



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Saad Dahlab de Blida 1

Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales

## **PROJET DE FIN D'ETUDES**

*En vue de l'obtention du Diplôme de*

## **MASTER EN AERONAUTIQUE**

**DEPARTEMENT : Navigation Aérienne**

*Option : Exploitation Aéronautique*

### **SOUS LE THEME**

## **SECTORISATION PAR SECTEURS ELEMENTAIRES APPLICATION A LA FIR ALGER**

Présenté par :

- Mme. GHODBANE Iméne
- Melle. BENFLIOU Chahinez

Encadré par :

- Mme. HAMLATI Zineb
- Mr. MOUFEK Ahcene

**Année universitaire : 2021/2022**

## *Remerciements*

*Louange à Allah, notre créateur de nous avoir donnée la force, le courage, la possibilité et la volonté d'accomplir ce modeste travail...*

*Avant de continuer ces modestes lignes nous offrons le plus haut verset de remerciement, de gratitude, d'appréciation et d'amour et à ceux qui ont porté le message le plus sacré dans la vie...*

*A ceux qui nous ont pavé le chemin du savoir et de connaissance...*

*A tous nos distingués professeurs de l'institut d'aéronautique de Blida- qui nous ont accompagnés pendant ses deux années et qui nous ont tendu la main du savoir et aider dans notre cheminement scientifique et formatif pour assurer le succès de ce projet sans oublier toute l'équipe du personnel administratif et technique qui ont fait des efforts innombrables pour assurer une bonne progression et travailler sur les différentes plateformes d'enseignement à distance tout au long de cet crise sanitaire.*

*Nous apprécions et remercions en particulier nos encadreur « Mme Amalati Zineb » et « Mr Ahcene Moufek » qui ont supervisé notre encadrement, formation, accompagnement et la mise à disposition des informations nécessaires pour mener à bien nos recherches*

*Nous dédions cet humble travail à nos chers parents bien aimés, que dieu prolonge leurs vies et les protège inchallah*

*A mes sœurs et frère «GHODBANE : Yassine, Lydia, Dounia»*

*«BENFLIQU : Slimane, Amine, Hamida, Zaki »*

*A toi mon cher mari ' 'CHERAFIA Sid Ahmed' ' qui m'a soutenu dans tout ce que j'entreprends, que dieu te protège et te laisse à mes côtés*

*A mon bébé ' 'Wassim' ' à qui je souhaite de plus grand succès que les miens dans sa vie.*

*Nous adressons par la suite aussi nos remerciements aux autres étudiants (en particulier Samia, Chanez et Souhila, Sofia) et à tous ceux qui nous ont soutenus tout au long de notre travail.*

## SOMMAIRE

Remerciements	
SOMMAIRE	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
Liste des abréviations	
Résumé	
Introduction générale .....	1
<b>CHAPITRE 01 : PRESENTATION DE L'ETABLISSEMENT D'ACCEUIL ET GENERALITES SUR LES ESPACES AERIENS</b>	
I.1 Introduction .....	3
I.2 Présentation de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA) .....	3
I.2.1 Organisation de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA).....	3
I.2.2 Les missions de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA) .....	4
I.2.3 Moyens techniques de l'établissement.....	5
I.3 Notion sur les espaces aériens.....	6
I.3.1 Les différents services fournis dans un espace aérien .....	7
I.3.2 Objet des services de la circulation aérienne .....	8
I.3.3 Division de l'espace aérien .....	8
I.3.3.1 Espaces aériens non contrôlés .....	8
I.3.3.2 Espaces aériens contrôlés.....	9
I.3.3.3 Les zones à statut particulier .....	10
I.3.4 Classe d'espaces aériens.....	11
I.3.5 Description de l'espace aérien Algérien.....	12
I.3.5.1 Les différents services fournis à l'intérieur de l'espace aérien Algérien .....	12
I.3.5.2 Les différents services fournis à l'intérieur de l'espace aérien Algérien .....	13
I.3.6 Structure de l'espace aérien .....	17
I.3.7 Le projet PDGEA (Projet de Développement de la Gestion de l'Espace Aérien) .....	18
Conclusion .....	19
<b>CHAPITRE 02 : EVALUATION DE LA CAPACITE D'UN SECTEUR OPERATIONNEL</b>	
II.1 Introduction .....	20
II.2 Evaluation de la capacité d'un secteur .....	20
II.2.1 Les contraintes influant sur la capacité d'un secteur de contrôle .....	20
II.3 Les méthodes d'évaluation de la capacité des secteurs de contrôle ATC.....	21
II.3.1 Méthode DORATASK : .....	21
II.3.1.1 Les tâches du contrôleur.....	21
II.3.1.2 Méthode MBB .....	23
II.3.1.3 Méthode de Brésil .....	25
II.3.1.4 Méthode basée sur la charge de travail .....	27
II.3.1.5 Méthode du débit moyen .....	31
II.3.1.6 Méthode d'EUROCONTROL pour estimer la capacité du secteur.....	32
II.4 Adaptation des capacités à la demande trafic aérien .....	33
II.4.1 Introduction.....	33
II.4.2 Adaptation de la capacité à la demande .....	33
II.4.2.1 La sectorisation .....	34
II.4.2.2 La gestion des effectifs .....	36
II.4.3 Adaptation de la demande de trafic aérien à la capacité .....	42
II.4.3.1 Les mesures ATFM .....	43

II.4.4 Les mesures de régulation .....	47
Conclusion .....	48
<b>CHAPITRE 03 : SECTORISATION PAR CONTRAINTES DE SECTEURS ELEMENTAIRES</b>	
III.1 Introduction .....	49
III.2 Présentation des logiciels utilisés : .....	51
III.2.1 logiciel GLOBAL MAPPER .....	51
III.2.1.1 Utilisation du logiciel GLOBAL MAPPER .....	52
III.2.2 Présentation du logiciel MapInfo .....	52
III.3 Contraintes de la sectorisation par secteurs élémentaires .....	53
III.3.1 Contrainte du temps de transit minimum d'un aéronef.....	53
III.3.1.1 Phases de traitement des vols au sein d'un secteur opérationnel .....	53
III.3.2 Contrainte des distances minimales.....	54
III.3.3 Contrainte due aux croisements de flux aérien .....	55
III.3.4 Contrainte liée au de présence d'un aérodrome .....	55
III.3.5 Contrainte liée à la couverture VHF du secteur .....	56
III.3.6 Contrainte liée à la couverture RADAR/ADS.....	58
III.4 Concepts améliorants l'utilisation de la sectorisation par secteurs élémentaires.....	60
III.5 Sectorisation de l'espace aérien en FIR Alger.....	63
III.6 Regroupement des secteurs élémentaires.....	64
III.7 Perspectives .....	67
Conclusion .....	67
Conclusion générale .....	67
REFERENCES	

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 espace aerien des services de la circulation aerieenne en Algerie.....	16
Tableau III.1 Les zones interdites.....	61
Tableau III.2 Les zones dangereuses.....	62
Tableau III.3 Les zones reglementées.....	63
Tableau III.4 Les statistiques du trafic aerien 2018-2019.....	64

## LISTE DES FIGURES

Figure I.1 Organigramme de l'Établissement National de la Navigation Aérienne.....	3
Figure I.2 Espace aerien controlé.....	10
Figure I.3 carte de croisiere .....	14
Figure I.4 Couverture des moyens prevus dans le projet PDGEA .....	14
Figure II.1 SCHEMA DE LA MESURE ATFM « MILE IN TRAIL ».....	43
Figure II.2 SCHEMA DE LA MESURE ATFM « MINUTES IN TRAIL » .....	43
Figure II.3 SCHEMA DE LA MESURE ATFM « REROUTING ».....	434
Figure II.4 SCHEMA DE LA MESURE ATFM « LEVEL CAPPING ».....	434
Figure II.5 SCHEMA DE LA MESURE ATFM « ATTENTE EN VOL ».....	435
Figure II.6 Exemple de mesure ATFM appliquée par les organismes ATC Algeriens.....	438
Figure III.1 Interface du logiciel GLOBAL MAPPER.....	51
Figure III.2 Interface du logiciel MapInfo.....	53
Figure III.3 Contrainte liée au temps de transit minimal d'un secteur.....	54
Figure III.4 Contrainte liée à la distance minimale .....	54
Figure III.5 Contrainte liée au croisement du flux de trafic aérien.....	55
Figure III.6 Les differents aeroports en FIR Alger .....	56
Figure III.7 Contrainte liée aux évolutions aux abords d'un aérodrome.....	56
Figure III.8 Couverture VHF actuelle au niveau de vol FL250.....	57
Figure III.9 Couverture VHF au niveau de vol FL250- PDGEA .....	57
Figure III.10 Couverture Radar/ADS-B actuelle au niveau de vol FL250.....	59
Figure III.11 Couverture Radar/ADS-B au niveau de vol FL250-PDGEA.....	59
Figure III.12 APPLICATION DE LA SECTORISATION PAR SACTEURS ELEMENTAIRES EN FIR ALGER ...	63
Figure III.13 FIR Alger –trafic aerien du 30.09.2019 .....	66
Figure III.14 Possibilité du schéma d'ouverture des secteurs élémentaires en fonction du trafic de la journée du 30.07.2019.....	66

## Liste des abréviations

### A

AD : Aérodrome  
AIP : Aeronautical Information Publication  
ASM : Air Space Management  
ATC : Air Traffic Control  
ATFM : Air Traffic Flow Management  
ATFCM : Air Traffic Flow Capacity Management  
ATIS : Automatic Terminal Information Service  
ATM : Air Traffic Management  
ATS : Air Traffic Service  
AWY : Airways

### C

CCR : Centre de Contrôle Régional  
CPDLC : Controller-pilot Data Link Communication  
CTA : Control Area  
CTR : Control Zone

### D

DME : Distance Measuring equipment

### F

FIR : Flight Information Centre

### M

MBB Messerschmidt Bolköw Blohm

### N

NDB : Non-Directional Radio Beacon

### H

HF : High frequency

### I

ILS : Instrument Landing System

### O

OACI : Organisation d'Aviation Civile Internationale

### T

TMA : TerMinal contrôle Aarea

TWR : Tower

### V

VFR : Visual Flight Rules

VHF : Very High Frequency

VOR : VHF Omnidirectional Radio Range

## Résumé

D'après l'analyse et les prévisions de trafic aérien (épisode COVID-19 à part) la FIR Alger est amenée à devenir de plus en plus sujette à des épisodes de saturation en termes de capacité de gestion de trafic aérien. Face à cette densification du trafic aérien, l'Algérie a mis en place un plan pour l'amélioration des moyens de communication, de surveillance ainsi que l'introduction de nouveau concept dans la navigation aérienne (navigation basée sur la performance PBN), améliorant ainsi la qualité du service fourni et augmentant les capacités de gestion du trafic aérien.

Les différentes sectorisations mises en place au niveau du CCR Alger, ont été établies en fonction des évolutions du réseau de routes aériennes, des moyens de communication et de navigation. De ce fait les sectorisations proposées manquaient de flexibilité (séparations du trafic basées sur les moyens au sol avec un réseau de route statique)

Dans la perspective de la généralisation des moyens de surveillance pour assurer le service de contrôle du trafic aérien et l'ouverture d'espace aérien à cheminements libres, la mise en œuvre d'une sectorisation dynamique est primordiale pour l'adaptation des capacités disponibles à la demande de trafic aérien.

Note mémoire de fin d'étude traite de la re-sectorisation de la FIR Alger, en appliquant le principe des secteurs élémentaires.

## ملخص

وفقاً لتحليلات وتنبؤات الحركة الجوية) باستثناء فترة جائحة -كورونا19) ، من المرجح أن تصبح منطقة معلومات الطيران بالجزائر العاصمة أكثر وأكثر عرضة لفترات التشبع من حيث قدرة إدارة الحركة الجوية في مواجهة هذا التكتيف في الحركة الجوية، حيث وضعت الجزائر خطة لتحسين وسائل الاتصال والمراقبة بالإضافة إلى إدخال مفهوم جديد في الملاحة الجوية (الملاحة القائمة على الأداء PBN) ، مما أدى إلى تحسين جودة الملاحة الجوية وذلك لتقديم الخدمة وزيادة قدرات إدارة الحركة الجوية.

تم إنشاء القطاعات المتواجدة حالياً والتي تم وضعها على مستوى مركز المراقبة الإقليمي للجزائر العاصمة وفقاً لتطورات شبكة الطرق الجوية ووسائل الاتصال والملاحة. نتيجة لذلك، افتقرت القطاعات المقترحة إلى المرونة (فواصل حركة المرور على أساس الموارد الأرضية مع شبكة طرق جوية ثابتة).

في ضوء تعميم وسائل المراقبة لضمان خدمة مراقبة الحركة الجوية وفتح مجال جوي خالٍ من المسارات، فإن تنفيذ القطاعات الديناميكية أمر ضروري لتكييف القدرات المتاحة مع الطلب على الحركة الجوية.

تتناول أطروحتنا الأخيرة إعادة تقسيم منطقة معلومات الطيران للجزائر، وتطبيق مبدأ القطاعات الأولية.



## **Abstract**

According to air traffic analysis and forecasts (COVID-19 episode apart), the Algiers FIR is likely to become more and more subject to saturation episodes in terms of air traffic management capacity. Faced with this densification of air traffic, Algeria has put in place a project for the improvement of communication and surveillance equipment as well as the introduction of a new air navigation concepts (performance-based navigation PBN), improving thus the quality of the service provided and increasing air traffic management capacities.

The different sectorizations putted in place on the Algiers ACC have been established according to changes in the ATS routes network, communication and surveillance equipment. As a result, the proposed sectorizations lacked flexibility (traffic separations based on ground equipment with a static ATS routes network).

In view of the generalization of surveillance means to ensure the air traffic control service and the use of free route airspace concept FRA, the implementation of dynamic sectorization is crucial for the adaptation of available capacities to air traffic demand.

Our study focuses on a new sectorization of Algiers FIR, applying the principle of elementary sectors.

## **Introduction générale**

Depuis l'essor de l'aviation moderne le trafic aérien ne cesse d'augmenter (hormis l'épisode de la pandémie COVID-19) et toutes les prévisions tendent à affirmer que cette tendance devrait connaître une plus grande hausse dans les années à venir.

L'espace aérien est divisé en plusieurs secteurs sous la responsabilité des contrôleurs de la circulation aérienne. Chaque secteur a une capacité déterminée. Plusieurs méthodes existent pour l'évaluation de la capacité d'un secteur, cette dernière est fixée pour garantir un certain niveau de sécurité dans la gestion des flux de trafic aérien. Le maintien de la charge de travail associée à la gestion des flux de trafic aérien pour éviter une surcharge d'un secteur aérien dépend essentiellement du degré d'exactitude des prévisions du trafic.

La détermination d'une valeur de capacité secteur sert d'indicateur d'un risque de congestion d'un secteur aérien, et du fait initiateur de contre-mesures. Dans le cas où la demande excède la capacité disponible, le secteur de contrôle se trouve en surcharge (congestion du secteur de contrôle), pour rétablir cet équilibre on peut appliquer deux types de solutions : adapter la capacité à la demande de trafic aérien (ouverture de nouveaux secteurs, utilisation de l'FUA pour avoir plus de ressource en termes d'espace aérien, utiliser des moyens techniques/technologique permettant d'augmenter cette capacité) ou adapter la demande à la capacité ( d'où l'apparition du principe ATFCM Air Traffic Flow and Capacity Management par la proposition de changement de routes, application de restriction ou imposition de mesures de régulation) en dernier recourt les contrôleurs peuvent se résoudre à bloquer les aéronefs au sol, ou à procéder à les faire attendre en vol.

En Algérie, l'ENNA (Etablissement National de la Navigation Aérienne) est responsable de la gestion du trafic aérien. Le concept de sectorisation par secteurs élémentaires, permet de diviser l'espace aérien en unités primitives où les services de la circulation aérienne peuvent être fournis indépendamment des autres secteurs. Un secteur opérationnel est construit par un ou plusieurs secteurs élémentaires (regroupés), l'ensemble des possibilités de regroupement des secteurs élémentaires constitue un dictionnaire de schémas d'ouverture de l'espace aérien.

Le but de notre travail est d'établir un équilibre entre la demande du trafic aérien et les capacités secteurs. Cela est réalisé par la détermination de secteurs élémentaires et

adaptation de la subdivision, par secteurs opérationnels dynamiques, de l'espace aérien de la FIR Alger en fonction des flux de trafic aérien.

Ce mémoire est axé sur trois grands chapitres, un premier chapitre présentant contenant la présentation de l'ENNA (Etablissement qui nous a accueillis pour notre stage), ainsi que des notions sur les espaces aériens, le second chapitre décrit la problématique du déséquilibre entre la demande de trafic aérien et la capacité disponibles ainsi qu'une explication des différentes méthodes d'évaluation de la capacité d'un secteur opérationnel. Le troisième chapitre contient une application de la solution proposée : sectorisation par secteurs élémentaires application a la FIR Alger. Enfin nous concluons ce travail avec une conclusion et perspectives visant à améliorer l'application du concept de sectorisation par secteurs élémentaires à la FIR Alger.

**CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ETABLISSEMENT D'ACCEUIL ET GENERALITES  
SUR LES ESPACES AERIENS**

## I.1 Introduction

Le nombre de vols ne cesse d'augmenter d'année en année, ce trafic est géré au niveau de l'ENNA en Algérie.

Nous allons, dans ce premier chapitre présenter l'établissement qui nous a accueilli pour un stage pratique, ainsi qu'une généralité sur les espaces aériens et les différents services qui y sont fournis.

## I.2 Présentation de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA)

L'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA) est un établissement public à caractère industriel et commercial. Il a pour mission d'assurer le service public de la sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien algérien pour le compte et au nom de l'état Algérien.

L'ENNA est placé sous la tutelle du Ministère des Transports et a pour mission principale la mise en œuvre de la politique nationale dans le domaine de la sécurité de la navigation aérienne, en coordination avec les autorités concernées et les institutions intéressées. Il est chargé en outre du contrôle et du suivi des appareils en vol. [1]

### I.2.1 Organisation de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA)

L'organisation de l'ENNA est résumée dans l'organigramme suivant :

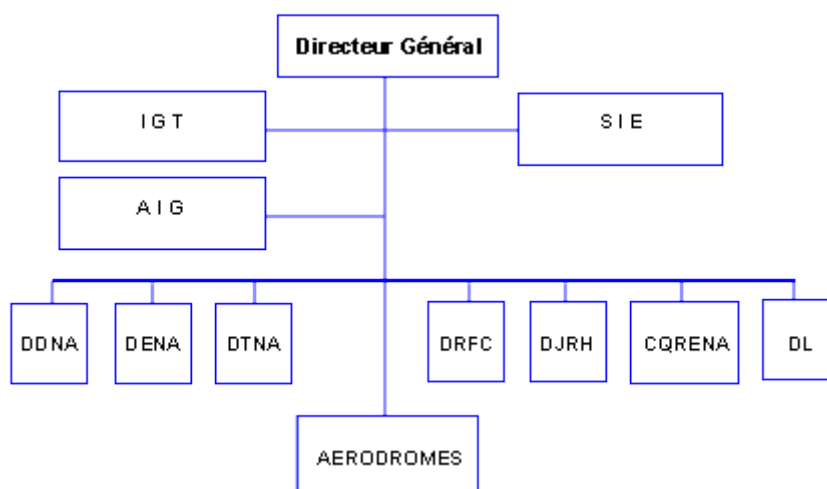


Figure I.1 Organigramme de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne[1]

- DDNA Direction du Développement de la Navigation Aérienne.
- DENA Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne.
- DDNA Direction du Développement de la Navigation Aérienne.
- DENA Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne.
- DTNA Direction Technique de la Navigation Aérienne.
- DRFC Direction des Ressources, des Finances et de la Comptabilité.
- DJRH Direction Juridique et des Ressources Humaines.
- CQRENA Centre de Qualification, de Recyclage et d'Expérimentation de la Navigation Aérienne.
- DL Direction de la Logistique.
- IGT Inspection Générale Technique
- AIG Audit Interne de Gestion
- SIE Sûreté Interne de l'Etablissement
- AERODROMES Directions de la Sécurité Aéronautique.
  - 25 Aérodrômes nationaux.
  - 11 Aérodrômes internationaux. [1]

### I.2.2 Les missions de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA)

Conformément au décret exécutif N° 91-149 du 18 mai 1991 portant réaménagement des statuts de l'Entreprise Nationale d'Exploitation et de Sécurité Aéronautiques (E.N.E.S.A.) et dénomination nouvelle : **Etablissement National de la Navigation Aérienne**, l'ENNA est un **Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC)** placé sous la tutelle du Ministère des Transports.

