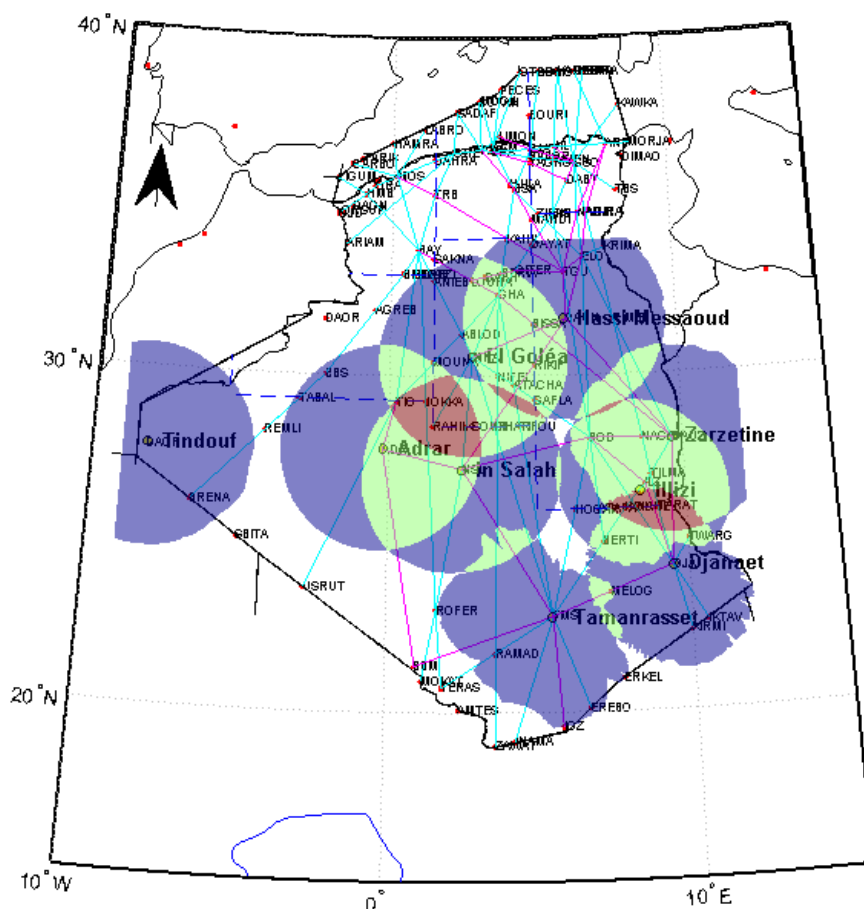


Figure 4.43 : Couverture VHF multiple au sud à FL 200

Suite aux problèmes opérationnels signalés et qui sont dus au manque de communications au sud où les trous sont plus grands que ceux du nord. Pour renforcer la couverture des routes passant du nord vers le sud, Il est proposé que des antennes VHF soient ajoutés à « Tinfouchy » pour soutenir la partie de la route ATS UA29 entre les points (BRENA et TABAL) ; à « Bordj Mokhtar » pour soutenir les trous entre Tamanrasset ,In Salah et Adrar ; à « Chenachane » pour couvrir les routes à hautes altitudes UB /UM 735 joignant le moyen de radionavigation VOR/DME de Timimoun (TIO) et point d'entrée/sortie USRUT dans le secteur Sud/Ouest, quant au le secteur Sud/Est des antennes localisées à « Bordj Omar Driss » et à la plate forme « Arak » sont nécessaires pour couvrir les trous se trouvant dans cette zone.

Les figures 4.44 et 4.45 montrent la couverture qui en résulte.