Ses principales missions sont :

- Assurer le service public de la sécurité de la navigation aérienne pour le compte et au nom de l'état.
- Mettre en œuvre la politique nationale dans ce domaine, en coordination avec les autorités concernées et les institutions intéressées.

- Assurer la sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien national ou relevant de la compétence de l'Algérie ainsi que sur et aux abords des aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique.
- Veiller au respect de la réglementation des procédures et des normes techniques relatives à la circulation aérienne, et l'implantation des aérodromes, aux installations et équipements relevant de sa mission.
- Assurer l'exploitation technique des aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique.
- Assurer la concentration, diffusion ou retransmission au plan national et international des messages d'intérêt aéronautique ou météorologique. [1]

### **I.2.3 Moyens techniques de l'établissement**

#### **I.2.3.1 Moyens de Radionavigation :**

- 39 VOR (Guidage omnidirectionnel).
- 37 DME (Equipement de mesure de distance).
- 26 NDB (Balise de navigation).
- 17 ILS (Système d'atterrissage aux instruments).

#### **I.2.3.2 Moyens de communication :**

- 22 Stations radio VHF.
- 02 Stations HF.
- 01 Station VHF TMA.
- Des stations VHF tours sur les aérodromes.
- Des liaisons spécialisées téléphoniques et télégraphiques.

### I.2.3.3 Moyens de surveillance :

- Une (01) station radar Co-implantée à Oued Smar :
  - Radar primaire (PSR) :148 KM de portée.
  - Radar secondaire (MSSR) : 460 KM de portée.
- Quartes (04) stations radar secondaires à Oran, Annaba, El Oued et El Bayadh : (460KM de portée).
- ADS et CPDLC (fonctions du système TRAFCA).

### I.2.3.4 Support de télécommunications :

- Support Terrestre.
- Support Satellitaire.

Afin d'assurer le bon fonctionnement continu de ces moyens l'ENNA dispose d'une unité d'inspection appelée, FLIGHT INSPECTION UNIT (FIU-ENNA), cette dernière est chargée de l'inspection en vol des aides à la navigation aérienne et à l'atterrissage des aéronefs en Algérie. [1]

FIU-ENNA dispose de moyens redondants pleinement aux normes et recommandations en vigueur de l'OACI, et assure un calibrage en vol fiable des équipements.

## I.3 Notion sur les espaces aériens

La notion de l'espace aérien permet d'évoquer la portion de l'atmosphère terrestre, sur terres ou sur l'eau, qui est réglementée par un pays. En particulier. Selon le type d'opérations concernées, le niveau de sécurité et la circulation (trafic) des avions. Il y a lieu de parler de différents types d'espaces aérien, comme l'espace aérien contrôle ou l'espace aérien à usage spécial.



### I.3.1 Les différents services fournis dans un espace aérien

L'espace aérien globale est divisé de manière horizontale et verticale et ce, afin d'assurer une couverture intégrale de ce dernier, en ce qu'on peut qualifier de « sous espaces », chacun de ces sous espaces procède ses propres spécificités.

Afin de définir ces différents sous espaces il est primordial de savoir que la première spécificité d'un espace aérien ou d'une portion de celui-ci est la qualité de service fournie à l'intérieur de ce dernier,

Le contrôleur peut fournir trois types de service à l'intérieur du secteur qu'il contrôle :

**1.3.1.1 Le service de contrôle ou de séparation:** Il s'agit de donner des instructions ou clearances au pilote, ces pilotes doivent suivre ces instructions, si toute fois à son tour le pilote souhaite changer par exemple de niveau de vol il demande au contrôleur avant de pouvoir le faire, le pilote reste néanmoins le premier responsable de ses décisions et du bon déroulement de son vol.

Ce service étant lui-même subdivisé en trois, de la façon suivante :

- **Le contrôle d'aérodrome :** S'effectue à partir des tours de contrôle (TWR : Tower), il assure la sécurité et le respect des procédures dans les phases de décollage, d'atterrissage et de roulage.

- **Le contrôle d'approche :** S'effectue au niveau du bureau d'approche, sa fonction est de prévenir les abordages entre les aéronefs et ordonner la circulation aérienne pendant les phases de départ et d'arriver.

- **Le contrôle régional :** S'effectue à partir du centre régional, il assure la sécurité du trafic aérien en montée et en descente des régions terminales, en route (en croisière).

**1.3.1.2 Le service d'information de vol :** Le pilote va recevoir des informations sur le trafic ou bien sur la météo, ainsi que sur le trafic aérien qui peut représenter un risque les réceptionner et adopter ses choix en fonction des informations qu'il reçoit.

**1.3.1.3 Le service d'alerte :** les stations de contrôle au sol préviennent les organismes appropriés lorsqu'un aéronef se trouve en difficulté.

### I.3.2 Objet des services de la circulation aérienne

Les services de la circulation aérienne auront pour objet :

- D'empêcher les abordages entre aéronefs.
- D'empêcher les collisions entre les aéronefs sur l'aire de manœuvre et les obstacles se trouvant sur cette aire.
- D'accélérer et de régulariser la circulation aérienne.
- De fournir les avis et les renseignements utiles à l'exécution sûre et efficace des vols.
- D'alerter les organismes appropriés lorsque des aéronefs ont besoin de l'aide des organismes de recherches et de sauvetage, et de prêter à ces organismes le concours nécessaire.

### I.3.3 Division de l'espace aérien

Les espaces aériens sont divisés en trois grandes catégories :

#### I.3.3.1 Espaces aériens non contrôlés

Les aéronefs évoluant à l'intérieur d'un espace aérien non contrôlé sont libre d'évoluer comme ils le souhaitent et ne bénéficient d'aucun service de contrôle, sauf l'information de vol si possible, l'organisation de ce trafic se fait donc par la coordination des aéronefs entre eux.

Un espace aérien non contrôlé est espace de trafic moindre, où l'intervention des services de la circulation aérienne est limitée à un service d'information de vol et un service d'alerte.

L'espace aérien non contrôlé est divisé en deux :

- Espace aérien supérieur : Englobe l'espace aérien situé à l'intérieure des limites latérales d'un certain nombre de FIR, appelé Région supérieure d'information de vol (UIR) au niveau FL245 à illimité.
- Espace aérien inférieur : c'est un Région dans lesquelles les services d'Information de vol et d'alerte sont assurés, appelé région d'information de vol (FIR), il va de 450m de la surface de la mer ou de la terre au niveau de vol FL245 inclus.

### 1.3.3.2 Espaces aériens contrôlés

Les aéronefs évoluant à l'intérieur d'un espace aérien contrôlé bénéficient des services précédemment cités, c'est donc au service de contrôle de gérer ce trafic,

L'espace aérien contrôlé présente une plus grande densité de trafic et de ce fait, le service de la circulation aérienne est assuré de manière continue lors de l'évolution à l'intérieur de cet espace.

L'espace aérien contrôlé comporte :

- Zone de contrôle (CTR : Control Traffic Region) : c'est un espace aérien contrôlé s'étendant verticalement à partir de la surface jusqu'à une limite supérieure spécifique. Et la limite latérale de cette zone englobe au moins une portion d'espace aérien contenant les trajectoires des vols IFR sont d'au moins 9,3 km (5 MN) à partir du centre de l'aérodrome. [2]

La CTR est un espace aérien associé à un seul aérodrome, son rôle est de gérer les aéronefs au décollage et à l'atterrissage de sa plateforme, les CTRs sont gérés par des contrôleurs d'aérodrome (TWR).

- Une Région de contrôle (CTA) : c'est un espace aérien contrôlé situé au-dessus d'une limite déterminée par rapport à la surface. La limite inférieure d'une région de contrôle à une hauteur de 200m (700ft) au moins au-dessus du sol ou de la mer. [2]

La CTA comprend les TMA et les AWY (Terminal AREAS et AIRWAYS) :

- Région de contrôle terminale (TMA) : Située au carrefour des voies aériennes, Permet de protéger les trajectoires de départ et d'arrivée d'un aérodrome. [2]

Les TMA se trouvent généralement aux limites d'une CTR, son plancher est donc le plafond de la CTR ou 700ft QNH au minimum et un plafond vertical variable mais toujours spécifiés sur les cartes aéronautiques, les TMA sont associés à un ou plusieurs aérodromes équipés afin d'effectuer des approches aux instruments, leur deux principales fonctions sont :

- Servir de point de transition ou point tournant pour passer d'un couloir aérien à un autre.

- Gérer les passages de la phase de croisière à celle d'approche pour les aéroports qu'elles desservent.

NB :-

- Un TMA peut desservir plusieurs aéroports.
- Un aéroport à forte densité peut compter un TMA divisé plusieurs sous parties distinguée par leur noms, et ce afin de gérer les avions en fonction de leur position et leur avancement vers l'aéroport.

Les TMA et les CTR sont associés aux espaces aériens contrôlés.

- Voie aérienne(AWY) :c'est une portion de région de contrôle, présentant la forme d'un couloir qui relie les TMA entre elle, équipé d'aide à la navigation, la largeur des voies aériennes est fixée à 10 NM. [2]

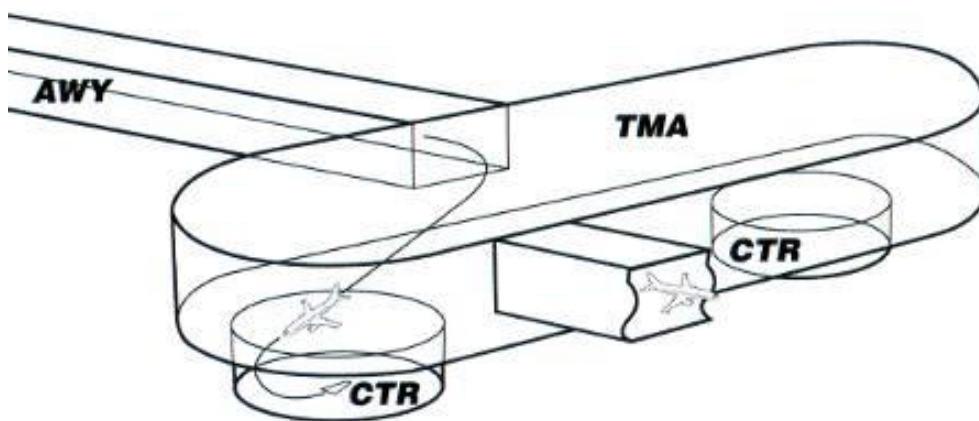


Figure 1.2 Espace aérien contrôlé

### I.3.3.3 Les zones à statut particulier

Ces zones sont beaucoup utilisées par les militaires pour assurer sa sécurité et leurs évolutions, mais il en existe quelques une pour des besoins civils. Les espaces aériens règlementés peuvent se présenter sous formes suivantes :

- Zone Dangereuse (Dangerous) D : définies pour annoncer un danger pour le vol des avions mais la pénétration est autorisée mais à ces risque.  
Par exemple : de champs de tir militaires ou des zones de barrage en montagne.
- Zone Interdite (Prohibited) P : définies dans les limites duquel le vol des avions civil est complètement interdites.

- Zone Réglementée (Reglemented) R : définies pour protéger une zone, principalement d'évolution d'avion militaires.
- Zone interdite temporaire (ZIT) : définie pour la protection de sites sensibles.
- Zone réglementé temporaire (ZRT) : définie pour des raisons de sureté aérienne.
- Zone de ségrégation temporaire (TSA) : Zones réservées à l'usage exclusif d'utilisateurs spécifiques pendant une durée déterminé.

### I.3.4 Classe d'espaces aériens

Le service rendu dans un espace aérien détermine sa classe et sa catégorie et donc ses caractéristiques :

Il y a sept (07) classes d'espaces aériens de la classe A à la classe G, on parle d'espaces aériens contrôlés de la classe A à la classe E, les classe F et G sont associés aux espaces aériens non contrôlés.

Avant de définir les classes d'espaces aériens, il y a lieu de citer les deux régimes de vols existants :

**\*Vols à vue VFR (Visual Flight rules)** : Le pilote effectuant un vol au régime de vol VFR doit assurer sa séparation par rapports aux autres aéronefs ou obstacles à l'aide de références visuels uniquement. Les vols VFR s'effectuent uniquement dans conditions météorologiques (VMC Visual Meteorological Conditions) satisfaisantes.

**\*Vols aux instruments IFR (Instruments Flight rules)** : L'aéronef effectuant un vol au régime de vol IFR doit être équipés de matériel de radionavigation. Les vols IFR s'effectuent dans toutes les conditions météorologiques.

- **Classe A** : Seuls les vols IFR sont admis. il est fourni un service de contrôle de la circulation aérienne à tous les vols et la séparation est assurée entre tous.
- **Classe B** : Les vols IFR et VFR sont admis. il est fourni un service de contrôle de la circulation aérienne à tous les vols et la séparation est assurée entre tous.

- **Classe C** : Les vols IFR et VFR sont admis. il est fourni un service de contrôle de la circulation aérienne à tous les vols et la séparation est assurée entre vols IFR et entre vols IFR et VFR. Les vols VFR sont séparés des vols IFR et reçoivent des informations de circulation relatives aux autres vols VFR.
- **Classe D** : Les vols IFR et VFR sont admis. tous les vols sont contrôlés et les séparations sont assurées entre les vols IFR. les vols IFR reçoivent des informations de circulation relatives aux vols VFR. les vols VFR reçoivent des informations de circulation relatives à tous les autres vols.
- **Classe E** : Les vols IFR et VFR sont admis. tous les vols IFR sont contrôlés et les séparations sont assurées entre les vols IFR. tous les vols reçoivent dans la mesure du possible des informations de circulation.
- **Classe F** : Les vols IFR et VFR sont admis. tous les vols IFR participants bénéficient du service consultatif de la circulation aérienne et tous les vols bénéficient d'un service d'information de vol sur demande.
- **Classe G** : Les vols IFR et VFR sont admis et bénéficient d'un service d'information de vol sur demande. [3]

### I.3.5 Description de l'espace aérien Algérien

#### I.3.5.1 Les différents services fournis à l'intérieur de l'espace aérien Algérien

La Direction de l'Aviation Civile et de la Météorologie (DACM) est l'autorité chargée de la réglementation algérienne de la circulation aérienne générale.

L'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA) est chargé de la mise en œuvre de la politique nationale dans le domaine de la sécurité de la navigation aérienne, en coordination avec les autorités concernées et les institutions intéressées.

Les services de la circulation aérienne sont assurés pour l'ensemble du territoire Algérien sur un certain nombre d'aérodromes et dans l'espace aérien formant la FIR ALGER. [2]

Sauf sur certains aérodromes de contrôle militaire pouvant recevoir sous conditions des aéronefs civils, les services de contrôle d'aérodrome, de contrôle d'approche, d'alerte et d'information de vol sont assurés par l'ENNA.

Les services de contrôle d'aérodrome et d'approche sont généralement assurés dans les limites des espaces aériens contrôlés associés aux aérodromes.

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

- Le service de contrôle régional dans les espaces aériens désignés.
- Le service d'information de vol ou le service consultatif en dehors de l'espace aérien contrôlé.
- Le service d'alerte au bénéfice des aéronefs ayant déposé un plan de vol.
- Le service automatique d'information de région terminale (ATIS) à l'aérodrome d'Alger/Houari Boumediene : Les émissions des messages ATIS sont destinées à la fois aux aéronefs à l'arrivée et au départ.
- Le service de contrôle radar dans les secteurs : Secteur Centre, Secteur Nord Est, et Secteur Nord-Ouest ainsi que la région de contrôle terminale TMA Alger.
- Le service de contrôle des mouvements à la surface (SMGCS) au niveau de l'aérodrome D'Alger/Houari Boumediene.

En général, la réglementation et les procédures de la circulation aérienne en vigueur sont conformes aux normes, pratiques recommandées et procédures de l'OACI. [2]

### **1.3.5.2 Les différents services fournis à l'intérieur de l'espace aérien Algérien**

A l'intérieur de la FIR Alger, l'espace aérien est divisé en trois (03) catégories : A, D et E plus ou moins équivalentes aux catégories recommandées par l'OACI. Quatre (04) catégories OACI B, C, F et G qui ont été adoptées par l'ALGERIE sont disponibles à des fins d'utilisation mais à l'heure actuelle aucune portion de l'espace aérien n'a été classée dans ces catégories. SECTEUR CENTRE (espace supérieur, espace inférieur). [3]

La FIR Alger est entourée des FIR de plusieurs pays africains et européens, telles que l'espace aérien de MARSEILLE, BARCELONE et SEVILLE du côté nord (séparés par les eaux internationales) ainsi que la FIR TUNIS et TRIPOLI à l'est, celle de CASABLANCA à l'ouest et enfin la FIR NIAMEY et DAKAR au sud.

La division de l'espace aérien Algérien est présentée sur la figure I.3 :

## ALGERIE CARTE DE CROISIERE

AVANT D'UTILISER CE DOCUMENT CONSULTEZ LES NOTAS AUPRES DES ORGANISMES D'INFORMATION AERONAUTIQUE

ECHELLE 1/3 000 000 ème

**NOTE 1**

FR ALGER ACC ALGER - RESTRICTIONS:  
Il est demandé aux équipages procéder VIA les routes ATS BA4 B 730 - UN 988 et QUR 985 dans le sens sud-est, de contourner FRAC ALGER dès 110 minutes avant l'arrivée en FR ALGER) points respectifs KTA V et TOBUX sur la fréquence HF 8884 KHz

**NOTE 2**

FR ALGER ACC ALGER - RESTRICTIONS:  
Dans le cas de détournement du trafic aérien VIA FR ALGER dû à des restrictions. Le survol de l'espace aérien ALGERIEN est autorisé après dépôt obligatoire d'un plan mentionnant dans le champ 18 le routage

**LEGENDE**

--- LIGNE DE FRONTIERE  
--- LIGNE DE SEPARATION DE ZONES  
--- LIGNE DE SEPARATION DES RESERVES INDIVIDUELLES  
--- LIGNE DE SEPARATION DES RESERVES COLLECTIVES  
--- SUR AUTORISATION DE CONTROLE  
--- LIGNE DE SEPARATION DE CONTROLE  
--- LIGNE DE SEPARATION DE CONTROLE

--- DIRECTION EN LIGNE MAGNETIQUE  
--- POINTS DE TRANSPORT DE CONTROLE  
--- VOR VOR/DME  
--- NDB/L NDB/VOR NDB/VOR/DME VOR VOR/DME

**SECTEURS DE RADIOCOMMUNICATION**

SECTEUR	INDICATIF	FRÉQUENCE	TYPE
SECTEUR CENTRE	FRAC ALGER	118.1	A
SECTEUR NORD-OUEST	FRAC ALGER	118.1	A
SECTEUR NORD-EST	FRAC ALGER	118.1	A
SECTEUR SUD-OUEST	FRAC ALGER	118.1	A
SECTEUR SUD-EST	FRAC ALGER	118.1	A
SECTEUR TOBUX	FRAC ALGER	118.1	A

**ZONES DE SEGRÉGATION TEMPORAIRE**

INDICATIF	NATURE DU DANGER	ALT SUP/INF	HOMRE
TA 1	Avion en IKTAF	FL 200	1000
TA 2	Avion en IKTAF	FL 200	1000
TA 3	Avion en IKTAF	FL 200	1000
TA 4	Avion en IKTAF	FL 200	1000
TA 5	Avion en IKTAF	FL 200	1000
TA 6	Avion en IKTAF	FL 200	1000
TA 7	Avion en IKTAF	FL 200	1000
TA 8	Avion en IKTAF	FL 200	1000
TA 9	Avion en IKTAF	FL 200	1000
TA 10	Avion en IKTAF	FL 200	1000

**DANGER A LA NAVIGATION AERIEENNE ZONES INTERDITES**

INDICATIF	NATURE DU DANGER	ALT SUP/INF	HOMRE
DA 1	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 2	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 3	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 4	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 5	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 6	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 7	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 8	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 9	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 10	Avion en IKTAF	FL 200	1000

**DANGER A LA NAVIGATION AERIEENNE ZONES DANGEREUSES**

INDICATIF	NATURE DU DANGER	ALT SUP/INF	HOMRE
DA 11	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 12	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 13	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 14	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 15	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 16	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 17	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 18	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 19	Avion en IKTAF	FL 200	1000
DA 20	Avion en IKTAF	FL 200	1000

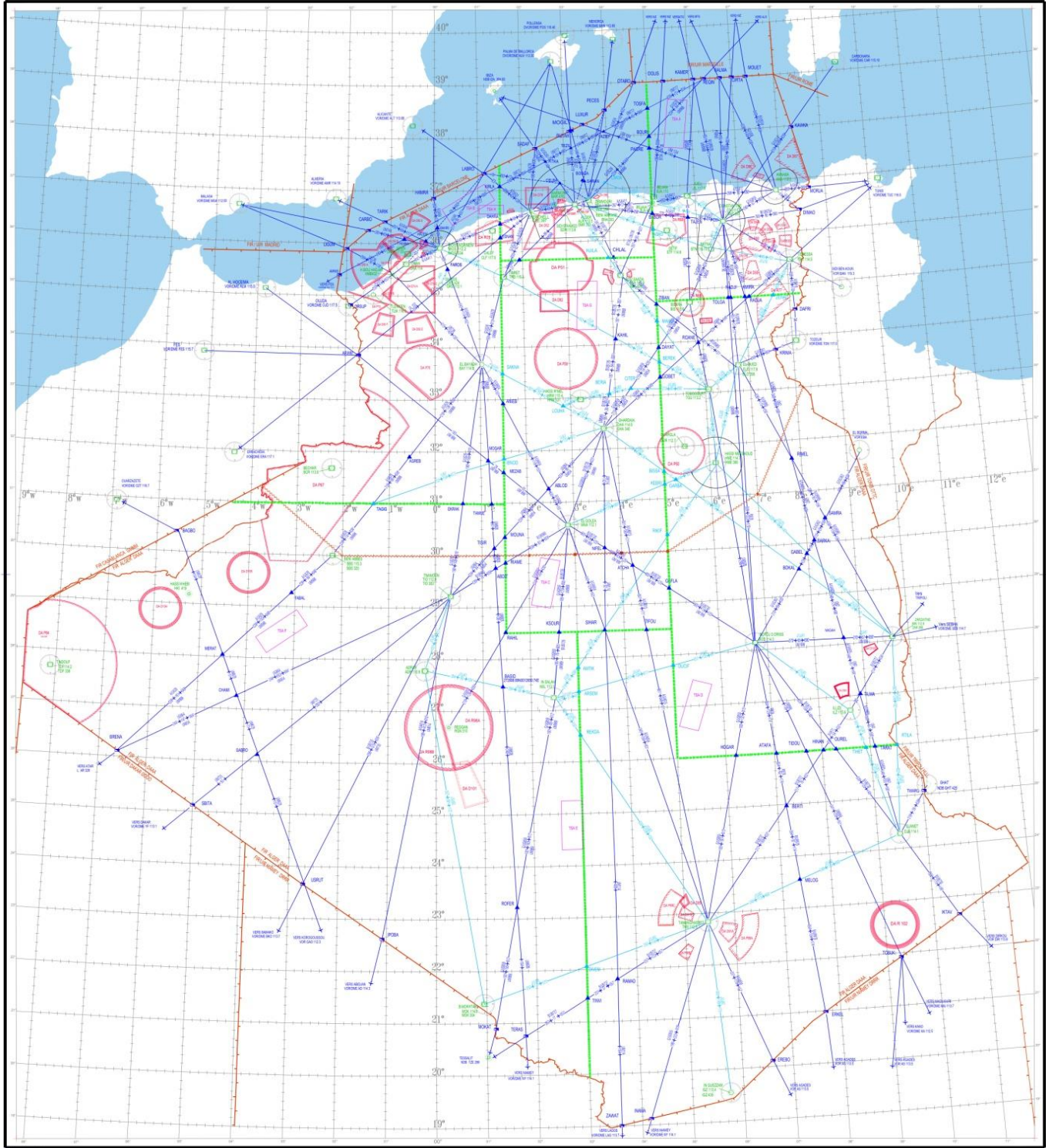


Figure I.3 CARTE DE CROISIERE [3]



Tableau I.1 : Espace aérien des services de la circulation aérienne en Algérie. [3]

Désignation	Limites latérales	Limite verticale Classification
SECTEUR CENTRE  Espace supérieur	3729 N 00130 E – 3820 N 00345 E – 3900 N 00440 E – 3900 N 00500 E – 3540 N 00500 E – 3540 N 00130 E – 3729 N 00130 E.	<u>FL 450</u> FL 245 Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus A
SECTEUR CENTRE  Espace inférieur	3729 N 00130 E – 3820 N 00345 E – 3900 N 00440 E – 3900 N 00500 E – 3540 N 00500 E – 3540 N 00130 E – 3729 N 00130 E.	<u>FL 245</u> 450MGND/MSL(1) Espace CVSM D
SECTEUR NORD/EST	3900 N 00800 E – 3656 N 00839 E – Point intersection de la frontière Algéro-Tunisienne avec la côte méditerranéenne – Puis Frontière Algéro-Tunisienne jusqu'à son intersection avec le parallèle 3448 N ensuite, segments de droite joignant les points : 3448 N 00500 E – 3900 N 00500 E – 3900 N 00800 E.	<u>FL 450</u> 450MGND/MSL (2) Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus
SECTEUR NORD/OUEST	3729N00130E – 3615N00130W – 3550N 00206W – point d'intersection de la côte méditerranéenne et la frontière algéromarocaine – frontière algéro-marocaine – 3150N00240W – 310000N0040832W – 3100N00130E - 3729N00130E.	FL 450 (3) Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus D
SECTEUR SUD/CENTRE	3540N00130E-3540N00500E-2830N00500E- 2830N00130E-3540N00130E.	<u>FL 450</u> 900MGND Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus E

<p>SECTEUR SUD/EST</p>	<p>3448N00500E jusqu'au point intersection de la frontière Algéro/Tunisienne avec le parallèle 3448N, ensuite la frontière Algéro/Tunisienne, puis frontière Algéro/Libyenne jusqu'à l'intersection de parallèle 2600N avec la frontière Libyenne, puis le point 2600N00500E jusqu'à 3448N00500E.</p>	<p><u>FL 450</u> 900MGND (4) Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus E</p>
<p>SECTEUR SUD/OUEST</p>	<p>3100N00130E – 310000N0040832W – 2840N00840W – 2720N00840W – frontière algéro-mauritanienne – frontière algéro-maliènnne – 195546N0030000E – 2830N00300E – 2830N00130E - 3100N00130E</p>	<p><u>FL 450</u> 900MGND Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus E</p>
<p>SECTEUR SUD/SUD</p>	<p>2600N00500E – 2830N00500E – 2830N 00300E – 195546N0030000E – frontière algéro-maliènnne – frontière algéro-nigérienne – frontière algéro libyenne - Point d'intersection du parallèle 2600N et la frontière algéro-libyenne – 2600N00500E.</p>	<p><u>FL 450</u> 900MGND Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus E</p>
<p>(1) Sauf dans la zone de contrôle terminal TMA Alger.                  (2) Sauf dans les régions de contrôle terminal TMA de Constantine et de Annaba.                  (3) (a) à l'intérieur du cercle de 25 NM de rayon centré sur 353817 N 0003444 W. Limite inférieure 300 M GND/MSL.                  (b) à l'extérieur du cercle limite inférieure FL 45 ou 300 M GND lorsque le FL 45 se trouve à moins de 300 M/ GND.                  (c) au-dessus des zones de contrôle incluses dans ses limites latérales, la limite inférieure du secteur est fixée au plafond de ces zones.                  (4) Sauf dans la zone de contrôle terminal TMA Hassi Messaoud.</p>		

### I.3.6 Structure de l'espace aérien

L'espace aérien est divisé en sept (07) secteurs opérationnels (Voir le tableau I.1), chaque secteur opérationnel est géré par une équipe de contrôleur (en général deux contrôleurs), chargé d'assurer la sécurité à l'intérieur de leur volume d'espace aérien.

Cet aménagement a été réalisé à la suite de la construction du réseau de routes aériennes.

Les aéronefs pendant le vol suivent des routes aériennes, formées par une succession de tronçons délimitées par des balises de radionavigation grâce auxquelles, ainsi qu'à des moyens embarqués et des stations au sol, le pilote peut se repérer, les routes devaient ainsi suivre les balises qui ne pouvaient pas être placés proche des reliefs afin que ces derniers ne bloquent pas leurs transmissions. Avec le développement des moyens embarqués et des stations au sol ou des systèmes satellitaires, le pilote possède alors des moyens pour se positionner sans avoir à survoler sur les balises, des points fictifs sont créés afin de former des routes plus directes introduisant le concept de la navigation basée sur la performance.

Le réseau de routes aériennes en Algérie est composé de routes ATS domestiques, routes ATS internationales, routes RNAV.

L'utilisation des routes RNAV dépend alors essentiellement de l'acquisition de l'équipement embarqué (ce qui est le cas pour les aéronefs effectuant des vols vers d'autres pays) c'est pour cela que les routes RNAV en Algérie n'excède pas le niveau de vol FL250.

Un plan de vol (FPL Flight Plan) : Le plan de vol est un document décrivant le vol prévu d'un aéronef et communiqué aux services de la circulation aérienne. Il contient des renseignements sur l'identité et les caractéristiques de l'aéronef, les aérodromes de départ et de destination, la route prévue, le nombre de personnes à bord, etc

Le dépôt d'un plan de vol est obligatoire pour les aéronefs volant en régime IFR et permet s'il est déposé pour les aéronefs évoluant en VFR de recevoir l'information de trafic, selon la classe d'espace aérien, les informations qu'il contient seront exploité par les autorités chargé de la régulation du trafic aérien afin d'assurer une bonne gestion de ce dernier, il sert aussi de repère au contrôleur pour être informer du trafic comptant évoluer dans son secteur.

### I.3.7 Le projet PDGEA (Projet de Développement de la Gestion de l'Espace Aérien)

Projet de Développement de La Gestion de l'Espace Aérien Algérien (PDGEA) est un contrat signé par L'ENNA et l'entreprise Espagnole INDRA Systèmes portant sur :

- La création d'un nouveau Centre de Contrôle Régional, à Tamanrasset au sud de l'Algérie, équipé de système moderne en matière de surveillance Radar, traitement des fonctions de contrôle aérienne et de gestion des communications vocal.
- L'élargissement de la couverture Radar et VHF de la FIR Alger et l'introduction de l'ADS/B.
- La mise à niveau des systèmes du Centre de contrôle régional existant.

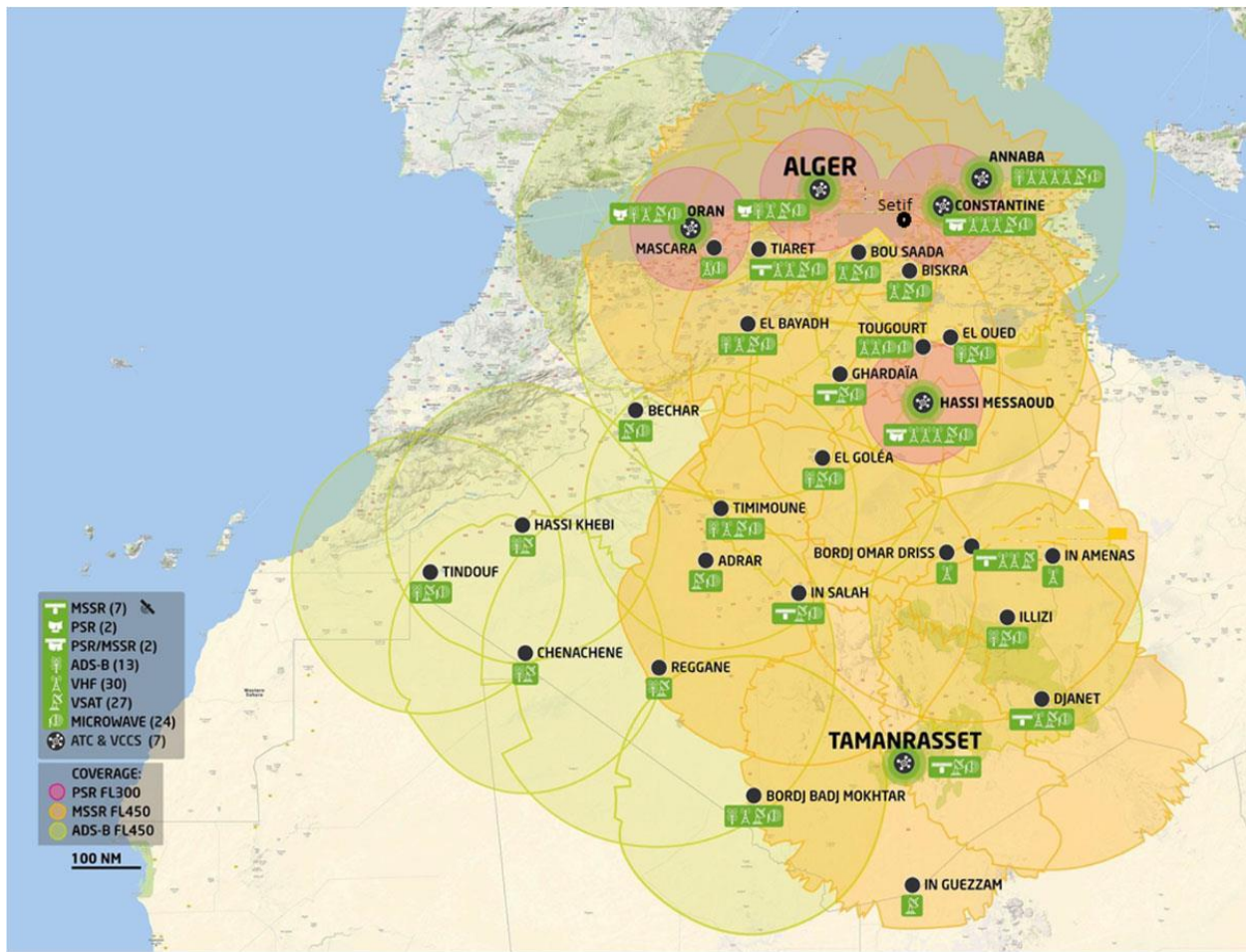


Figure I.4 couverture des moyens prévus dans le projet PDGEA

### **Conclusion**

En tenant compte de la situation actuelle de l'espace aérien et des évolutions technologiques, diverses améliorations sont envisageables et ce, à tous les niveaux de la chaîne de contrôle aérien,

Notamment suite à la mise en effet du Projet de Développement de la Gestion de l'Espace Aérien, une re-sectorisation de l'espace aérien qui permettra l'exploitation optimale de ce dernier ainsi qu'une meilleure utilisation des ressources disponibles.

## **CHAPITRE II : EVALUATION DE LA CAPACITE D'UN SECTEUR OPERATIONNEL**

## II.1 Introduction

La gestion du trafic aérien (ATM : Air Traffic Management) est l'ensemble des activités visant à assurer un écoulement fluide et sûr du trafic aérien en cas de congestion.

Par congestion on déduit que la demande de trafic est en augmentation, demande devant être en équilibre avec la capacité (en termes de moyens, personnel devant gérer ce trafic, ainsi que la capacité de l'espace aérien...).

Un déséquilibre entre la demande et la capacité entraîne l'incapacité de gérer le flux de trafic par les organismes de contrôle.

## II.2 Evaluation de la capacité d'un secteur

Lors de l'établissement de la division de l'espace aérien, l'un des principaux facteurs à prendre en considération est la capacité du secteur.

La capacité d'un secteur de contrôle est le nombre maximum d'aéronefs qui peuvent être pris en charge dans les meilleures conditions de sécurité par le service de contrôle en une période de temps déterminée. [4]

Cette évaluation est déterminée à partir de la planification à long terme, cette planification est basée sur les prévisions de trafic.

### II.2.1 Les contraintes influant sur la capacité d'un secteur de contrôle

- Contraintes géographiques : le secteur et ces caractéristiques.
- La charge de travail.
- La composition de l'écoulement de trafic (flux de trafic).
- Contraintes spatiales : c'est-à-dire détermination de la distance entre deux avion.

## II.3 Les méthodes d'évaluation de la capacité des secteurs de contrôle ATC

### II.3.1 Méthode DORATASK :

La méthode DORATASK effectuée par la direction de la recherche et l'analyse des opérations du Royaume-Uni : a été utilisée pour la détermination de la capacité d'un secteur ATC en route et la détermination des contraintes appliquées à l'écoulement de la circulation dans des régions terminale.

Cette méthode vise à évaluer le volume de travail du contrôleur radar. Il s'agit de faire la somme du temps passé à des tâches (observables) de routine et de résolution de conflits d'une part, et à des tâches de planification (non observables) d'autre part.

Outre ces deux éléments apparents des taches du contrôleur, il y a avait un troisième élément « un temps de récupération ».

La charge de travail selon cette méthode rassemble les taches observables, taches non observables et temps de récupération.

#### II.3.1.1 Les taches du contrôleur

- **Les taches observables** : Les taches observables qui peuvent être enregistrées ou chronométré par un observateur extérieur (par exemples : communication, radiotéléphonique, marquage de fiches et coordination par liaisons vocales directes etc...).

Les taches observables sont des tâches de routine : c'est l'ensemble des tâches de qu'un contrôleur doit effectuer pour tous les aéronefs sous son contrôle, et des taches de résolution des conflits (des tâches supplémentaires qui doivent être effectuées si les avions sont en conflit potentiel).

**"Le temps à effectuer des taches observable peut être mesuré directement "**

- **Les tâches non observables** : les tâches non observables sont les tâches de planification réalisées par un contrôleur, et les des tâches mentales impliquées dans la prédiction des conflits et détection.



Les tâches non observables ne peuvent pas être enregistrées ou chronométrées par une observation extérieure et sont exécutées presque de façon continue par le contrôleur très occupé en parallèle avec les tâches observables.

Ces tâches comprennent la planification de mesures ultérieures, l'analyse de la circulation, l'évitement de conditions météorologiques dangereuses, les changements de plan de vol, et la mise à jour de statut le monitoring de l'écran radar et les tâches mentales nécessaires pour détecter ou prévoir les conflits.

Le volume de travail non observable a été déterminé au moyen du calcul, pour chaque aéronef à l'intérieur du secteur, du nombre de fiches qu'il engendre et du nombre d'autres fiches déjà présentes sur les tableaux, qu'il faut vérifier par rapport à cet aéronef lorsqu'il est initialement confié au contrôleur radar.

Ce nombre de vérifications a ensuite été multiplié par un « temps par vérification de fiche », et l'on a ainsi obtenu le volume de travail total non observable.

Le temps d'une vérification de fiche n'a pas été considéré comme une durée exacte consacré à une tâche matérielle, mais comme un facteur calculé au moment de l'étalonnage du modèle, prenant en compte le temps consacré à la totalité de la tâche de planification.

Le volume de travail mesuré dans un secteur donné et pour un échantillon de trafic est la somme des temps de travail observable et non observable.

Pour arriver à une capacité, il a fallu déterminer une proportion minimale de temps dont le contrôleur doit disposer pour la récupération, afin d'assurer des conditions sécuritaires dans le secteur.

Cette proportion augmente normalement avec la durée sur laquelle on prévoit que va se maintenir un taux d'écoulement au niveau de la capacité.

Initialement, il avait été admis que le secteur opérerait à la capacité pendant une heure au maximum, sans changement de contrôleur ou sans diminution de la circulation. On a ensuite poursuivi l'étude du degré auquel il faudrait diminuer l'écoulement de la circulation

pour que la sécurité puisse être maintenue. Il a été admis que le temps consacré à chaque vérification de fiche, qui déterminait la pondération du volume de travail de planification, était de deux secondes, et ils ont abouti à la conclusion suivante :

**« Le volume de travail moyen au niveau de la capacité doit être au-dessous de 80% et des volumes de travail de 90% ne doivent pas dépassés plus de 2.5 % du temps. » [4]**

La méthode de DORATASK est la seule méthode qui se préoccupe de la charge supportée par le contrôleur, et de sa répartition dans le temps.

Elle est très bien acceptée par les contrôleurs du fait de leurs participations actives à l'élaboration d'un chiffre de capacité.

En revanche, elle est très lourde et très couteuse à mettre en œuvre car il faut mobiliser des contrôleurs pour relever l'état de la situation de l'unité de contrôle.

### **II.3.1.2 Méthode MBB**

Les travaux de Messerschmidt, Bolköw et Blohm (MBB) en Allemagne, ont abouti à l'élaboration de la méthode MBB.

Cette méthode a pris en considération pour l'évaluation de la capacité d'un secteur le régime de vol adopté par le pilote, et a admis que la charge de travail de vols utilisant le régime IFR engendrait la même charge de travail, et que par ailleurs cette dernière pouvait être quantifiée en unité de travail (Unit of work).

Cette méthode est fondée sur la quantification du volume de travail d'un poste de contrôleur radar. Cela a été rendu possible :

a) Par la classification en catégories de toutes les démarches de travail observés, c'est-à-dire le nombre d'unités de travail que le contrôleur est capable d'exécuter.

b) Par la mesure du temps nécessaire à toutes les catégories observées.

c) Par la prise en compte de la capacité de l'espace aérien, qui dépend des risques de conflit à l'intérieur du secteur et par conséquent de la structure du secteur et des caractéristiques du trafic.