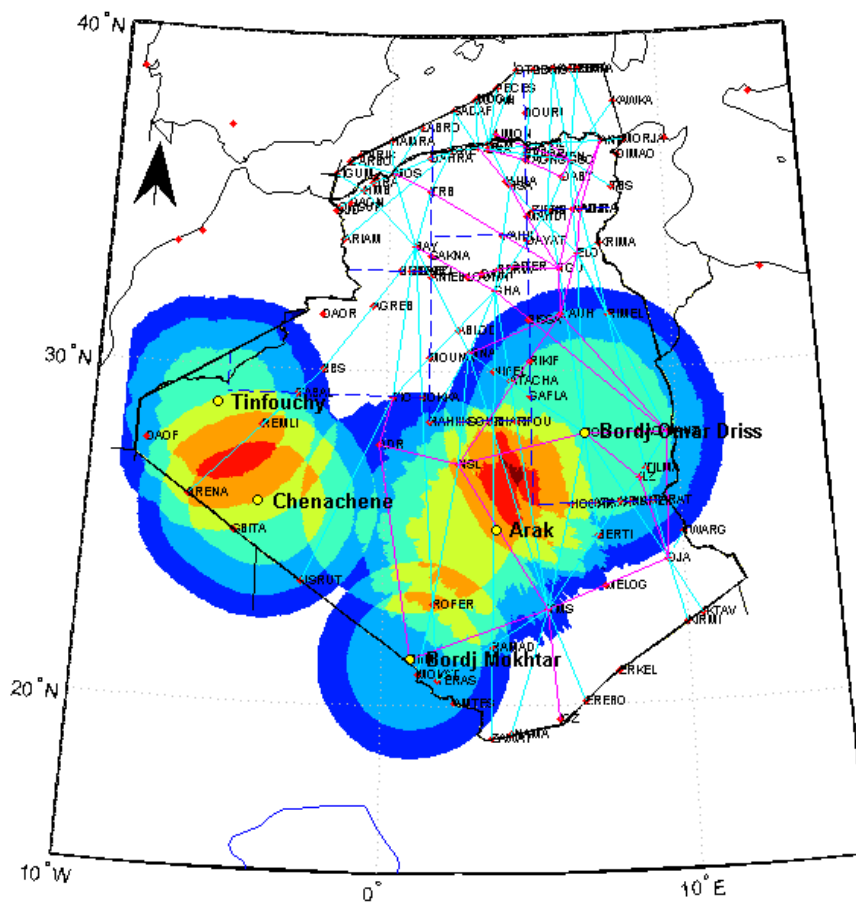


Figure 4.44 : Couverture VHF multiple proposé au sud à FL (100, 200,300)