Comme il n'a pas été possible d'observer toutes les unités de travail, les temps correspondants ont été enregistrés indirectement. Cela a été effectué par un travail supplémentaire destiné à enregistrer la capacité libre du contrôleur, c'est-à-dire le temps dont le contrôleur n'a pas besoin pour exécuter sa tâche de contrôle.

Les catégories ci-après de démarches de travail ont été définies, afin de permettre leur évaluation au regard du temps :

a) durée des transmissions en radiotéléphonie.

b) durée des démarches (marquage de fiches, ordonnancement des fiches de contrôle aux fins de la planification).

C) temps nécessaire pour enregistrer et traiter les informations.

Cela comprend les catégories ci-après, qui ne peuvent être qu'en partie observés directement :

a) Dialogue de coordination entre contrôleur exécutif et coordonnateur.

b) Notification visuelle des informations grâce à des affichages et des fiches.

c) Utilisation de toutes les informations dans le processus de réflexion et de décision.

d) Capacité libre mesurée grâce au travail supplémentaire.

Les investigations effectuées pendant plusieurs périodes d'observation ont révélé que des situations de trafic différentes ou des genres différents de répartition du trafic aboutissaient à des volumes de travail différents. Par conséquent, il n'était pas possible de faire la conversion directe du temps nécessaire en une quantité d'aéronefs qui peuvent être contrôlés.

Par la prise en compte de la capacité de l'espace aérien, qui dépend des risques de conflit à l'intérieur du secteur et par conséquent de la structure du secteur et des caractéristiques du trafic.

Le temps nécessaire pour les catégories de travail « enregistrement des informations » et « traitement des informations » résulte de la différence entre le temps nécessaires pour les catégories de travail qui peuvent être mesuré directement et le temps total disponible.

- **Inconvénients des deux méthodes**

Les deux méthodes exposées ci-dessus portent essentiellement sur la mesure du temps nécessaire pour effectuer toutes les activités de contrôle et pour mettre ce temps en relation avec le temps total disponible. Elles ne peuvent pas être directement utilisées pour évaluer la capacité dans le cadre d'une future organisation de l'espace aérien, avec des équipements ou procédures différents, des volumes de circulation différents ou des effectifs différents.

Ces méthodes demandent beaucoup de travail et, ce qui est encore plus important, aboutissent à des estimations de capacité qui s'appliquent uniquement aux conditions d'équipements, d'effectif, de réseaux de trafic, etc... qui règnent pendant la durée des observations. [4]

### **II.2.1.3 Méthode de Brésil**

Au Brésil, la capacité de contrôleur régional est estimée par l'analyse de la capacité de ses secteurs.

Actuellement, la valeur estimée de la capacité du secteur peut être considérée comme le nombre maximal d'aéronefs que chaque contrôleur de la circulation aérienne peut contrôler simultanément dans un secteur donné, fournissant ainsi la capacité appliquée par l'unité ATC.

Cette méthodologie consiste à obtenir une valeur basée sur une formule mathématique. Les données de base pour une telle formule sont dérivées d'une enquête menée par un groupe de travail spécial de l'unité ATC, en tenant compte d'une période occupée pendant laquelle les actions du contrôleur et la disponibilité pour gérer le trafic du secteur de contrôle sont observées et chronométrées, cela fournit un échantillon de données à utiliser dans le calcul de la méthode de la capacité du secteur ATC.

Selon le modèle actuel, la charge de travail du contrôleur est la somme de temps passées sur :

- Communication (transmission / réception).
- Activités manuelles (remplir les fiches de progression de vol) et coordination.
- Planification et distribution du trafic.

La méthodologie brésilienne applique au contrôleur le concept de « coefficient de disponibilité » ( $\Phi$ ), qui est défini comme pourcentage de temps disponible pour le contrôleur pour planifier les procédures de séparation des aéronefs.

- **Avantages de la méthode**

- Utilisation d'un modèle applicable à la fois à la capacité du secteur ATC.
- Elle nous donne de façon globale une estimation sur la capacité du secteur.
- Il ne nécessite aucun logiciel et il n'exige pas des valeurs constantes dérivées de bases de données que certains Etats n'ont pas encore disponible (c'est une méthodologie à faible coût).
- Formation standard pour les experts des Etats participant au projet.

**“ La meilleure façon de mesurer la capacité serait probablement de mesurer les courants de trafic qu'il est possible de tenir par heure, plutôt que les courants journaliers ou annuels. Pareilles capacité horaires peuvent être converties en valeurs journalières ou annuelles”**

#### II.2.1.4 Méthode basée sur la charge de travail

Les attributs d'un secteur et de son trafic peuvent être exprimés en termes de la façon dont ces attributs génèrent des tâches pour le contrôleur. S'il y a J tâches distinctes, nous pourrions exprimer la charge de travail comme suit :

$$G = \sum_{j=1}^J \tau_j * \lambda_j \quad (1)$$

Où  $\tau_j$  est le temps nécessaire pour terminer la tâche j, et  $\lambda_j$  est le taux de son occurrence. Le modèle fournit un point de départ physique en affichant les tâches comme des segments distincts de la chronologie. La métrique G peut alors être considéré comme «intensité de la charge de travail» ou la fraction du temps disponible pendant laquelle un contrôleur de secteur est occupé à exécuter des tâches. Il existe une certaine valeur  $G_m$  à laquelle un contrôleur se sentira mal à l'aise d'accepter du trafic supplémentaire. Ce niveau de confort maximum définit la capacité du secteur.

Ce modèle utilise quatre types de tâches, différenciées selon les caractéristiques de leur apparition, les quatre (04) types de tâches sont définis comme :

- Taches de fond.
- Taches de transition.
- Taches de récurrente.
- Et les taches de conflit.

- **Les tâches de fond** : Comprennent des activités de routine telles que la configuration des écrans, la coordination avec les gestionnaires et les superviseurs, l'entretien des zones de travail, la vérification des performances de surveillance et l'examen des prévisions météorologiques.

Les taches de fond se produisent sans égard au nombre d'avions dans le secteur. Nous considérons qu'elles se produisent à un taux moyen  $\lambda_b$  et nécessitent un temps moyen  $t_b$  pour se terminer.

Ces tâches absorbent une petite fraction constante du temps du contrôleur :

$$G_b = \tau_b \lambda_b \quad (2)$$

- **Les tâches de transition** : Se produisent à chaque fois qu'un avion traverse le secteur. Elles comprennent des tâches telles que l'acceptation du transfert, le premier contact, la familiarisation avec les informations sur le plan de vol et la planification initiale de l'itinéraire. Les tâches de transition sont regroupées en considérant un temps moyen  $\tau_t$  nécessaire pour se terminer et se produire à un taux moyen  $\lambda_t$ . Le taux d'occurrence des tâches de transition est égal au nombre moyen d'avions dans le secteur  $E [N]$ , divisé par le temps de transit moyen à travers le secteur  $T$ . Ce taux est donc équivalent au débit du secteur :

$$\lambda_t = E [N] / T \quad (3)$$

- **Les tâches récurrentes** : Se produisent à plusieurs reprises tandis que chaque avion reste dans le secteur. Ces tâches nécessitent un temps moyen  $\tau_r$  pour les terminer. Ils se reproduisent à un taux moyen  $\lambda_r$ , où

$$\lambda_r = E [N] / P \quad (4)$$

**P** représente la période moyenne de récurrence des tâches par avion.

Les tâches récurrentes comprennent des activités telles que l'analyse du trafic, l'espace aérien restreint et l'évitement des conditions météorologiques dangereuses, les changements de plan de vol et les mises à jour de statut. Les tâches récurrentes comprennent également des activités destinées à prévenir les conflits, telles que le contrôle de conformité et la planification de la séparation.

- **Les tâches de conflit** : Se produisent lorsqu'il y a des conflits entre deux avions. (Bien que les conflits entre trois avions ou plus soient une préoccupation majeure pour les contrôleurs, cette préoccupation est généralement déclenchée par un conflit par paire.

Le taux de conflit entre plusieurs avions est trop petit par rapport au taux de conflit par paire pour nécessiter une manipulation séparée.) Les tâches liées aux conflits

comprennent des activités telles que la détection des conflits, la vectorisation pour la résolution des conflits, la prise en compte des rencontres secondaires et la récupération des itinéraires après le conflit. Les tâches de conflit sont regroupées en considérant un temps moyen  $\tau_c$  nécessaire pour se terminer et se produire à un taux moyen  $\lambda_c$ . Pour un secteur avec un nombre d'aéronefs particulier  $N_s$ , le taux de conflit varie comme le carré de  $N_s$  multiplié par  $B$  divisé par le volume du secteur  $Q$ .

$$\lambda_c = (B \cdot N_s^2) / Q. \quad (5)$$

Dans cette équation,  $B$  est une constante physique basée sur les vitesses de fermeture des avions et les normes de séparation :

$$B = 2M_h M_v E [v_{12}] \quad (6)$$

Où  $M_h$  et  $M_v$  sont les distances manquantes horizontales et verticales qui définissent une violation de séparation, et  $E [V_{12}]$  est la valeur attendue de la vitesse de fermeture.

Si la densité de la circulation volumétrique locale est  $k$ ,

$$K = E[N]$$

L'hypothèse de poisson donne un taux moyen de conflit :

$$\lambda = B * (K + 1)$$

La charge de travail totale :

L'intensité totale de la charge de travail  $G$  est la fraction du temps disponible du contrôleur consacré à ces quatre types de tâches :

$$G = \tau_b \lambda_b + \tau_t \lambda_t + \tau_r \lambda_r + \tau_c \lambda_c.$$

Cela s'élargit à :

$$G = G_b + \tau_t \kappa_Q / T + \tau_r \kappa_Q / P + \tau_c B \kappa (\kappa_Q + 1). \quad (7)$$



On calcul les termes liés à la vitesse ( $\kappa, T, B$  et  $Q$ ) directement à partir de la géométrie du secteur et les paramètres de trafic. Les valeurs ( $G_b, \tau_t, \tau_r, P$  et  $\tau_c$ ) sont tous empiriques. L'addition de fond, la transition, récurrent, et des taches de conflit atteignent une limite de confort  $G_m$  nominale de 80% ( pour une densité de 16 avions par  $10000\text{nm}^3$ ). Lorsque  $G$  égale à 80% du temps total disponible, les contrôleurs déclarent que le secteur avait atteint sa charge maximale  $G_m$ . [5]

- **Avantages de la méthode**

Contrairement aux modèles de simulation, cette approche analytique extrapole facilement à de nouvelles conditions et quantifie la coordination et la charge de travail des conflits ainsi que les relations observées entre le volume du secteur et l'efficacité du contrôleur.

Ce modèle de charge de travail macroscopique utilise des paramètres opérationnellement raisonnables et peut fournir des estimations de capacité qui correspondent aux données de trafic de pointe observées pour un large éventail de formes et de volumes de secteurs.

Il peut être utilisé pour estimer la capacité résiduelle de l'espace aérien lorsque les conditions météorologiques bloquent partiellement un secteur.

Il ne nécessite pas des valeurs constantes provenant de bases de données que ne sont pas encore disponibles.

Etant donné que le modèle quantifie séparément la coordination et l'intensité de la charge de travail des conflits, il peut aider à définir les avantages et l'efficacité des futurs concepts d'automatisation de la gestion du trafic aérien proposés, tels que ceux du système de trafic aérien de nouvelle génération (NGATS, Next Generation Air Traffic System). Le NGATS devrait permettre une utilisation plus dynamique des routes et de l'espace aérien et appliquer l'automatisation à la réduction de la charge de travail. Comme le programme NGATS priorise ses efforts de recherche, il sera essentiel de comprendre quels types de charge de travail dominant dans des situations particulières.

### II.2.1.5 Méthode du débit moyen

Elle se base sur la connaissance de deux facteurs moyens :

- La charge moyenne de trafic instantanée acceptable sur une unité de contrôle (vols en contact vols coordonnées).
- Le temps moyen de présence sur une unité de contrôle.

Elle se détermine ainsi :

$$capacite = \frac{\text{nombre d'aeronefs en compte}}{\text{temps mpyen de presence}}$$

Le nombre moyen d'aéronefs en compte a été fixé forfaitairement à 12, sachant que la distribution des arrivées dans un secteur occasionnera inévitablement des points de charge, malgré les efforts de régulation. C'est un nombre moyen qui doit pouvoir s'appliquer à tous les secteurs, il relevé d'un consensus au sein du centre et semble donner satisfaction par des calculs a priori qui seront ensuite valides sur des configurations et des flux réels par des calculs de fréquence et de durée de dépassement.

La difficulté principale de l'application de cette formule reste la connaissance du temps moyen de présence de l'aéronef dans le secteur. En fonction des statistiques de trafic qui fournissent des pourcentages des principaux flux et des longueurs des axes correspondants, on peut évaluer un temps moyen de traversée qui est ensuite corrigé en fonction des pourcentages on lui ajoute enfin une estimation du temps moyen de coordination.

Bien que cette méthode offre l'énorme avantage de tenir compte de la nature du trafic en se basant sur des statistiques de fréquentation par axe, elle présente l'inconvénient de ne pas considérer la distribution des arrivées d'aéronefs dans le secteur, même si elle prévoit des marges pour les points de charge. La prise en compte d'un nombre moyen d'aéronefs qui restent en charge pendant un temps moyen, revient à dire qu'un secteur est alimenté par un flux constant d'aéronefs, sa capacité étant son débit. On ne sait donc pas quel niveau de charge sera induit sur le secteur, ni le temps pendant lequel il faut prévoir cette charge. [5]

### II.2.1.6 Méthode d'EUROCONTROL pour estimer la capacité du secteur

L'évaluation de la charge de travail et l'estimation de capacité sont les pierres angulaires dans de nombreuses études EUROCONTROL : par exemple, pour tester l'efficacité d'un nouveau processus, d'une nouvelle conception des routes... Ces évaluations doivent être traitées rapidement, à différentes échelles de temps et les différentes zones en fonction de différentes demandes. [6]

La préparation d'une étude de calcul de la charge de travail par le processus CAPAN est très exigeante. Il faut l'accord des experts opérationnels sur la définition de nombreuses tâches prédéfinies, avec leur calendrier en quelques en quelques secondes, et tous les paramètres de contrôle pour déclencher l'action de l'ATC.

CAPAN est un processus long et complexe, par conséquent, une formule simplifiée pour calculer la charge de travail du contrôleur a été développée. Il est moins précis que le processus RAMS, mais peut être affiné au moyen de paramètres de charge de travail d'optimisation et de classification du secteur par leurs complexités de la circulation.

- **Formule simplifiée pour calculer la charge de travail**

La simplification est basée sur l'hypothèse que, grosso modo, chaque action ATC tombe dans l'une de ces trois catégories de tâches :

- Tâches de routine
- Tâches de surveillance du changement de niveau
- Tâches de surveillance des conflits

Pour chaque tâche, nous avons besoin :

- **Durée de la tâche** : pondère par un temps en secondes pour exécuter la tâche.
- **Occurrences de la tâche** : le nombre de routine, montée/descente, et les tâches de conflit. [6]

## II.4 Adaptation des capacités à la demande trafic aérien

### II.4.1 Introduction

La capacité d'un système de gestion du trafic aérien a le pouvoir de fournir des services de navigation aérienne à un certain volume de trafic aérien, en ligne avec le haut niveau ciblé de sécurité, et sans imposer des significatives opérationnelles, économiques ou pénalités environnementales, dans des circonstances normales. [7]

Suite à la fermeture des espaces aériens dans la plupart des états en raison de la pandémie, une multiplication des mouvements de la circulation est envisageable.

Face à cette hausse de trafic un risque de déséquilibre entre la demande et la capacité est prévu, engendrant une atteinte à la gestion sûre de ce trafic.

Trois solutions s'offrent aux services de la circulation aérienne afin de rétablir cet équilibre :

### II.4.2 Adaptation de la capacité à la demande

La capacité d'un secteur dépend essentiellement des éléments suivants :

- Structuration de l'espace aérien (Sectorisation).
- Moyens techniques (moyens de radionavigation, moyens de communication VHF, Radar...)
- Nature du trafic (Stable, en évolution...).
- Personnel (effectif disponible, degré de qualification).
- La météo et les performances des avions (type RNAV).

Afin d'augmenter la capacité d'un secteur de manière à l'adapter à la demande il faut augmenter la capacité de l'espace aérien ainsi que la capacité en facteur humain (gestion du personnel).

### II.4.2.1 La sectorisation

Afin d'augmenter la capacité, l'exploitation optimale de l'espace aérien est nécessaire, et ce, en procédant à une nouvelle sectorisation qui augmentera la capacité en diminuant la charge de travail des contrôleurs, ou en assurant une meilleure exploitation de l'espace aérien.

Une re-sectorisation de l'espace aérien passe principalement par prise en compte des contraintes liés à la sectorisation dont :

- **Détermination des moyens de CNS**
- **Les moyens de communication**

Afin d'assurer le contrôle d'un vol par les organismes de contrôle, un contact pilote-contrôleur et contrôleur-contrôleur doit être constamment assuré et ce par :

- **Radio VHF/HF** : une bande de fréquence radio entre [118.0 et 136.0 MHz] est assignée à usage aéronautique uniquement, grâce auxquelles les communications intéressant la sécurité qui nécessitent une transmission rapide et sans erreur sont établies entre un organe ATS et les aéronefs pour les services de contrôle de la circulation aérienne, les informations de vol, les messages d'alerte.
- **CPDLC (CONTROLLER PILOT DATA LINK COMMUNICATION)** : le CPDLC est une application de liaison de données qui permet l'échange directe fondé sur les messages entre contrôleurs-pilotes au lieu d'une communication vocale. il sert de moyen de communication dans les zones désertiques lorsque la communication radio n'est pas efficace. [8]
- **Réseau Service Fixe de Télécommunication Aéronautique** : Réseau mondial de circuits fixes aéronautiques dans le cadre du service fixe, à l'échange de messages et/ou de données numériques entre stations fixes aéronautiques ayant des caractéristiques de communications identiques ou compatibles. [8]

- **Les moyens de surveillance**

- **Système de surveillance ATS** : Terme générique désignant, selon le cas, l'ADS-B, le PSR, le SSR ou tout autre système sol comparable qui permet l'identification des aéronefs.

- **Radar primaire de surveillance (PSR)** : Dispositif radar de surveillance utilisant des signaux radio réfléchis.

- **Radar secondaire de surveillance (SSR)** : Dispositif radar de surveillance utilisant des émetteurs/récepteurs (interrogateurs) et des transpondeurs. [9]

- **ADS (Automatic Dependent Surveillance)** : Il donne des rapports de position que ce soit automatique ou sur demande.

- **Les moyens de navigation**

Afin de définir un secteur, il faut savoir si ce dernier dispose des moyens de radionavigation (balises, couverture d'une balise d'un secteur adjacent) nécessaires à la détermination de sa position. Ces moyens sont classés en :

- Moyens courte distance : utiliser au voisinage de l'aérodrome (ILS).
- Moyens moyenne distance : utiliser sur les routes aériennes à une distance inférieure ou égale à 300Nm (NDB, DME, VOR).
- Moyens grande distance : destiner à la navigation long courrier ou des distances supérieures à 300Nm (GPS).

Mis à part une nouvelle sectorisation de l'espace aérien, une optimisation de l'utilisation de l'espace aérien n'est pas à exclure, nous pouvant citer en exemple : l'intégration du RVSM entre le FL290 au FL410.

- **Le réseau de routes existant**

En Algérie, le réseau de route comprend :

- **Les routes ATS domestiques** : Ce sont des voies aériennes empreintes par les aéronefs civils entre deux aéroports Algériens (routes nationales). Représentés sur la carte de

croisière et caractérisées par la lettre J suivi d'un chiffre pour les routes inférieures, et précédées par la lettre U pour les routes domestiques supérieures.

- **Les routes ATS internationales** : ce sont des cheminements utilisés par les aéronefs pour la desserte de l'Algérie ou le transit (routes internationales). Représentés sur la carte de croisière et caractérisées par les lettres A, B, G et R suivi d'un chiffre pour les routes inférieures, et précédées par la lettre U pour les routes internationales supérieures.

- **Les routes les routes RNAV** : Ce sont des voies aériennes empreintes par les aéronefs civils utilisant une méthode de navigation permettant le vol de n'importe quelle trajectoire voulue dans la limite de la couverture des aides de radionavigation de référence au sol ou de la limite des possibilité d'une aide autonome ou grâce à la combinaison des deux moyens, les routes RNAV sont présentées sur la carte et caractérisées par les deux lettres UN et UM.

#### II.4.2.2 La gestion des effectifs

L'un des facteurs les plus importants afin de gérer au mieux cette hausse de trafic est la gestion des contrôleurs, sur lequel incombe la responsabilité d'assurer la sécurité de l'exploitation de l'espace aérien et la prévention des abordages et collisions, et ce, en assurant un espacement entre les aéronefs ou en communiquant l'information du trafic, selon l'espace aérien et, ou le régime de vol.

Le personnel des services ATS sera appelé à faire face à cette surcharge, car effectivement une bonne répartition de la charge de travail permet l'efficacité du rendu de ces derniers. [4]

- **Les principaux facteurs influant sur la gestion des effectifs**

La détermination en besoin en contrôleurs se planifie pour une période minimale de cinq ans, plus la durée de cette étude est longue plus les résultats sont approximatifs aux besoins réels de l'organisme de contrôle, et dépend des facteurs suivants :

- Le degré d'exactitude des prévisions de trafic (charge de travail dans le secteur).
- La fiabilité des méthodes d'acheminement de la circulation.

- La qualification des contrôleurs.

Le besoin en personnel au sein d'un organisme de contrôle est difficile à quantifier de manière fixe étant donnée la nature de travail qui demande un haut niveau de concentration, chose qui implique la définition d'un volume de charge de travail maximale qu'une personne peut exécuter au cours d'une heure de pointe moyenne, cette valeur sera utilisée afin de définir et ce, de façon flexible le nombre de personnel requis afin de gérer un service ATS.

Ce besoin en personnel n'est pas une valeur fixe car elle dépend de facteurs abstrait et non quantifiable de manière exacte. Elle est déterminée suivant l'équation suivante :

$$\text{Personnel nécessaire} = \frac{\text{nombre de jours de travail à un poste par an}}{\text{nombre de jours de fonctionnement de l'installation par an}} \times \frac{\text{nombre d'heures fonctionnelles par an}}{\text{nombre moyen d'heures de travail d'un contrôleur par an}}$$

- Le nombre de jours de travail à un poste par an étant une valeur prévisionnelle déduite des statistiques de travail et de disponibilité des contrôleurs (incluant les congés jours chômés et tous les jours ou ces derniers ne seront pas disponibles).
- On entend par heure fonctionnelles les heures pendant lesquelles le poste est occupé, plus le temps nécessaire à la relève.
- Le nombre moyen d'heures de travail d'un contrôleur par an est obtenu par la soustraction du nombre de jours ou le contrôleur ne travaille pas du nombre de jours que compte une année, on multiplie ce chiffre par le nombre d'heures de travail moyen d'un contrôleur par jour.

Le travail d'un contrôleur aérien est un travail à caractère très spécial en vue du stress qu'il occasionne, néanmoins la charge est répartie de façon non équitable sur les différents postes de contrôle à différents moments, c'est pour cela qu'il est souhaitable de travailler avec un système de rotation des contrôleurs afin que les tâches soient réparties de façon équitable, en tenant compte du degré de qualification. [4]



▪ **Le travail d'un contrôleur aérien au sein d'un secteur de contrôle**

L'espace aérien est très vaste et le nombre d'aéronef qui y évoluent est très important pour être géré par un seul contrôleur, c'est pour cela que les contrôleurs sont repartis selon leur degré de qualification sur les différents secteurs (ou portions de l'espace aérien), un binôme de contrôleur (contrôleur principal et son assistant) est assigné à chaque secteur, il s'agit :

- Du contrôleur régional : service fourni aux vols contrôlés lorsqu'ils sont dans leur phase de croisière.
- Du contrôleur d'approche : service fourni à un aéronef évoluant selon les règles de vols aux instruments afin de l'aider à s'aligner sur l'axe de piste d'atterrissage à l'atterrissage, ainsi que le guidage en montée lors du décollage.
- Et du contrôleur d'aérodrome : aux aérodromes et ses abords, la zone de compétence du contrôle recouvre le sol, la piste d'atterrissage et l'espace aérien immédiatement adjacent à la piste.

Cette subdivision est faite de manière horizontale et verticale afin d'assurer la couverture intégrale de l'espace aérien.

Lors de l'évolution d'un vol, l'avion transite d'un secteur à un autre, le pilote étant en communication continue avec le contrôleur, qui assure la coordination au même temps avec le contrôleur du secteur qui va l'accueillir, arrivé à proximité de ce dernier un transfert de contrôle est établi en demandant au pilote de contacter directement l'autre contrôleur en lui rappelant la fréquence radio à utiliser pour le faire.

Afin de lui assurer sa sécurité, un vol est supervisé, du départ jusqu'à son arrivée, par un ou plusieurs contrôleurs aériens qui assurent trois missions principales :

- Le contrôle : le contrôleur utilise principalement les autorisations afin d'orienter au mieux le pilote, et le séparer des autres aéronefs ou reliefs.
- L'information de trafic : le contrôleur donne des informations précises sur un aéronef qu'il estime s'approchant dangereusement afin de l'éviter, il donne

aussi des informations intéressantes la sécurité des vols telles que des informations sur la météo (piste mouillée...) ou informations concernant les moyens techniques.

- L'alerte : le contrôleur a aussi pour mission de porter assistance aux aéronefs en cas de panne, passagers malade, en l'aidant à raccourcir les trajectoires par exemple.

Le service rendu dans un espace aérien détermine sa classe, le choix des contrôleurs dépend de leur degré de qualification, en fonction du secteur à contrôler il existe service rendu par un contrôleur :

- **Le contrôle radar** : Qui est assuré au moyen des indications du radar qui matérialise par les échos des aéronefs apparaissant sur un écran radar.

Le contrôle utilise le radar pour rendre trois services, appelés "service radar" :

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

En route, les contrôleurs aériens travaillent en binôme. Ce dernier gère le trafic aérien s'écoulant dans un secteur de contrôle.

- **Le contrôleur organique (assistant)** : Il assure les coordinations (sous forme de communications) avec les binômes de contrôleurs adjacents, étant chargé de superviser les secteurs entourant le secteur dont lui et son binôme ont la charge. Son rôle principal est de préparer la séquence de trafic se situant à t+1 pour faciliter le travail de son binôme. Cette facilitation va consister en trois actions principales :

- La première est de pré-intégrer les vols qui vont arriver dans le secteur pris en charge par le binôme (une dizaine de minutes avant leur arrivée).

- La deuxième est d'analyser et détecter les risques de conflits susceptibles de se produire en entrée et en sortie du secteur.
- La troisième est de résoudre, si possible, ces conflits par la demande d'interventions (modifications de trajectoires d'avions). Dans le cas où cela n'est pas possible en fonction de la situation à l'instant t (qualité de trafic, complexité du trafic géré, profils des avions en conflits...), le contrôleur organique peut être amené à avertir son binôme pour celui-ci puisse agir sur la situation.

- **Le contrôleur radariste (tactique)** : il assure les communications avec les pilotes des avions qui se trouvent sur le secteur dont le binôme a la charge, et ce en respectant une phraséologie dédiée. Le radariste a pour rôle principale de superviser la situation de trafic aérien d'y détecter et résoudre les conflits susceptibles de se produire. Pour cela, le radariste, en se basant sur l'image radar, anticipe la position future des avions. Enfin, pour les conflits dont le risque est avéré, il va définir une solution permettant d'écarter les avions impliqués. Pour rendre effective cette solution, le contrôleur va communiquer aux pilotes concernés la ou les modifications des trajectoires à effectuer, que l'on appelle ordre pilotage ou encore clairance.

- **Outils de contrôle**

Les principaux types d'équipements associés aux services ATC comprennent notamment :

- a) Radiophare omnidirectionnel VHF (VOR).
- b) Radiophare non directionnel (NDB).
- c) Aides à la navigation à longue portée.
- d) Radar primaire et secondaire.
- e) Equipement de présentation radar.
- f) Systèmes d'atterrissage aux instruments (ILS). [4]

- **Effectif en FIR Alger**

Trois qualifications existent au niveau du CCR d'Alger : Qualification Régionale Procédure (secteurs SE, SC, SO et SS), une Qualification Radar Régional Niveau 1 (NE) et Qualification Radar Régional Niveau 2 (AI/AS et NW).

Au niveau du CCR Alger, l'effectif est d'environ 180 contrôleurs de la circulation aérienne répartis sur les différents postes de contrôle, environs 120 d'entre eux possèdent une qualification RADAR niveau 1 dont environs 90 avec au moins la qualification RADAR niveau 2.

L'établissement d'un nouveau système de travail de cet effectif est nécessaire suite à tout changement de la procédure de travail ou éventuellement la restructuration de l'espace aérien.

### II.4.3 Adaptation de la demande de trafic aérien à la capacité

Une fois les tentatives d'augmentation de la capacité épuisées, et que la demande excède toujours la capacité, les organismes de contrôle se trouvent contraints d'essayer d'adapter la demande (le trafic aérien) à la capacité. Et c'est pour cela que l'ATFCM a vu le jour.

Le processus mené par une équipe de contrôleurs dans le cas où le trafic est stable peut être généralisé comme suit :

- Les aéronefs pénètrent dans un secteur.
- L'ATC estime les positions futures de l'avion et détecte les conflits entre eux.
- L'ATC intervient si nécessaire pour séparer les aéronefs.
- Les aéronefs sortent du secteur.

La capacité du secteur étant connue, des mesures ATFCM dont l'objectif premier est toujours, pour des raisons de sécurité, de réguler au mieux le débit des aéronefs de façon à éviter la congestion de certains secteurs de contrôle, sont prises par les organismes de contrôle dans le cas où la prévision du trafic aérien dépasse la capacité, et ce suivant les phases suivantes :

- **Phase stratégique** : De 18 mois à quelques jours avant le décollage. On analyse les prévisions de demande et de capacité, on cherche à anticiper les problèmes éventuels et à évaluer les solutions possibles pour y répondre. Pendant cette phase sont élaborés le plan de capacité pour l'année à venir qui assigne à chaque centre de contrôle des objectifs de capacité, les schémas de routage décrivant les routes à suivre en fonction de l'origine et de la destination et d'autres plans qui peuvent être activés dans les phases suivantes.
- **La phase pré-tactique** : englobe les mesures prises un jour avant le jour des opérations. Ces mesures consistent à étudier la demande pour le jour des opérations, la comparer à la capacité prévue ce jour-là, et faire les ajustements nécessaires au plan qui a été élaboré au cours de la phase stratégique.

- **La phase tactique** : dont la fonction est d'assurer le suivi en temps réel du plan de régulation défini lors de la phase pré-tactique. C'est pendant cette phase qu'intervient la mise à jour du plan, en fonction du trafic et la capacité actuelle, et de la demande réelle de trafic.
- **La phase d'analyses post-opérationnelles** : Cette la dernière phase de l'ATFM, un processus analytique est entrepris pour mesurer et analyser les performances des mesures ATFM prises durant le jour des opérations.

II.4.3.1 Les mesures ATFM

- **Miles-in-trail (MIT)** : Une mesure ATFM tactique. C'est le nombre de nautique requis entre les aéronefs qui répondent à un critère spécifique. Les critères peuvent être. Aéroport, fixe, Altitude...etc.

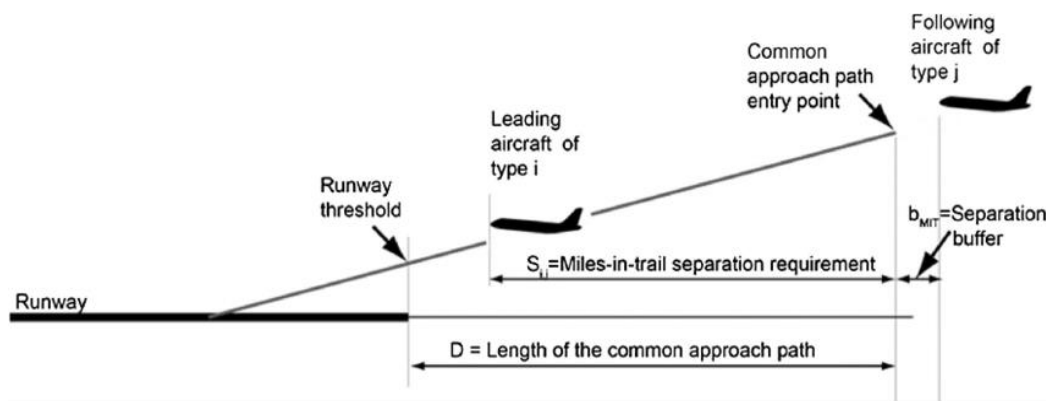


Figure II.1 SCHEMA DE LA MESURE ATFM « MILE IN TRAIL »

- **Minutes-in-trail (MINIT)** : Une mesure ATFM tactique. C'est le nombre de minutes requises entre les aéronefs successifs. Elle est normalement utilisée dans l'espace aérien qui n'est pas surveillé.

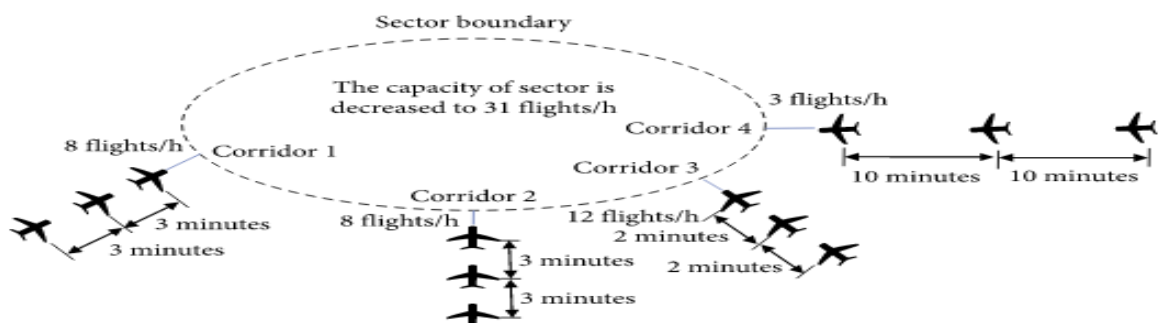


Figure II.2 SCHEMA DE LA MESURE ATFM « MINUTES IN TRAIL »

- **Rerouting** : Une mesure ATFM tactique. Il s'agit d'une route attribuée par ATC autre que celle indiquée dans le plan de vol déposé (FPL).

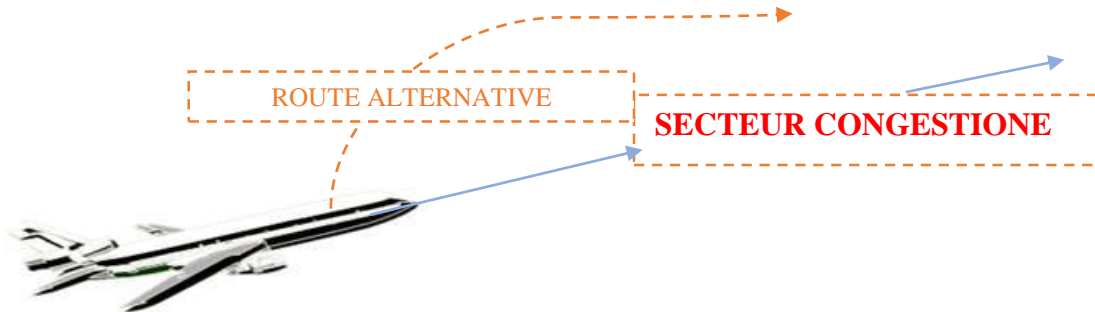


Figure II.3 SCHEMA DE LA MESURE ATFM « REROUTING »

- **Rerouting scenarios** : changement de route obligatoire des flux pour décharger le trafic dans certaines zones encombrées.
- **Level capping scenarios** : Réalisé au moyen de restrictions de niveau de vol (par exemple, les vols de Londres à Paris TMA doivent déposer RFL< 245). (Required Flight Level).

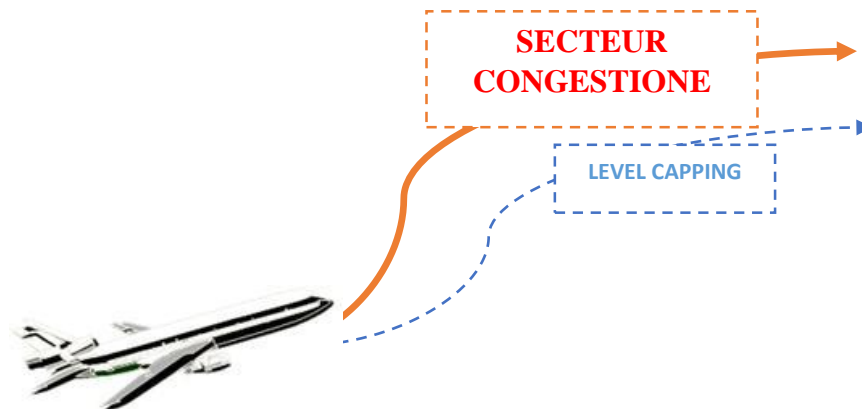


Figure II.4 SCHEMA DE LA MESURE ATFM « LEVEL CAPPING »

- **Alternative routin scenarios** : Routes qui sont mises à la disposition des utilisateurs de l'espace aérien sur une base facultative pour décharger le trafic dans certaines zones.
- **Minimum Departure Intervals (MDIs)** : Une mesure ATFM tactique. MDI sont généralement appliquées quand un secteur de départ devient trop chargé ou lorsque la capacité est soudainement réduite (par exemple, défaillance d'un équipement, des conditions météorologiques, etc...)

Exemple de l'application d'une mesure ATFM par les services de contrôle Algériens  
lors de la grève des contrôleurs français :

Les NOTAMs :

CGA0929 111501  
GG DAAAZQZX  
111501 DAAAYNYX  
NOTIFICATION  
(A5811/13 NOTAMN  
Q)LFXX/QXXXX/IV/NBO/E /000/999/4504N00053E999  
A)LFRR LFBB LFEE LFFF LFMM B)1310141700 C)1310160400  
E)EN RAISON D'UN MOUVEMENT SOCIAL AFFECTANT LA FONCTION PUBLIQUE  
FRANCAISE, DES PERTURBATIONS SONT SUSCEPTIBLES D'AFFECTER LES  
SERVICES ATS, AIS ET COM EN FRANCE.  
1- UN SERVICE RESTREINT EST GARANTI POUR LES 5 CENTRES DE CONTROLE ET  
LES AEROPORTS DE LFPG/LFPD/LFSB/LFST/LFLI/LFLC/LFMN/LFML/LFKB/LFKC/  
LFKJ/LFBD/LFBI/LFBL/LFRD/LFRG/LFRS ET OUTRE-MER. LA CAPACITE REELLE  
D'ECOLEMENT SERA AJUSTEE EN FONCTION DU PERSONNEL DISPONIBLE.  
2- SUR LES AUTRES AERODROMES, LE SERVICE ATS POURRAIT NE PAS ETRE  
RENDU A CERTAINES PERIODES. LES EVENTUELLES FERMETURES SERONT  
ANNONCEES PAR NOTAM.  
3- LES OPERATEURS DOIVENT IMPERATIVEMENT SUPPRIMER LES FLN DES VOLS  
NON EFFECTUES.  
RMK:DES INFORMATIONS SUR LA SITUATION TEMPS REEL SERONT  
DISPONIBLES A L'ADRESSE INTERNET SUIVANTE:  
[HTTP://DSNADO.CAMALBLOG.COM](http://DSNADO.CAMALBLOG.COM)  
)

GRÈVE: FIR LFMM

CGA0932 111502  
GG DAAAZBZX  
111502 DAAAYNYX  
NOTIFICATION  
(A5816/13 NOTAMN  
Q)LFBB/QXXXX/IV/NBO/A /000/999/4323N00025W005  
A)LFBB B)1310141700 C)1310160400  
E)- EN RAISON D'UN MOUVEMENT SOCIAL, LES SERVICES ATS DE PAU LFBB  
PEUVENT ETRE PROVISoireMENT SUSPENDUS (REF A5811/13 NOTAMN)  
LORSQUE LES SERVICES ATS NE SONT PAS RENDUS:  
1-LES ATTERRISSAGES ET DECOLLAGES IFR SONT INTERDITS A L'EXCEPTION  
DES VOLS EVASAN ET D'ETAT.  
2-L'AERODROME NE PEUT PAS ETRE PLANIFIE ET UTILISE COMME TERRAIN DE  
DEGAGEMENT.  
3- AWY G17 (ORTEZ-TAN-AUCHE) DOIT ETRE OBLIGATOIREMENT PLANIFIEE A  
UN NIVEAU SUPERIEUR AU FL 145.  
4-SIV PYRENEES:SERVICES ASSURES PAR LFBB ACC (FREQ:129,100 MHZ)  
COMME SUIV:  
-EN-DESSOUS DU FL115: SERVICE D'ALERTE UNIQUEMENT  
-ENTRE FL115 ET FL145: SERVICES DE CONTROLE, D'INFORMATION ET  
D'ALERTE ASSURES UNIQUEMENT POUR LES DEPARTS ET ARRIVEES DE LFBB)



CFAO225 101513  
GG DAAAFF2X  
101511 EUCHEUW  
PART 004 OF 006  
AIM VALID 10/06/2013-11/06/2013 - RELEASED 15:11:13 10/06/2013

---

## CONSIDER THAT:

1) ALL TRAFFIC OVERFLYING DAAA AIRSPACE WITH DESTINATION LECB FIR WILL BE CO-ORDINATED VIA POINT: LUXUR AT FL300 AND ABOVE (ONLY 'EVEN' FLIGHT LEVELS). TRAFFIC DEST LEPA VIA LUXUR SHOULD FPL UM134-LUXUR-GENIO-UN859-OSGAL, WITH STAR OSGAL

2) ALL TRAFFIC DEPARTING FROM LECB FIR AND OVERFLYING DAAA AIRSPACE WILL BE CO-ORDINATED VIA POINT SADAF AT FL310 OR ABOVE (ONLY 'ODD' FLIGHT LEVELS).