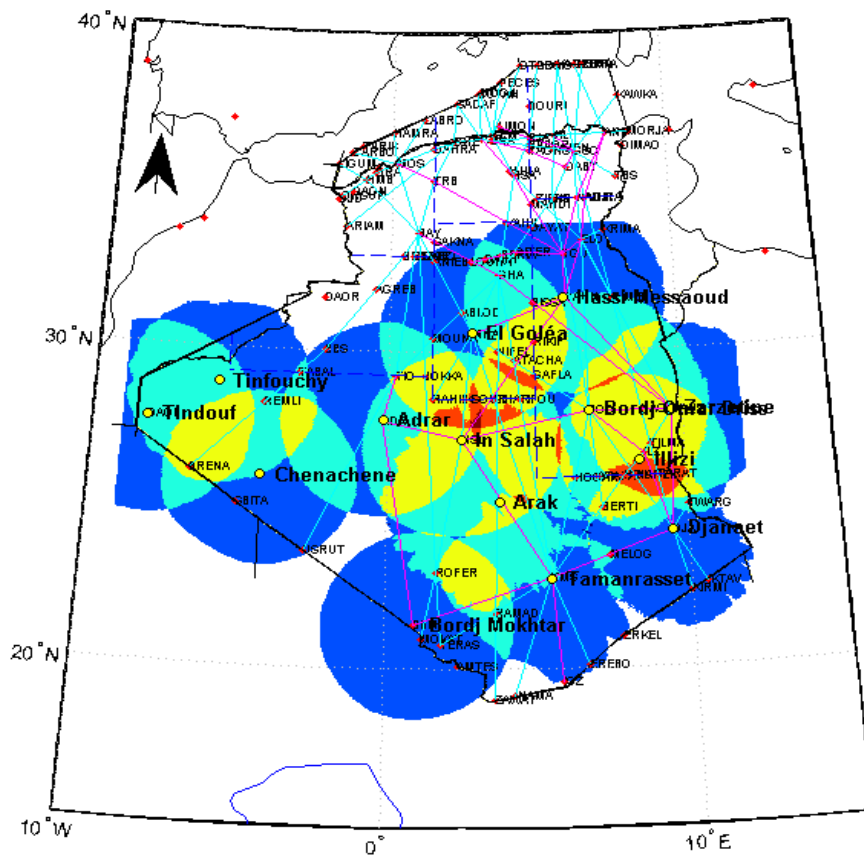


Figure 4.45 : Couverture VHF multiple proposé au sud à FL 200

4.16. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'outil numérique qui a permis l'exploitation optimale des installations actuelles et la mise en place de nouvelles installations radar et VHF dans FIR d'Alger. Le programme de détermination des couvertures calcule la couverture en fonction du niveau de vol (FL). D'après l'analyse des résultats de simulation on a pu constater que la couverture est tributaire principalement du site. Les grandes régions terminales à forte densité de trafic doivent disposer d'une couverture double. Cette combinaison garantit la disponibilité permanente d'informations et permet la fourniture de services de la circulation aérienne aux aéronefs dans l'espace aérien. Finalement, on peut dire que ce système donne des résultats satisfaisants bien que certains points soient à améliorer par exemple, il serait possible d'optimiser la couverture en utilisant plus de nombreux sites traités, des fichiers DTED plus précis, différentes configurations et d'autres types.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de notre travail était d'élaborer un système automatisé de suivi contribué à assurer une exploitation optimale de la fonction de surveillance radar et la fonction de communications VHF de l'ATC afin d'apporter des améliorations au concept CNS/ATM en Algérie.

L'outil actuel que nous avons programmé est une application espérant offrir aux utilisateurs un certain confort de travail, une démarche objective et une possible systématisation des calculs. Il dispose deux modules principaux celles de la surveillance radar et celle de la communication VHF. La possibilité est offerte de visualiser simplement les zones de couverture. Il dispose aussi d'une base de données de mise à jour contient les moyens CNS, les principaux aéroports implantés dans la FIR d'Alger.

Dans ce cadre d'étude, une méthode a été proposée dans ce travail afin d'afficher les zones de couverture sur des « cartes de visualisation en contour et en maillage » en s'appuyant sur l'information topographique fournie par le MNT. Premièrement, la projection a été effectuée sur une carte topographique ce qui nous a permis de visualiser le volume de couverture occupé sur les terrains montagneux et reculés. Cela nous a servi d'abord d'analyser et étudier les équipements actuellement existés, par la suite nous a servi de mettre en œuvre des nouvelles installations radars et VHF au sein de la FIR afin d'avoir une couverture continue lors de la fourniture de services de la circulation aérienne.

Deuxièmement, une projection a été réalisée sur une carte de croisière, où nous avons intéressé que par la sectorisation à haute altitude.

Ceci a permis d'étudier et constaté que les régions à faible densité de trafic où une couverture simple suffit, alors que les zones de forte densité de trafic doivent disposer d'une couverture double pour répondre aux besoins opérationnels en matière de services radar et communication VHF.

Finalement, une vue tridimensionnelle a été suggérée avec de trois types possibles d'affichage : surface transparence, surface projetée sur le terrain et la surface flottante, en combinant les informations altimétriques et la zone de couverture. Ceci aussi nous a permis d'étudier l'étendue horizontale et verticale de notre couverture, d'évaluer l'intervalle occupé à la fois au sol et au plafond.