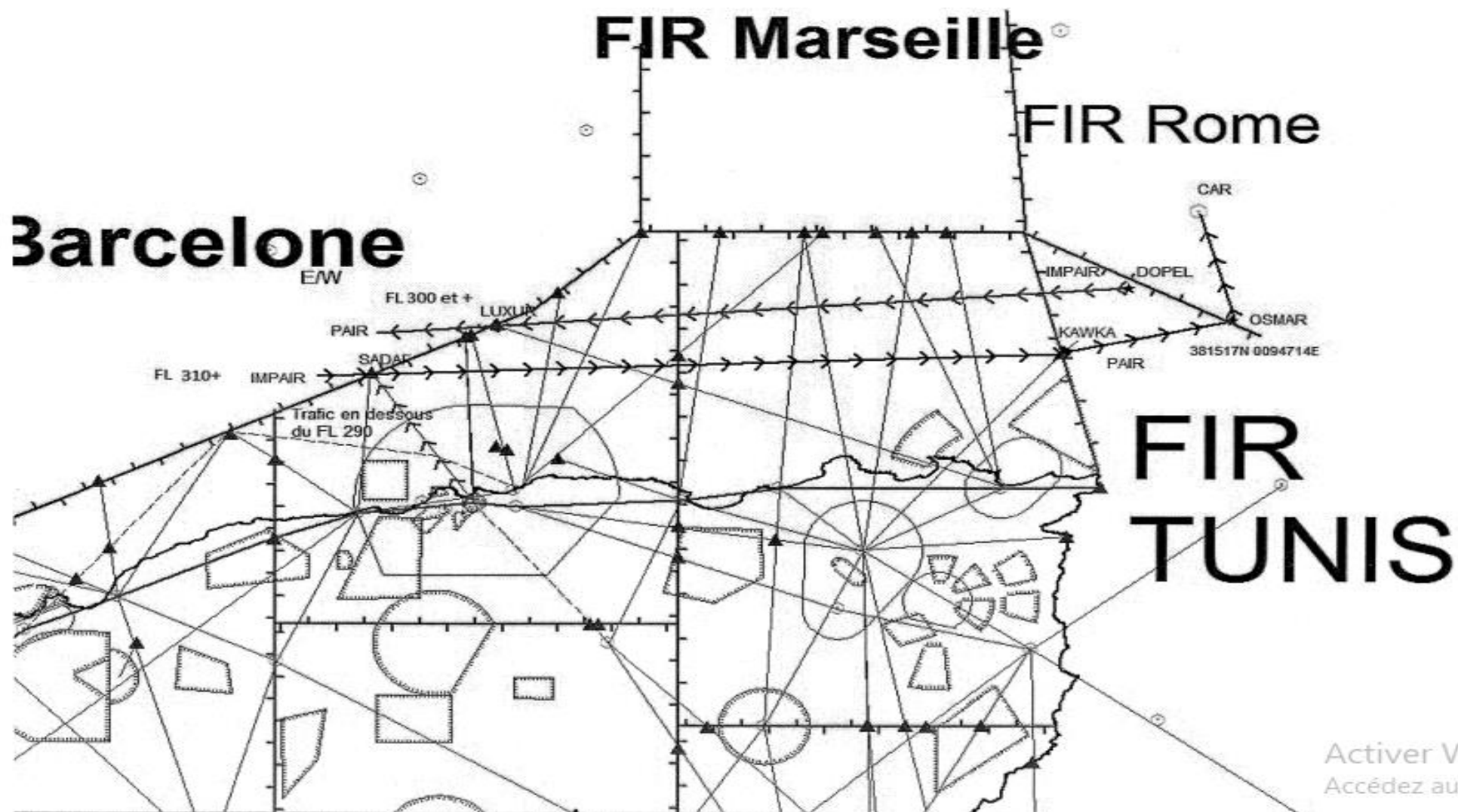
3) ALL TRAFFIC DEPARTING FROM LEPA WITH DESTINATION DAAA FIR: MAX FL290 OVER POINT SADAF. DEPS LEPA SHOULD FPL LEPA WITH SID MEBUT: MEBUT-NINES-UM134-OLMIR-UN861-SADAF AT FL290.

NOTE: TUNISIA STILL REQUIRES OVER-FLIGHT PERMISSION. THE ONLY ROUTES IN TUNIS AIRSPACE THAT DO NOT REQUIRE OVERFLIGHT PERMISSION ARE:

- A) TRAFFIC BETWEEN DTTC AND DAAA VIA DOPEL - LUXUR AT FL310 AND ABOVE (ONLY 'ODD' FLIGHT LEVELS).
- B) TRAFFIC BETWEEN DAAA AND DTTC VIA SADAF - KAWKA AT FL300 AND ABOVE (ONLY 'EVEN' FLIGHT LEVELS).

FOR THE OTHER ROUTES, PLEASE ASK FOR THE PERMISSION FROM THE TUNISIAN AUTHORITIES USING THE FOLLOWING ADDRESSES:  
AFIN: DTTVYAYX OR DTTVYAYF  
SITA: TUNYXXH

END OF PART 004



Activer W  
Accédez au

Figure II.6 EXEMPLE DE MESURE ATFM APPLIQUEE PAR LES ORGANISMES ATC ALGERIENS

#### II.4.4 Les mesures de régulation

Après l'optimisation de la capacité et l'adaptation de la demande à cette dernière, si la surcharge persiste, des mesures de régulation sont prises telles que :

- **Ground delay programme (créneaux de départ):** Mesure ATFM stratégique pré-tactique ou tactique. GDP est un processus de gestion du trafic aérien où les avions sont maintenus au sol afin de gérer la capacité et la demande à travers un volume spécifique d'un espace aérien ou à un aéroport donné. Le but d'un GDP est de minimiser l'attente en vol.
- **Le Ground Stop (GS) :** Une mesure ATFM tactique. C'est un processus qui exige que les aéronefs qui répondent à un critère spécifique de rester sur le terrain. En raison de l'impact potentiel d'un arrêt des aéronefs sur les espaces aériens, des mesures ATFM doivent être prise avant celle de bloquer les aéronefs au sol, si le temps et les circonstances le permettent. La GS est généralement utilisé :

\*Dans le cas où la capacité a été fortement réduite dans les aéroports en raison d'événements météorologiques significatifs ou en raison d'aéronefs accidents / incidents.

\* Dans le cas où un service ATC est incapable ou partiellement incapable de fournir les services de la circulation aérienne en raison de circonstances imprévues, et lorsque les itinéraires ne sont pas disponibles en raison d'événements météorologiques catastrophiques graves.

- **L'attente en vol :**

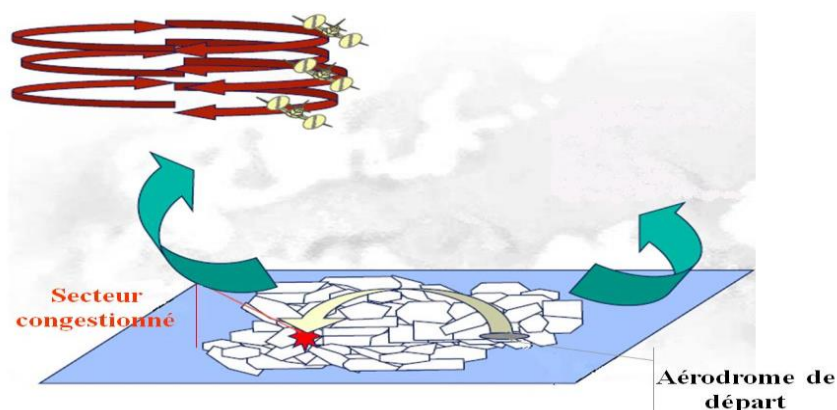


Figure II.5 SCHEMA DE LA MESURE ATFM « ATTENTE EN VOL »

**Conclusion**

Ces outils et méthodes sont mis en œuvre dans le but d'optimiser l'adéquation de l'offre et de la demande en étalant la demande dans le temps et dans l'espace, mais aussi en permettant une meilleure planification des capacités de contrôle à mettre en œuvre pour satisfaire la demande.

Aussi de prédire le dépassement de la capacité du secteur opérationnel afin de prendre des mesures de régulation du flux de trafic aérien.

**CHAPITRE III : SECTORISATION PAR CONTRAINTES DE  
SECTEURS ELEMENTAIRES**

### III.1 Introduction

L'espace aérienne peut être divisé en petit volumes en 3 dimensions, permettant ainsi une gestion efficace des flux de trafic aérien.

Les flux de trafic aérien suivant des routes statiques permettent, grâce à une analyse statistique, la division de l'espace aérien en secteurs statiques comme ceux existant actuellement en FIR Alger. Cette division permet une optimisation de la gestion des flux de trafic aérien, en fonction des moyens disponibles et de la configuration récurrente du trafic aérien.

L'adoption de concept comme le DCT (Direct Routing) ou FRA (Free Route Airspace) et la volonté d'avoir une adaptation flexible, temps réel de la sectorisation en fonction des moyens et effectifs disponibles et en tenant compte des flux de trafic aérien libérés des contraintes de routes ATS.

La sectorisation par secteurs élémentaires est une solution permettant d'envisager une division primitive de l'espace aérien, les secteurs opérationnels sont construits par l'assemblage de plusieurs petits volumes, arrangés d'une façon à calquer les flux de trafic aérien, et réduisant ainsi la coordination et optimisant la capacité globale de l'espace aérien.

Cette conception des secteurs opérationnels est établie afin d'assurer un équilibre entre la capacité d'un secteur et la demande de trafic aérien. Elle offre la possibilité d'avoir une sectorisation dynamique à l'instar de la sectorisation actuelle, où la charge de travail est inégalement répartie dans le temps et dans l'espace (les contrôleurs subissent des périodes de faible trafic et d'autres de surcharge). Cette subdivision de l'espace aérien en secteurs élémentaires est sujette à des contraintes d'ordre technique et opérationnelles.

Les outils de prédiction des flux de trafic aérien utilisés par les systèmes ATFM permettent de connaître plus ou moins à l'avance et de manière assez précise les trajectoires de vol prévues et les potentielles congestions des espaces aériens. Ces informations peuvent être utilisées pour l'adoption d'une configuration de secteurs opérationnels dynamiques formés par la combinaison la plus appropriée des secteurs élémentaires pour répondre à la demande en capacité anticipée.

L'application des mesures ATFM se prépare grâce à une planification qui se fait, dans des délais définis comme des périodes de temps relatives au temps absolu d'exécution du vol :

- Long terme : Plus de 6 mois avant le jour d'exécution du vol.

- Stratégique : 6 mois à un jour avant le jour d'exécution du vol.
- Pré-Tactique : un jour avant à environ 20 minutes avant le départ.
- Tactique : d'environ 20 minutes avant à l'instant réel de la trajectoire de vol.
- Exécution : temps zéro relatif.

Pour le choix de la configuration de l'ouverture des secteurs élémentaires, la planification se fera de manière pré-tactique (soit un jour avant) et tactique (le jour même).

Parmi les caractéristiques de ce type de sectorisation, c'est l'adaptabilité de la sectorisation au flux de trafic.

L'utilisation de la sectorisation par secteurs élémentaires offre de multiples avantages, comme :

- L'adaptation dynamique de la capacité à la configuration des flux de trafic aérien ;
- La réduction du nombre de coordinations entre secteurs ;
- La répartition équilibrée de la charge de travail entre les différents secteurs ;
- L'optimisation de l'affectation des effectifs de contrôleurs.

Cependant, l'adoption de ce concept est intimement liée à la mise en place de moyens de communication, de surveillance et l'uniformisation du service rendu (contrôle RADAR) ainsi que l'homogénéisation des qualifications existantes au niveau du CCR d'Alger.

## III.2 Présentation des logiciels utilisés :

## III.2.1 logiciel GLOBAL MAPPER

Avant de commencer notre étude d'évaluation de la possibilité d'appliquer la sectorisation par secteurs élémentaires à la FIR Alger, il convient de donner une brève présentation du logiciel utilisé à cette fin, le **GLOBAL MAPPER**.

**Global Mapper** est un logiciel professionnel de cartographie combinant une gamme complète d'outils de traitement de données spatiales à une variété inégale de formats de données. Développé à la fois pour les professionnels du SIG (Système d'Informations Géographiques) et les passionnés de cartographie,

Il offre également la possibilité d'accéder directement à de multiples sources en ligne des images, des cartes topographiques, et les matrices de données de terrain. Cela comprend l'accès à travers le monde des images couleur haute résolution et l'accès à la base de données d'imagerie satellitaire et de cartes topographiques y compris un accès intégré aux données d'élévation et de l'imagerie couleur pour le monde entier, [10]

Nous avons utilisé Global Mapper car il incarne pratiquement tout ce dont nous avons, à savoir : l'interopérabilité complète avec un support sans précédent de données, installation et configuration simple, juste équilibre entre puissance du traitement de données et surtout la fiabilité de ses résultats.

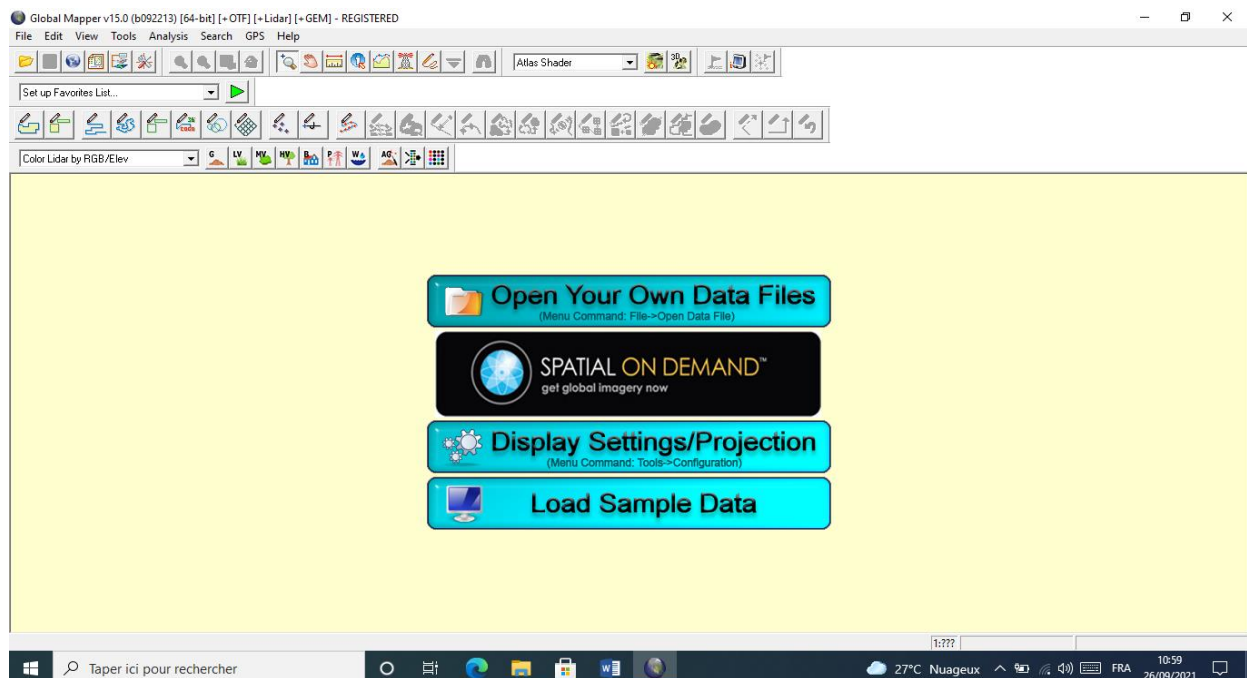


FIGURE III.1 INTERFACE DU GLOBAL MAPPER



### III.2.1.1 Utilisation du logiciel GLOBAL MAPPER

Dans ce chapitre nous utiliserons le logiciel GLOBAL MAPPER pour la matérialisation des couvertures des moyens de communication et de visualisation de trafic, qui constituent des contraintes pour la définition des secteurs élémentaires en FIR Alger.

Les étapes suivantes ont été réalisées :

- Téléchargement des cartes topographiques (site de la NASA) contenant la FIR Alger à une résolution de 90 m.
- Pointer sur la carte l'ensemble des coordonnées géographiques de l'ensemble des aéroports existant en FIR Alger.
- Pointer sur la carte l'ensemble des coordonnées des moyens de communication (VHF), de navigation, de surveillance ainsi que les positions des aéroports.
- Simuler les couvertures théoriques en terme VHF et RADAR de l'ensemble des moyens en fonction de différentes altitudes de vol.

Cette approche nous a permis de déterminer les contraintes liées à la disponibilité des moyens et définir les limites géométriques des secteurs élémentaires de la FIR Alger.

### III.2.2 Présentation du logiciel MapInfo

MapInfo est un logiciel professionnel du SIG (Système d'Informations Géographiques) qui structure les informations en tables. Une table est un ensemble de fichiers qui sont manipulés ensemble par le logiciel. Ainsi la fonctionnalité « Ouvrir une table » est traduite par un ensemble d'activités informatiques élémentaires qui vont ouvrir chacun des fichiers constituant la table, vérifier la cohérence de l'ensemble et afficher le contenu graphique de la table dans une fenêtre. Ainsi, les informations communales gérées par MapInfo vont être constituées d'un certain nombre de fichiers. C'est cet ensemble de fichiers que l'on nomme « table ». [11]

Nous utiliserons le logiciel MapInfo afin de donner une illustration d'une possibilité de regroupement des secteurs élémentaires établie, en fonction d'une configuration de trafic aérien réalisée grâce à MapInfo et d'une base de données ACCESS contenant un trafic réel du mois de juillet 2019.

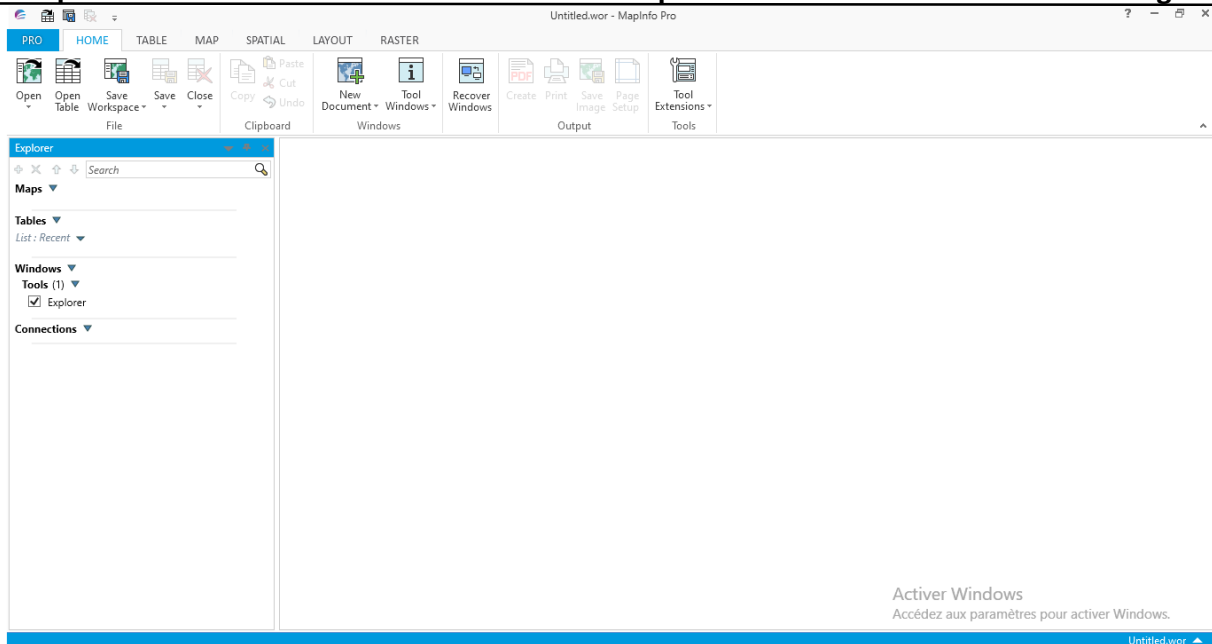


Figure III.2 Interface du logiciel MapInfo

### III.3 Contraintes de la sectorisation par secteurs élémentaires

Le concept de la sectorisation par secteurs élémentaires doit répondre à un certain nombre de contraintes :

#### III.3.1 Contrainte du temps de transit minimum d'un aéronef

##### III.3.1.1 Phases de traitement des vols au sein d'un secteur opérationnel

On distingue trois phases lors du traitement d'un vol par le contrôleur aérien : l'acceptation du vol, le survol du secteur en toute sécurité, son transfert au contrôleur du secteur suivant.

- **A l'entrée du secteur** : quelques minutes avant (environ 10 minutes), le contrôleur reçoit les éléments du vol (indicatif, niveau de vol, point d'entrée et l'heure estimée (cela peut être réalisé par l'impression automatique d'une bande de progression de vol et le changement de couleur du plot radar Noir -> Bleu).
- **Pendant le survol du secteur** : le contrôleur donne des autorisations aux équipages des vols afin d'assurer les séparations réglementaire (au même niveau de vol 10 NM au Radar en route) entre les différents aéronefs.
- **A la sortie du secteur** : le contrôleur demande au pilote de contacter la fréquence du secteur opérationnel suivant.

Lorsqu'un aéronef survole un secteur élémentaire, il doit le franchir avec un temps minimal de survol afin de permettre au service de contrôle aérien d'éventuellement agir sur le trafic, une durée de transit courte dans un secteur élémentaire risque une augmentation des coordinations ou même une impossibilité pour le contrôleur d'agir à temps pour résoudre un éventuel conflit.

Selon l'expérience des contrôleurs aériens travaillant au CCR Alger, un minimum de 5 minutes de survol doit être envisagé pour permettre une éventuelle action sur un trafic en conflit, cette durée de survol coïncide avec une distance minimale de 40 NM pour un jet (vitesse sol d'environ 480 Kt) entre le point d'entrée et le point de sortie du secteur élémentaire.

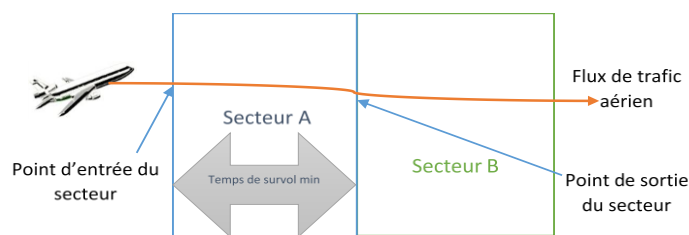


Figure III.3 CONTRAINTE LIEE AU TEMPS DE TRANSIT D'UN SECTEUR

### III.3.2 Contrainte des distances minimales

Une distance minimale de 5 NM entre les trajectoires de vol et les limites horizontales d'un secteur est exigée. Cette bande d'espace aérien est mise en place pour garantir la séparation (Radar) des aéronefs du dit secteur par rapport aux secteurs adjacents et éviter des coordinations superflues avec les autres contrôleurs (la séparation horizontale minimale au Radar entre deux aéronefs est de 10 NM).

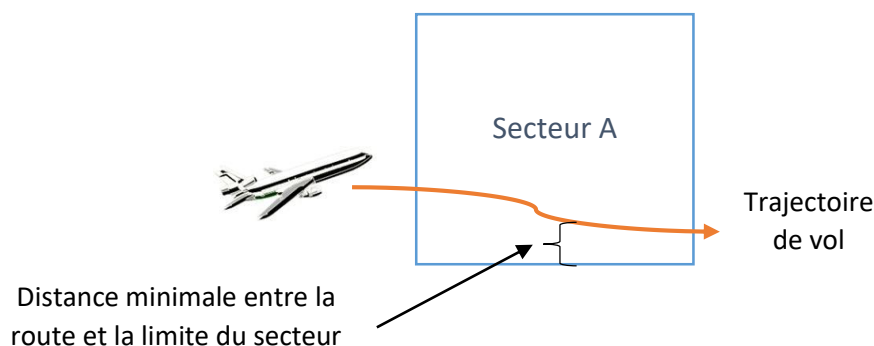


Figure III.4 CONTRAINTE DE DISTANCE MINIMALE

### III.3.3 Contrainte due aux croisements de flux aérien

n croisement de flux de trafic aérien doit être au niveau du même secteur élémentaire, si des croisements s'effectuent aux limites d'un secteur élémentaire impliquerait des coordinations supplémentaires et une probabilité accrue d'occurrence d'événements touchant la sécurité des vols.

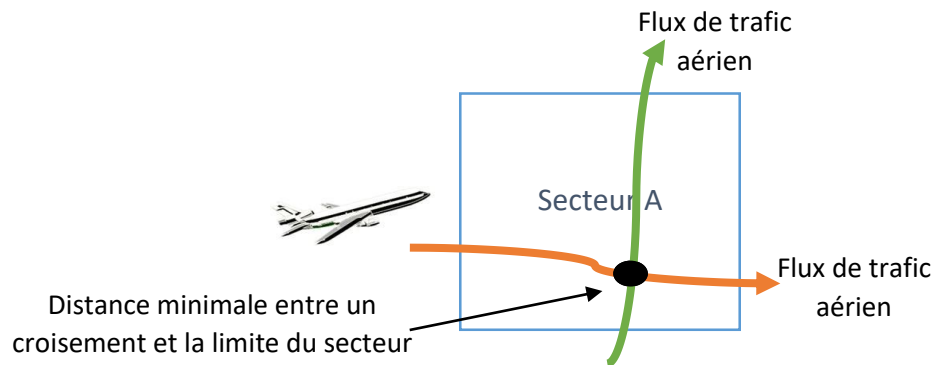


Figure III.5 Contrainte liée au croisement du flux de trafic aérien

Une distance minimale comparable à celle utilisée pour la séparation des aéronefs et augmentée par le buffer de protection est exigée (15 NM) entre le point de croisement et les limites du secteur élémentaire. Cette distance minimale est exigée pour permettre au contrôleur de la circulation aérienne de résoudre les probables conflits de trafic dans son secteur sans avoir à coordonner avec les secteurs voisins.

### III.3.4 Contrainte liée au de présence d'un aéroport

Le trafic aérien aux abords d'un aéroport est en générale en évolution sur le plan vertical, pour éviter des coordinations superflues, les trajectoires de départ et d'arrivée ainsi que les circuits d'attentes et leurs protections doivent être inclus dans le même secteur élémentaire.

La figure ci-dessous représente les différents aéroports en FIR Alger

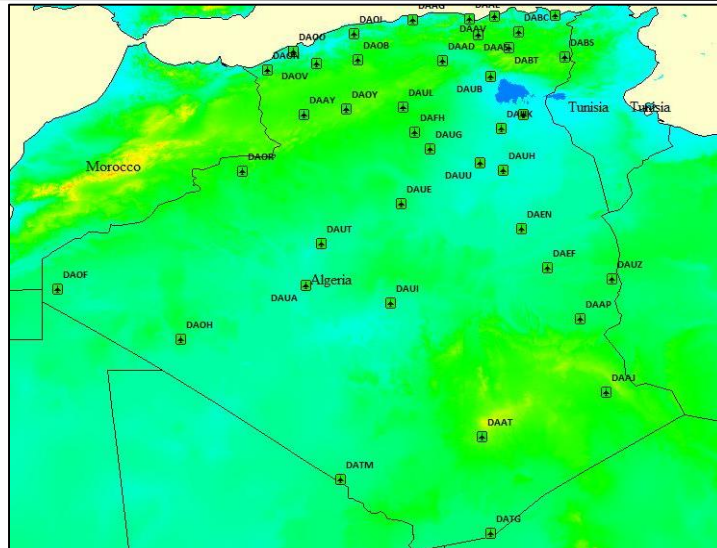


Figure III.6 les différents aéroports en FIR Alger

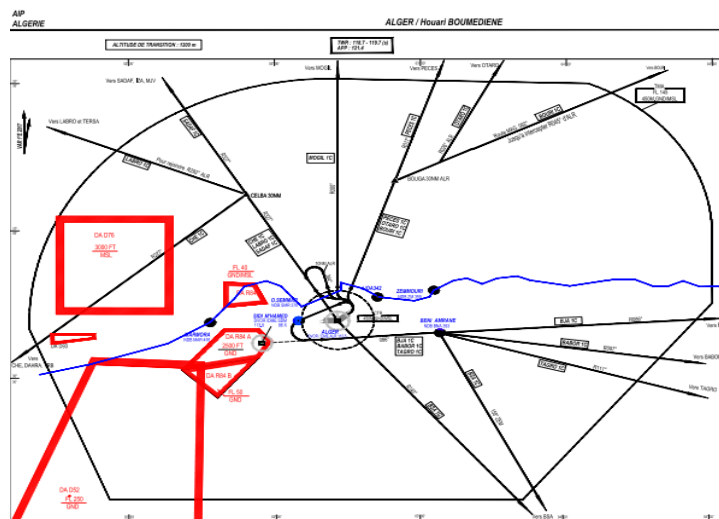


Figure III.7 Contrainte liée aux évolutions aux abords d'un aéroport

### III.3.5 Contrainte liée à la couverture VHF du secteur

Pour pouvoir fournir un service de la circulation aérienne et notamment le service du contrôle radar, une communication bilatérale entre le contrôleur et l'équipage de conduite d'un vol doit être maintenue, pour ce faire, il est impératif d'associer au moins une fréquence VHF à chaque secteur élémentaire.

Des petites zones, où la couverture VHF n'est pas satisfaisante, peuvent être tolérées. Dans de telles zones des moyens de communication alternatifs sont utilisés (CPDLC, fréquence HF ou des relais avec d'autres aéronefs). Les zones où la couverture VHF n'est pas satisfaisante doivent être comprises à l'intérieur des secteurs élémentaire et ne doivent en aucun cas être autonomes.

En Algérie, les communications contrôleurs-pilotes sont assurées par une liaison VHF (22 stations VHF réparties sur le territoire national) assurant la quasi-totalité de la couverture VHF au-delà du niveau de vol FL250.

En complément aux moyens de communication existants le projet PDGEA a prévu la mise en place d'antennes VHF supplémentaires implantés dans les sites suivants : Aéroport d'Alger, BOU SAADA, Aéroport SETIF, Annaba Seraidi, Aéroport de Béchar, Aéroport de Biskra, Bordj Omar Driss, Aéroport de Bou Saada / ZERGA, Aéroport de Constantine, El-Bayadh Bouderga ; Aéroport d'Hassi Messaoud, Aéroport de Mascara, Aéroport d'Oran, Oran Murdjadjo, Aéroport de Tiaret, Aéroport de Timimoune , Aéroport de Touggourt, Aéroport Aéroport de Djanet d'In-Amenas Aéroport de Bordj Badji Mokhtar.

Les figures suivantes montrent la couverture VHF au niveau de vol FL250 actuelle, et la couverture VHF prévue une fois les moyens PDGEA utilisés.

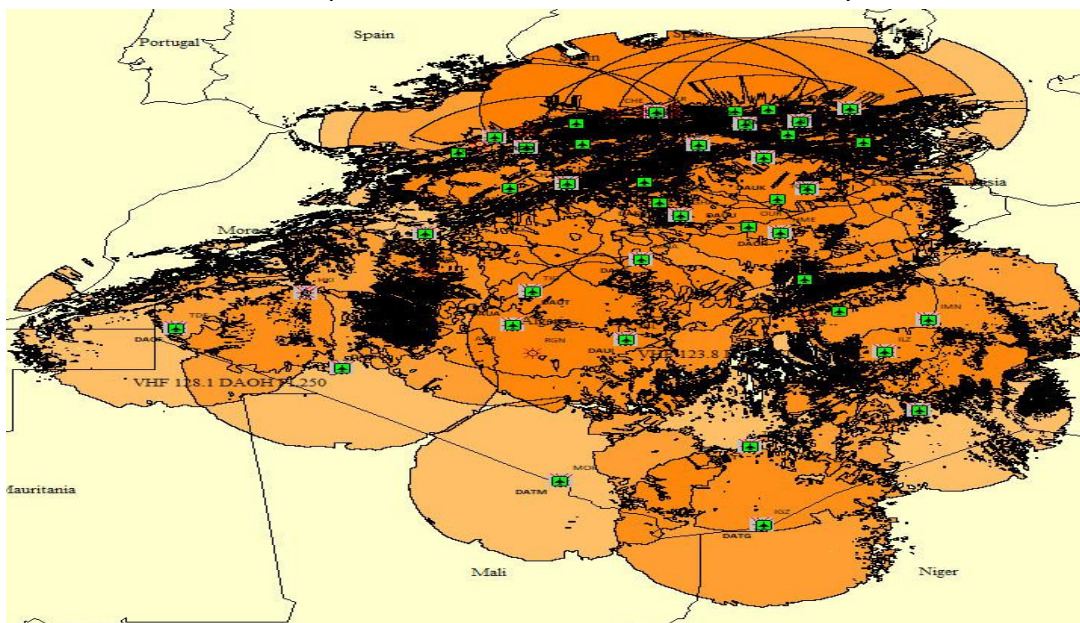


Figure III.8 COUVERTURE VHF ACUELLE AU NIVEAU DE VOL FL250

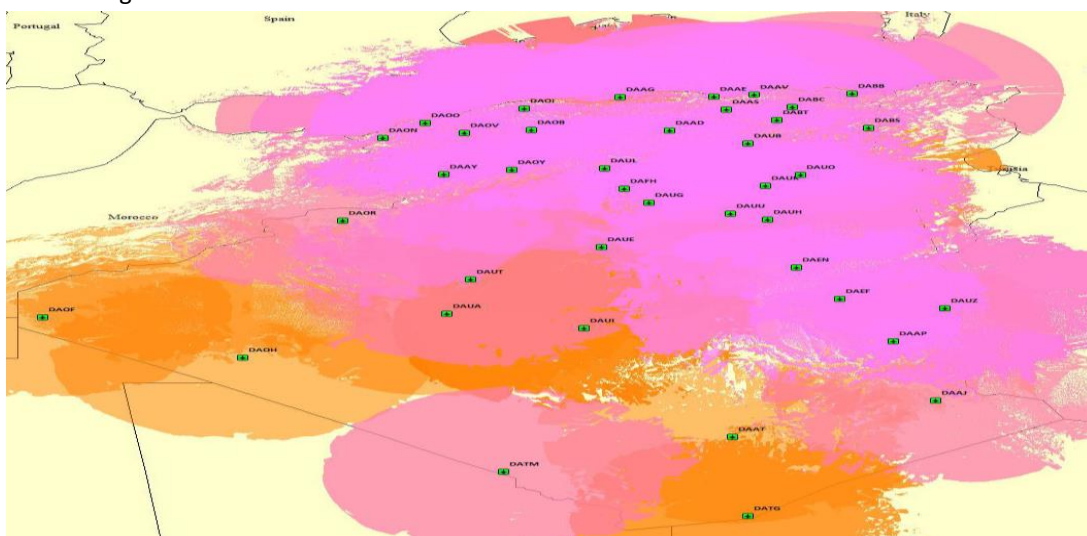


Figure III.9 COUVERTURE VHF ACUELLE + moyens PDGEA AU NIVEAU DE VOL FL250

Figure III.9 COUVERTURE VHF AU NIVEAU DE VOL FL250- Projet PDGEA

On en déduit donc d'après ces figures que la définition des secteurs élémentaires prenant en compte la contrainte de la couverture VHF imposera :

- L'ajout des zones non couvertes VHF au secteur possédant une fréquence.
- Le chevauchement de deux cercles de couverture VHF indique que les deux antennes VHF ont une portée dans cette zone, et donc offrent la possibilité d'ouverture d'un secteur élémentaire.

Concernant l'établissement du réseau RSFTA pour les échanges des messages intéressants la sécurité des vols, la météo, les plans de vols,

La commutation de ces messages du réseau RSFTA en Algérie se fait au niveau du BCT situé à Oued-Smar (ENNA). Le réseau est établi en maille entre les centres principaux situés à Alger, Oran, Bechar, Constantine, Ghardaïa et Tamanrasset, connectés par une configuration en Etoile afin de desservir les différents organismes ayant besoin d'être connecté au dit réseau.

### III.3.6 Contrainte liée à la couverture RADAR/ADS

Un secteur élémentaire doit posséder une couverture RADAR sur la totalité de son espace. La FIR Alger possède pour la surveillance Cinq (05) radars secondaires dont la portée est de 256NM/600FL implanté sur Alger, Oran, Annaba, El Oued et El Bayadh, ainsi qu'un (01) radar primaire co-implanté au radar secondaire à Alger.

En complément aux moyens de surveillance existants le projet PDGEA a prévu la mise en place des moyens de surveillance supplémentaires afin d'assurer une couverture totale de la FIR Alger, notamment :

- Radars primaires implantés sur les sites suivants : Aéroport de Constantine, Aéroport d'Hassi Messaoud, Oran Murdjadjo.
- Radars secondaires implantés sur les sites suivants : Bou Saada, Aéroport de Constantine, Aéroport d'El-Goléa, Aéroport d'Hassi Messaoud,



Aéroport de Tiaret, Aéroport de Tamanrasset, Aéroport de Djanet, Aéroport de Illizi, Aéroport d'In-Salah.

- Treize (13) ADS-B implantés sur les sites suivants :aéroport de Tindouf, Reggane, Hassi Khebi, chenachene, aéroport de Bordj Badji Mokhtar,

aéroport de Timimoune, Aéroport d'El-Oued, Oran Murdjadjo, aéroport de Ghardaïa, el Bayadh, Bordj Omar Driss, aéroport de Sétif, aéroport d'Alger.

Les figures ci-après montrent la couverture RADAR en FIR Alger au niveau de vol FL250 avec les moyens de surveillance actuelle ainsi que la couverture RADAR au niveau de vol FL250 aux de surveillance prévus par le projet PDGEA :

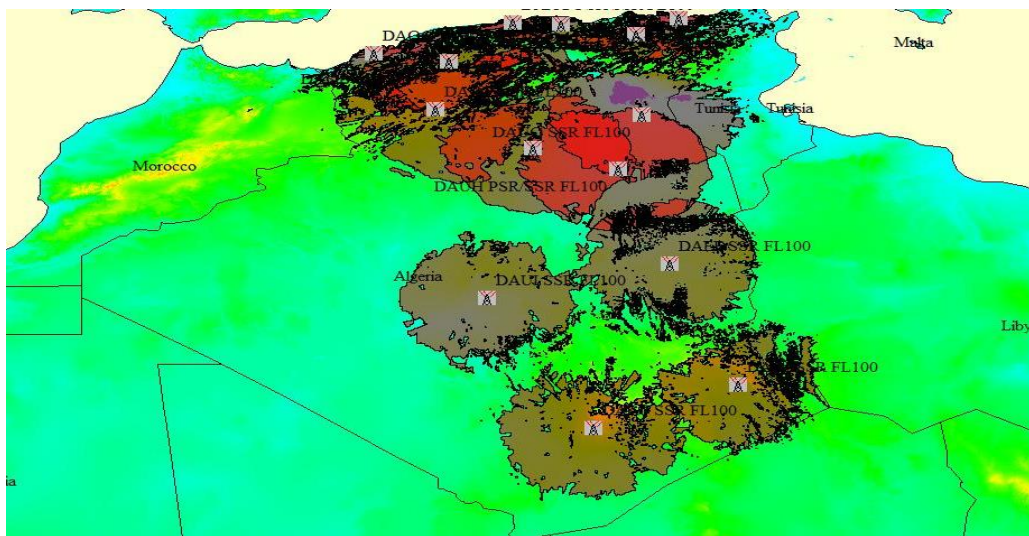


Figure III.10 Couverture radar ADS-B FL250 actuelle

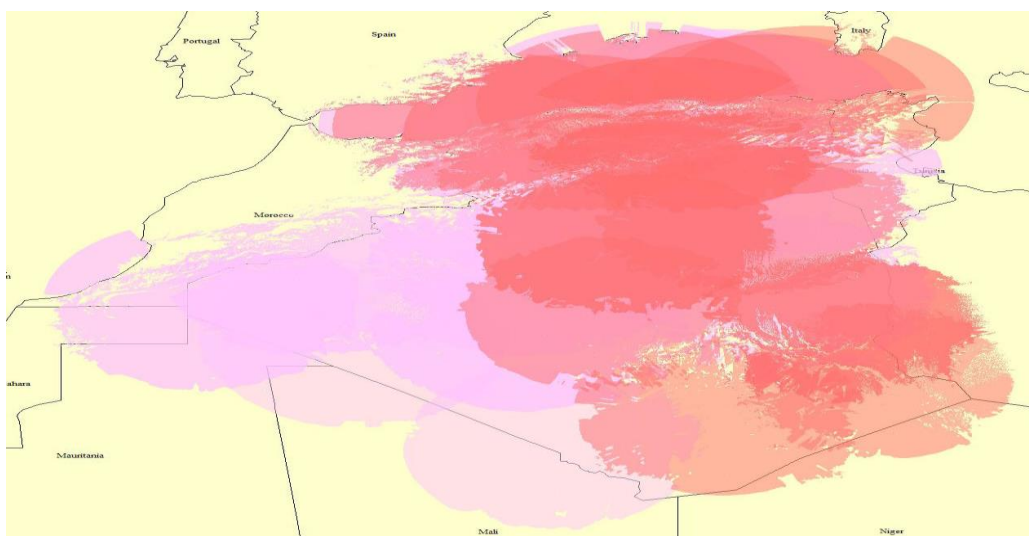


Figure III.11 Couverture radar ADS-B FL250- Projet PDGEA



### III.4 Concepts améliorant l'utilisation de la sectorisation par secteurs élémentaires

Afin de bénéficier des avantages de la sectorisation par secteurs élémentaires, il est souhaitable de l'associer aux concepts FUA et FRA :

❖ **Le concept FUA (utilisation flexible de l'espace aérien) :** c'est un concept de gestion de l'espace aérien, selon lequel l'espace aérien ne doit pas être désigné comme un espace purement civil ou purement militaire, mais doit être considéré comme un espace continu dans lequel il faut répondre aux besoins de tous les usagers dans la plus grande mesure possible.