Au niveau applicatif, la mise en place des nouveaux équipements radar et VHF du contrôle de la circulation aérienne dans l'espace aérien afin de garantir la fourniture ininterrompue de services radar et de services communications VHF sur une échelle aussi grande que possible, une couverture radar et VHF complète et continue, de qualité et de fiabilité élevées est indispensable, pour atteindre cet objectif, il faudra prévoir un programme de mise en œuvre par étapes, des priorités étant définies selon les besoins les plus urgents des services de la circulation aérienne.

Les résultats obtenus sont satisfaisants et confirment que le système proposé est un outil puissant et simple à mettre en œuvre, mais cela reste à améliorer. Ce qui nous exige à faire appel à la puissance rétrodiffusé du signal en fonction des antennes émettrice d'une part et la cible rétrodiffusé d'autre part, de la fréquence de récurrence des impulsions, du taux d'interrogation et de la performance des transpondeurs embarqués sur les avions et des données altimétriques très précises.

Parmi les limitations que présente l'outil que nous avons réalisé : il repose sur une approche simple (détermine simplement si les lignes droites peuvent être dessinées entre deux points sans être intersectées par le relief), la disponibilité des données altimétriques est un frein à leur acquisition ce qui constitue un inconvénient majeur, le temps d'exécution est relatif au matériel utilisé.

Pour les perspectives, à partir de ces constatations, nous suggérons de poursuivre ce travail en cherchant à appliquer d'autres types d'algorithmes souples afin de réduire le temps d'exécution et améliorer le type d'affichage de couverture en introduisant d'autres paramètres (réflexion, atténuation, trajets multiples créés dans la troposphère). Cela peut servir à faire des simulations aussi réalistes que possible et aider les programmes d'analyse.

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

- ↪ AFI : Afrique
- ↪ AIP : publication de l'information Aéronautique
- ↪ ATM : gestion du trafic aérien
- ↪ ATC : contrôle de la circulation Aérienne
- ↪ ATS : service de la circulation Aérienne
- ↪ AFTN : réseau fixe de télécommunications aéronautiques
- ↪ AFTM : mesure d'écoulement de trafic aérien
- ↪ ASM : service de la gestion d'espace au sol
- ↪ AMDT : amendement
- ↪ AD : aéroport
- ↪ AIC : circulaire Aéronautique
- ↪ AEFMP : Algérie, Espagne, Maroc, et du Portugal
- ↪ α : angle de vue
- ↪ CNS/ATM : communication, navigation, surveillance et gestion du trafic aéronautique
- ↪ CAG : circulation aérienne générale
- ↪ CCR : centre de contrôle régional
- ↪ CAT I : catégorie-1
- ↪ CQRENA : centre de qualification de recyclage et d'expérimentation
- ↪ CNTS : centre National des Techniques Spatiales

- ↪ CAP : circulation aérienne Publique
- ↪ d_{max} : portée de signal
- ↪ D_{max} : portée maximale
- ↪ DME : équipement de mesure de distance
- ↪ DTED : données numériques d'altitude de terrain
- ↪ E : est
- ↪ ENNA : établissement Nationale de la navigation Aérienne
- ↪ EFP : Espagne, France et du Portugal
- ↪ FL : niveau de vol
- ↪ FIR : région d'information de vol
- ↪ GNSS : système satellite de navigation globale
- ↪ h_0 : altitude de l'antenne
- ↪ K : Facteur de réfraction standard
- ↪ IEBA : infrastructures Électriques et Balisage de l'aérodrome d'Alger
- ↪ IFR : règle de vol aux instruments
- ↪ ILS : système d'atterrissage aux instruments
- ↪ KHz : Kilo hertz
- ↪ Lat : latitude
- ↪ Long : longitude
- ↪ Msl : niveau moyen de la mer
- ↪ MNA : modèle Numérique d'Altitudes
- ↪ MNE : modèle Numérique d'Élévation
- ↪ MNT : modèle Numérique du Terrain
- ↪ NDB : balise Non Directionnelle
- ↪ Nm : nautique mille
- ↪ NOF : bureau NOTAM International