L'application efficace et harmonisée de la FUA exige des règles claires et cohérentes pour la coordination civilo-militaire qui doivent prendre en compte les besoins de tous les usagers et la nature de leurs différentes activités. Les procédures de coordination civilo-militaire, pour être efficaces, doivent s'appuyer sur des règles et des normes garantissant un usage efficace de l'espace aérien par tous les usagers.

Tout espace dans lequel l'évolution d'aéronefs peut pour une raison ou une autre être interdite ou réglementée, soit temporairement ou en permanence, et tout espace dans lequel un danger potentiel à l'évolution des aéronefs subsiste est classé par l'OACI selon les trois types de zones comme: dangereuses, interdites, réglementées.

Ces zones sont référencées sur l'AIP ainsi que leurs coordonnées géographiques dans la partie en route 5.1.2, leur plancher et leur plafond ainsi que l'heure d'activité, genre de limitations, nature des dangers, risque d'interception.

Indicatif	ALT SUP/INF	HORAIRE
DA.P 51	UNL/GND	H24
DA.P 58	UNL/GND	H24
DA.P 60	UNL/GND	H24
DA.P 64	UNL/GND	H24
DA.P 67	UNL/GND	H24
DA.P 70	UNL/GND	H24
DA.P 73	FL80/GND	H24
DA.P 80	FL280/GND	H24
DA.P 89 A	UNL/GND	H24
DA.P 89 B	UNL/GND	H24

DA.P 89 C	UNL/GND	H24
-----------	---------	-----

Tableau III.01 : les zones interdites[14]

Indicatif	ALT SUP/INF	HORAIRE
DA.D 32	1200M/MSL	NOTAM
DA.D 50A	FL250/GND/MSL	H24
DA.D 50B	FL245/GND/MSL	H24
DA.D 50C	FL250/FL55	H24
DA.D 50D	FL250/MSL	H24
DA.D 50E	FL250/GND	H24
DA.D 505	FL250/GND	H24
DA.D 53A	UNL/GND	H24
DA.D 53B	UNL/GND	H24
DA.D 53C	UNL/GND	H24
DA.D 53D	UNL/GND	H24
DA.D 55	FL280/GND	H24
DA.D 56	FL100/GND	H24
DA.D 59	UNL/GND	H24
DA.D 71	800M/GND	H24
DA.D 74A	FL295/GND	H24
DA.D 74B	FL295/900ft QNH	H24
DA.D 74C	FL295/900ft QNH	H24
DA.D 76	3000FT/MSL	H24
DA.D 82	UNL/GND	NOTAM
DA.D 85	FL295/GND	NOTAM
DA.D 86	FL295/MSL	H24
DA.D 87	FL295/MSL	H24
DA.D 90	FL200/GND	H24
DA.D 91A	FL245/GND	Autorisation TWR
DA.D 91B	FL245/GND	Autorisation TWR
DA.D 92	1000FT/MSL	H24
DA.D 93	1000FT/MSL	H24
DA.D 94	1000FT/MSL	H24
DA.D 95	1000FT/GND	NOTAM
DA.D 96	1000FT/GND	NOTAM
DA.D 97	1000FT/GND	NOTAM
DA.D 99	FL185/GND	H24
DA.D 100A	FL165/GND	H24
DA.D 100B	FL165/GND	H24
DA.D 101	FL295/GND	NOTAM
DA.D 103	FL245/GND	H24
DA.D 104	FL320/GND	H24
DA.D 105	FL320/GND	H24

Tableau III.02 : les zones dangereuses [14]

Indicatif	ALT SUP/INF	HORAIRE
DA.R 77	annoncée par NOTAM	annoncée par NOTAM
DA.R 78	FL70/GND	H24
DA.R 84	FL40/GND/MSL	H24
DA.R 84 A	2500ft/GND	H24
DA.R 84 B	FL50/GND	H24
DA.R 88	FL100/GND	H24
DA.R 98 A	FL280/GND	-
DA.R 98 B	FL095/GND	-
DA.R 102	FL085/GND	H24

Tableau III.03 : les zones règlementées [14]

La majorité des zones à statut particulier en FIR Alger ont un plafond qui ne dépasse pas le niveau de vol FL250.

L'utilisation du concept FUA offre une solution partielle à la contrainte des zones militaires qui conditionne le trafic à passer sur une trajectoire donnée, proposant un accord avec l'autorité militaire à libérer l'espace aérien au-delà du FL250 afin d'utiliser le concept de sectorisation par secteurs élémentaires.

❖ **Le concept FRA (Free Route Airspace)** : est un volume spécifié d'espace aérien dans lequel les utilisateurs peuvent planifier librement un itinéraire entre des points d'entrée et de sortie définis. Sous réserve de la disponibilité de l'espace aérien, le routage est possible via des points de cheminement intermédiaires, sans référence au réseau de routes du service de la circulation aérienne (ATS). A l'intérieur de cet espace aérien, les vols restent soumis au contrôle aérien.

Les deux plus importantes contraintes quant à l'utilisation du concept FRA en Algérie sont :

- La présence des zones militaires (contrainte solutionnée par le concept FUA).
- La dotation de l'ensemble de la flotte en équipement nécessaire à effectuer une navigation basée sur la performance.

La solution proposée est d'adopter les deux concepts au-delà du niveau de vol FL250, ce qui écarterait la contrainte des zones militaires, celle des routes existantes.



### III.6 Regroupement des secteurs élémentaires

L'avantage du concept de sectorisation par secteurs élémentaires c'est le regroupement des secteurs élémentaires pour former un secteur opérationnel ce qui rend la sectorisation dynamique et adaptable au flux de trafic aérien.

Le regroupement de secteurs élémentaires compose le schéma d'ouverture des secteurs opérationnels.

Le regroupement des secteurs élémentaires est réalisé de façon à ce que la charge de travail soit répartie équitablement. Il dépend de la charge de trafic, des équipements opérationnels de communication et de surveillance, du nombre de positions physiques de contrôle aérien disponible, du nombre de contrôleurs aériens en service et de leurs qualifications.

Une fois les secteurs élémentaires déterminés d'après les contraintes citées précédemment, le regroupement des secteurs élémentaires s'effectuera à l'aide de la détermination du nombre de passage du trafic par secteur, cette donnée est fournie par les services de gestion de flux de trafic aérien (ATFM).

#### III.6.1 Analyse du trafic aérien en FIR Alger 2018-2019

Les statistiques du trafic aérien en route réalisées par l'ENNA trient le trafic aérien selon sa nature en :

- Survol avec escale : vol comportant au moins une escale sur le territoire national, se divisant en : trafic national et international.
- Survol sans escale : vol n'atterrissant pas sur le territoire national (il transit sur l'espace aérien Algérien).

Type	2018	2019
SURVOLS AVEC ESCALE	160 048	156 805
Nationaux	78 018	77 723
Internationaux	82 030	79 082
SURVOLS SANS ESCALE	106 095	110 160
TOTAUX	266 143	266 965

Tableau 04 Statistique du trafic aérien 2018-2019 [1]

Le choix de la configuration des secteurs élémentaires dépend essentiellement du nombre d'effectif disponible le jour. Et de ce fait la disponibilité de ces derniers influe sur le choix du schéma d'ouverture des secteurs élémentaires.

Un schéma d'ouverture est optimal si le contrôleur n'éprouve pas de besoin d'adopter des mesures de régulation ATFCM pendant la gestion du flux de trafic aérien.

A une configuration de trafic aérien, s'ouvre un certain nombre de possibilités d'ouverture des secteurs élémentaires, afin de choisir la configuration optimale et au lieu de à l'aide d'une méthode de calcul complexe, nous avons choisi d'utiliser la méthode du tâtonnement (le choix d'une configuration suite aux commentaires des contrôleurs ayant utilisé cette même configuration à un jour ou la configuration du trafic aérien ce jour-là ressemblait à celui de la journée de travail prévu), le choix de la combinaison optimale à utiliser sera décidé par le chef de salle.

Le procédé de la mise en place des combinaisons des secteurs élémentaires se fera à l'aide d'une analyse comparative du trafic prévu à un trafic aérien similaires, proposant les différents schémas d'ouverture des secteurs élémentaires utilisés et les commentaires des chefs de salle l'ayant utilisé, avec la possibilité de l'établissement d'une nouvelle configuration, qui sera aussi commentée et proposé lors d'une analyse indiquant un trafic aérien similaire.

Dans notre étude nous allons proposer une illustration d'un schéma d'ouverture des secteurs élémentaires établi à partir d'une base de données Access du trafic aérien réel du mois de Juillet 2019.

La combinaison des secteurs élémentaires dépendra essentiellement de la présence des effectifs le jour des opérations et de la configuration du flux de trafic (configuration en pratique obtenue par les services de gestion des flux de trafic aérien).

Nous proposons de choisir la journée du mardi 30 juillet 2019, en raison de la forte densité de trafic en cette journée (saison estivale).

Nous allons convertir les données de cette journée en utilisant le logiciel MapInfo, des vols excédant le niveau de vol FL250 et les superposer sur la nouvelle carte de la FIR Alger, et y appliquer les contraintes de distance des trajectoires par rapport aux secteurs et regrouper



les secteurs élémentaires à faible flux de trafic aérien les traversant formant ainsi des secteurs opérationnels. Nous obtenons la figure suivante :

**Résultats**

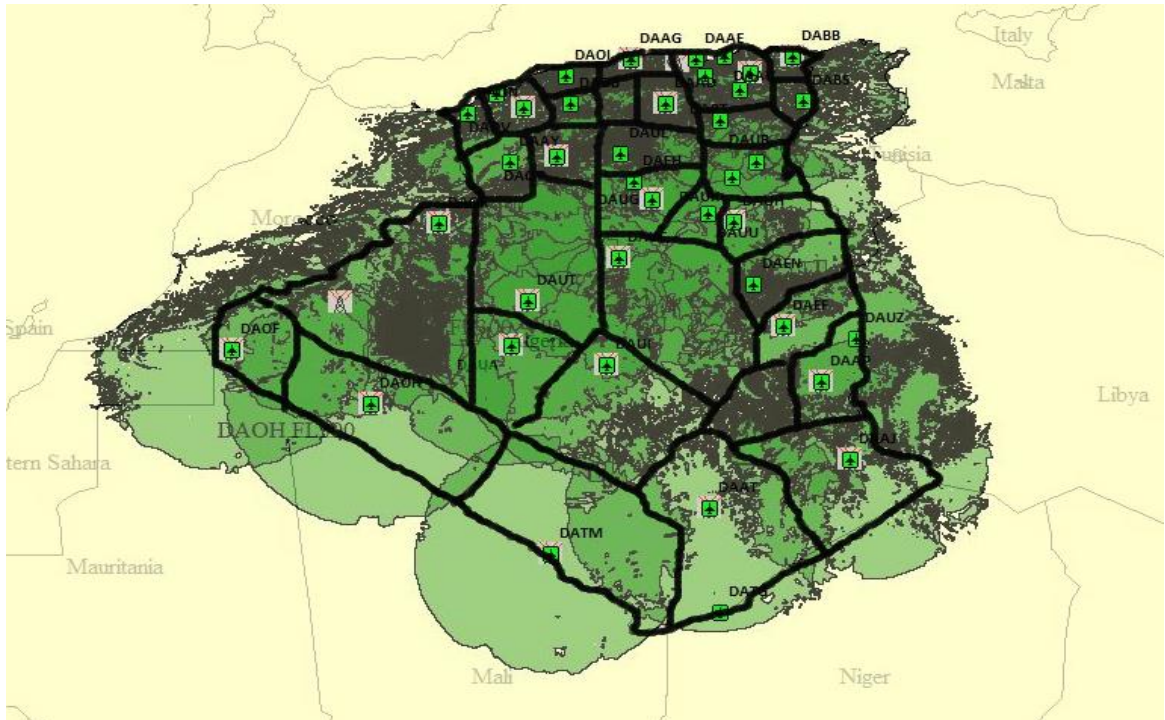


Figure III.13 FIR ALGER- TRAFIC DE LA JOURNEE DU 30.07.2019

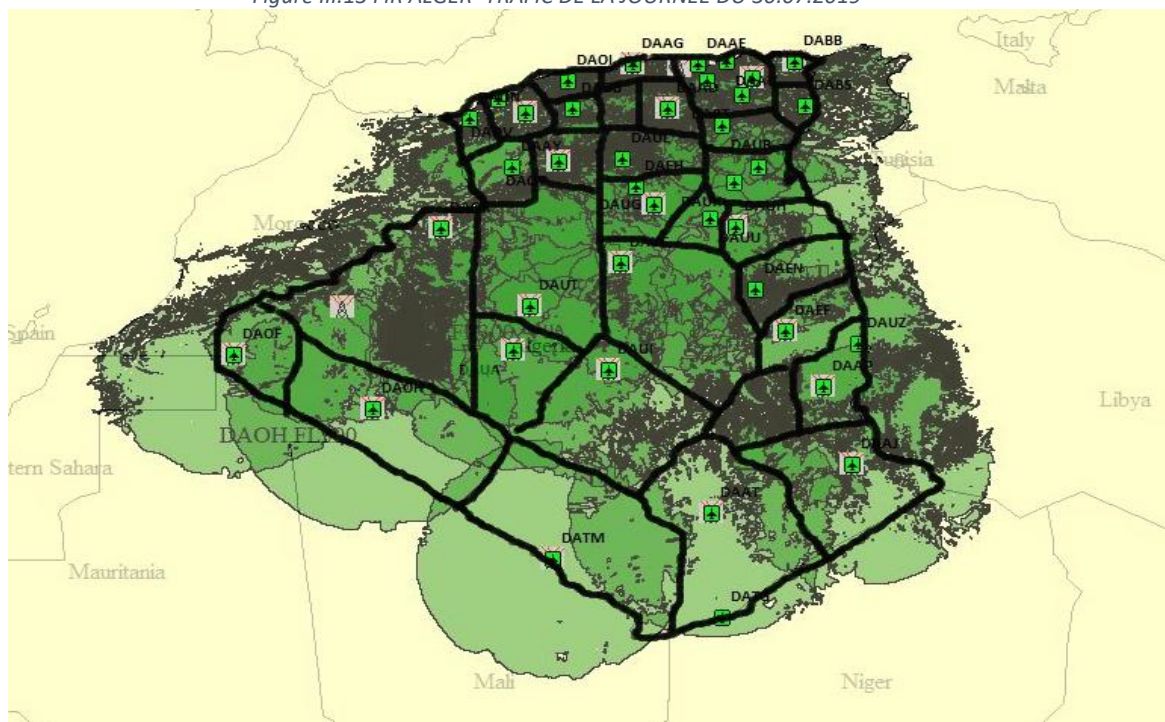


Figure III.14 POSSIBILITE DU SCHEMA D'OUVERTURE DES SECTEURS ELEMENTAIRES EN FONCTION DU TRAFIC DE LA JOURNEE DU 30.07.2019

### III.7 Perspectives

- Division des secteurs opérationnels en secteurs élémentaires en dessous du FL250, par l'autorisation de l'utilisation du FUA et le FRA au moins jusqu'au FL245 par exemple.
- Création d'une application permettant Analyse statistique de l'écart type moyen d'évolution du trafic au niveau des secteurs élémentaires, qui effectuera une aide à la prise de décision quant au choix du schéma de configuration par le chef de salle, associé à la méthode de tâtonnement précédemment citée.
- L'établissement d'un nouveau système de gestion du personnel au contrôleur permettant d'organiser le travail d'un certain nombre de brigades au moment de charge de trafic et inversement.

### Conclusion

Dans ce chapitre nous avons utilisé le logiciel GLOBAL MAPPER afin de définir les secteurs élémentaires et les contraintes quant à l'application de la sectorisation par secteurs élémentaires, ainsi que le logiciel MapInfo, grâce auquel l'ensemble du trafic aérien d'une journée a été traduit sur carte, trafic extrait et trié sur une base de données ACCESS, et ce afin de procéder au regroupement des secteurs élémentaires.

Ce chapitre sert à introduire le concept de secteurs élémentaires au niveau de la FIR Alger.



## Conclusion générale

Nous nous sommes intéressé dans ce mémoire, intitulé « **Sectorisation par secteurs élémentaires, application à la FIR Alger** » à l'introduction du concept des secteurs élémentaires à la sectorisation au niveau de l'espace aérien Algérien, à définir l'ensemble des contraintes influant sur la sectorisation dynamique en vue d'un partage plus équilibré de la charge de trafic pour chaque secteur opérationnel.

Le degré d'applicabilité de cette solution s'accroît avec le développement des moyens CNS (de communication, surveillance et navigation) et l'intérêt de la sectorisation par secteurs élémentaires est fortement lié à l'adoption de concepts comme l'FUA, DCT et FRA.

Un des principaux facteurs influant sur la capacité est le facteur humain, une bonne répartition de la charge de travail par secteur opérationnel peut augmenter l'efficacité et la sécurité dans la gestion des flux de trafic aérien.

Ce projet nous a permis d'améliorer nos connaissances dans le domaine de gestion de l'espace aérien par le centre de contrôle régional d'Alger, et plus particulièrement dans la prise de conscience de l'application opérationnel des principes théoriques et concept étudiés tout au long de notre cursus universitaire.

Nous espérons que ce travail aura été utile et trouvera, dans les meilleurs délais, une application au niveau de l'espace aérien Algérien.

## REFERENCES

- [1] [www.SIA-enna.dz](http://www.SIA-enna.dz)
- [2] Publication des informations aéronautique Algérie (AIP ALGERIE), partie généralités 3-3-1, (08 Novembre 2018).
- [3] Publication des informations aéronautique Algérie (AIP ALGERIE), partie en route 1-4-4, (25 APR 19)
- [4] Document OACI 9426, « Manuel de planification des services de la circulation aérienne », première édition -1984.
- [5] SARA BELLKHAL, mémoire <Etude de la capacité des secteurs Nord-Est au CCR Alger, septembre 2015
- [6] SARA BELLKHAL,
- [7] EUROCONTROL experimental Centre pessimist sector capacity estimator ECC note N° 12/03, projet COCA, November 2003.
- [8] Annexe 10 Télécommunication Aéronautique de l'OACI, « Service de la circulation aérienne », quinzième édition juillet 2018
- [9] Document OACI 4444, Procédures pour les services de navigation aérienne ; « Gestion du trafic aérien », quinzième édition -2007
- [10] Eurocontrol experimental center, pessimistic sector capacity estimation, EEC note N° 21/03, project COCA, issued, november 2013.
- [11] Présentation du logiciel MapInfo F. EL BCHARI 2019-2020
- [13] [www.geomatique.fr](http://www.geomatique.fr)
- [14] Carte de croisière