- ↪ NOTAM : note aux personnes navigants
- ↪ OACI : organisation de l'aviation civile internationale
- ↪ P_e : précision MNT
- ↪ PPT : système de téléphone public
- ↪ PSR : radar primaire de surveillance
- ↪ R : rayon terrestre
- ↪ R_{eff} : rayon effectif
- ↪ RSG : grilles régulières carrées
- ↪ RTP : système de traitement de données radar
- ↪ SAACTA : système automatique Algérien de contrôle du trafic aérien
- ↪ SSR : radar secondaire de surveillance
- ↪ TRAFCA : traitement Automatique des Fonctions de la Circulation
- ↪ TIN : réseaux de triangles irréguliers
- ↪ TMA : région de vol terminal
- ↪ VHF : très haute fréquence
- ↪ VSAT : connections de télécommunications par terminal pour micro station
- ↪ VOR : VHF omnidirectionnel
- ↪ W : Ouest
- ↪ Δx : pas horizontal selon les longitudes
- ↪ Δy : pas vertical selon les latitudes
- ↪ Z : altitude de récepteur

REFERENCES

1. L'Agence Eurocontrol, document pour la surveillance radar dans l'espace aérien en route et les grandes régions terminales -édition 1997
2. Circulaire de l'information aéronautique SERIE A, Service de l'information aéronautique NR 02 / 06, (19 janvier 2006).
3. Groupe de publication de l'information aéronautique d'Algérie, service de l'information aéronautique, (2010).
4. Asma, A et Missiva, B, « proposition d'une mise en œuvre du CNS/ATM en Algérie », (juillet 2007).
5. Bassem R. Mahafza et Ph.D. « Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB», ISBN 1-58488-182-8 Huntsville, Alabama, TK6575 .M27 (2000).
6. Dustin Howard¹ et May Yuan², «A continuous field approaches using GIS to model weather radar terrain occultation», University of Oklahoma, Center for Spatial Analysis. Norman, Oklahoma.
7. Z._Mohamed et C_Gherici , « étude de la liaison faisceau hertzien numérique axe : Oran -Tlemcen», Institut des télécommunications abdelhafid boussouf – Oran (2003).
8. K.debavelaere Leroux, «réduction de MNA sous contraintes géomorphologiques ; impact sur la détermination du champ de vision», École Supérieure des Géomètres et Topographes (juillet 2005).
9. Groupe expert de l'organisation de l'aviation civile internationale, « Plan mondial de navigation aérienne 9 750 », troisième (2007).

10. Commission d'évaluation des performances (PRC), « Évaluation de la gestion de la circulation aérienne en Europe au cours de l'année civile 2007 », Commission d'Examen des Performances, (mai 2008).
11. F. RAMOS, « Modélisation et validation d'un système d'information géographique en 3 D opérationnel », université de la marne -la-vallée, EADS Systems and defence electronics, mai (2003).
12. Northrop Grumman Electronic Systems et Jerry Thompson & associates « l'étude TDA de l'espace aérien algérien » pour l'établissement de la navigation aérienne, Inc. (2004).
13. R. UPRETI, "System to Aid Broadband Mast Placement in Scottish Highlands and Islands", Computer Science, University of Edinburgh (2011).
14. DE FLORIANI L. et al , 1994, Line-of-sight communication on terrain models, International Journal of Geographical Information Science, VOL.8, NO. 4, 1994, p. 329-342.
- 15 .FISHER H., 1996, Extending the applicability of viewsheds in landscape planning, Photogrammetric engineering and remote sensing, VOL.62, NO. 11, p. 1297-1302.
- 16 NAGY G., 1994, Terrain visibility, Computer and graphics, 1994, VOL.18, NO. 6, p. 763-773.
17. O'SULLIVAN D. et TURNER A., 2000, Visibility graphs and landscape visibility analysis, International Journal of Geographical Information Science, 2001, VOL.15, NO. 3, p. 221-237.
18. AIP Algérie 09, direction d'exploitation de la navigation aérienne Service de l'information aéronautique partie ENR
19. Procédures pour les services de navigation aérienne, Gestion du trafic aérien doc 4444, CHAPITRE 4. DISPOSITIONS GÉNÉRALES APPLICABLES AUX SERVICES DE LA CIRCULATION AÉRIENNE

20. L. De Floriani, E. Puppo, and P. Magillo. Applications of computational geometry to geographic information systems. In J. Urrutia J. R. Sack, editor, Handbook of Computational Geometry, pages 333–388. Elsevier Science, 1999.

21 Z. Li, Q. Zhu, and C. Gold. Digital Terrain Modeling - principles and methodology. CRC Press, 2005.

[22]. DEFLORIANNI,L.,MONTANI,c et SCOPIRO,R.(1994) parallelizing visibility competition triangulated terrain. Journal international of geographical information, system 8,515-532.

23 .W. R. Franklin. Triangulated irregular network program. <http://www.ecse.rpi.edu/~wrf/wiki/Research/tin73.tgz> [accessed 30 Oct 2008], 1973.

24. ACASIA, atelier du cartographe /CFA NR 12 / 07, (mars 2007).

25. B.C, bureau cartographie du service de navigation/direction des services de moyens opérationnelle/CFA.

26. Chapman & Hall/CRC, Radar Wave Propagation, Chapter 8 (2000).

27. CHRISTIAN ROUX et al, Simulation à l'aide d'un modèle numérique de terrain par un radar météorologique, hydro, continent, vol 4, n°2,1989,139-149.

28. REIF J, H, SEN, s. (1998),Anficient Output-sensitive Hldenn –surface REMOVAL algrithm and its paralleization,4 th annal ACM syposium on computation geometry 1988.

29. Karine DEBAVELAERE LEROUX, Réduction de MNA sous contrainte géomorphologiques ; impact sur la détermination du champ de vision, Institut de Recherche de l'École Navale Groupe SIG page 18, ESGT 2005.

30. David Mewett, Damian Hall et Adam Davies Visualisation Line-of-Sight Les informations continues dans Matlab , Intelligence, Surveillance and Reconnaissance Division du renseignement, surveillance et reconnaissance Information Sciences Laboratory Sciences de l'Information Laboratoire DSTO-GD-03DSTO-GD-0397.

31. Circulaire de l'information aéronautique SERIE A, Service de l'information aéronautique NR 04 / 08, (AVRIL 2008).
32. Reintjes, J. Francis and Godfrey T. Coate, Principles of Radar. New York: McGraw-Hill, 1952.
33. KATZ, M.J, OVERMARS, M.H et SHAPIR, M (1992) efficient hidden surface removal, for objects with small union size, computational geometry theory application2, 223,234.
34. OVERMARS, M.H, et SHAPIR,M (1992) ,A simple output sensitive Algorithm for hidden surface removal .ACM transaction ON GRAPHICS 11,1-11.
35. PREPARATTA, F.P. et vitters, J.S (1992) .A simplified technique for hidden line elimination in terrain lectures notes in computer sciences, 577,135-144.
36. EDELSBUNNER, H, GUIBAS, L, J et SHAPIR, M (1988), the upper envelope of piecewise linear function : algorithms and application .discrete and computational geometry 4 th 311-336.
37. SHAPIRA, M (1990), visibility on terrain labelling rensselearer, polytechnic institutue,mai 1990.
38. DONNAY, J. (1992) détermination en mode maillé du champ d'intervisibility dans un modèle numérique de terrain, Cartographical 29(3-4) ,75-82.