

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA

**Faculté de Technologie
Institut d'aéronautique et des études spatiales**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du

MASTER EN AERONAUTIQUE

Spécialité : Exploitation Aéronautique

Présenté par

AYEB HICHEM & ZAGAYE MILLOUD

METHODES D'ESTIMATION DE CAPACITE DE SECTEUR ATC

Encadré par : Mme SACI HADJER

Blida, septembre 2013

Remerciements

Louange à ALLAH le tout puissant qui nous a guidé pour l'accomplissement de ce travail, en nous donnant la santé, la force, le courage et le soutien moral. ALLAH merci pour toutes vos faveurs envers nous dans chaque moment de nos vies.

Nous tenons à remercier :

Nos parents pour leur soutien moral et financier durant les années d'étude, aucune expression ne serait jamais forte pour leurs exprimer toute notre gratitude, amour et fidélité.

Madame **SACI Hadjer**, maître assistante au département d'aéronautique Blida, pour nous avoir guidé et informé grâce à ces compétences dans nos travaux de recherche, et aussi pour avoir permis d'élaborer ce travail en tant que promotrice.

Notre co-promotrice madame **BEKKOUCHE Ryma** ingénieur en Exploitation aéronautique qui nous a guidé grâce à son expérience dans nos recherches.

Mr **BENAISSA Abdellah** ingénieur en Exploitation aéronautique qui nous a guidé beaucoup durant notre stage.

Toutes les personnes qui ont rendu ce travail possible par leurs aides, leurs contributions et leurs compétences, plus particulièrement monsieur **HAMED ABDELOUAHAB** enseignant au département d'aéronautique et ancien DG de l'aéroport HOUARI BOUMEDIEN.

Nous remercions l'ensemble de jury qui ont consacré de leurs temps pour examiner notre travail.

Finalement, un peu plus qu'un seul mot pour remercier tous ceux qui m'ont permis de mener à bien ce travail, directement, indirectement ou parfois même les deux.

Dédicaces

Je dédie ce présent travail à ceux qui s'inquiètent toujours pour moi, et qui m'ont élevé, veillé sur moi, aimé, et entouré d'affection et de tendresse, et qui m'ont soutenue durant mes années d'études, mes très chères parents.

À mon chers frère : Younes.

À mon oncle : Lehbib et ma tante Ghalia.

À tous mes cousins : Abdelfattah, Fouad, Billel.

À toute ma famille.

À mon très cher binôme Miloud, et sa famille.

À mes très chers amis et leurs familles : Toufik, Mohammed, Walid, Mohammedj, Salim, Hamza, Fouad, Amine, Zaraki et Fayçal.

À mes amis du département d'aéronautique : Aziz, Akrem, Nadjiba, Karima et Nihel.

À tous les amis: Djamal, Abdennour, Fathi, Aabed, lyass, ouadoud, Omar, Oussama et la petite Amani

À tous ceux qui me connaissent de près ou de loin.

Hichem

Dédicaces

Je dédie ce travail a :

*Ceux qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui, ceux qui m'ont vue grandir
sous leurs yeux, Mes parentes.*

Mes grands-mères.

Mon petit frère et ma petite sœur, Oussama et Aicha el Houaria

Mes oncles et mes tantes,

Mes cousins et cousines. Sofiane, Asmaa, Hlima, abd el kader et Mohamed

Mon compagnon de route Hichem, et a la famille AYEYB

La famille DJEBARI, pour leur hospitalité et leur soutien continue.

Aux familles ABD ELWAHAB, MAHDI, et BOUALEME

A Salim, Mohamed, Mahdi, Fouad, Hamza, Aabed, Nourdine, Jilali, et Lyes

Mes "unkown brothers" Mohamed serbien, Zaraki, Kader, Malek et Aziz.

A l'adorable Amani et a Nadjiba .

Miloud

المسطر على المستوى البعيد و هو : للحركة الجوية

يمكن دعمها الأمنية طرف خدمات المراقبة الجوية مجال زمني معين.

الهدف من هذا العمل هو تطوير طريقة فعالة لتقييم قدرة المجال الجوي من أجل مجابهة الاحتياجات الحالية و المستقبلية لخدمات المراقبة الجوية.

الكلمات الرئيسية: المراقبة الجوية.

Résumé : Afin de pouvoir limiter la congestion des services de contrôle et pour la planification du trafic à long terme, il est nécessaire de connaître la capacité des secteurs de contrôle de la circulation aérienne ATC, 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 les services de contrôle.

Le but de ce travail est de développer une méthode efficace pour évaluer la capacité de secteur de contrôle ATC, afin de répondre aux besoins actuels et futures demandes du système ATC.

Mots clés : capacité secteur de contrôle, charge de travail, ATC.

Abstract :

In order to limit the congestion of control services and traffic planning for long term, it is necessary to know the areas' capacity of air traffic control ATC, the ability of a control area is the maximum number of aircraft that can be supported in the best conditions of the security monitoring services.

The aim of this work is to develop an effective method to evaluate the capacity of sector ATC control, to meet current and future demand requirements of the ATC system.

Keywords : capacity control sector, workload, ATC

TABLE DES MATIERES

	page
RÉSUMÉ	
REMERCIEMENTS	
DEDICACES	
TABLES DES MATIERES	
LISTE DES ILLUSTRATION, GRAPHIQUES ET TABLEAUX	
INTRODUCTION	
I. GESTION DU TRAFIC AERIEN	
I.1 Introduction	11
I.2 Le système ATM	11
I.2.1 La régulation du trafic aérien.....	13
I.3 Les initiatives visant à améliorer la capacité de l'espace aérien	14
I.3.1 Nouvelles technologies dans la salle de contrôle	15
I.3.2 Utilisation des futurs concepts opérationnels de navigation	17
I.3.3 Nouvelles procédures de contrôle.....	18
I.4 Problème de mesure de la capacité.....	20
I.4.1 Les paramètres techniques.....	21
I.4.2 Les paramètres plus généraux	21
I.5 Conclusion	22
II. LA CROISSANCE DU TRAFIC AERIEN ET PROBLEMATIQUE DE CONGESTION DES SECTEURS DE CONTROLE EN ROUTE	
II.1 Introduction	24
II.2 Quelques éléments sur le contrôle aérien.....	25
II.2.1 la gestion et la sectorisation de l'espace aérien Algérien	26
II.2.2 Les plans de vol	27
II.3 La croissance du trafic aérien dans l'espace Algérien.....	28
II.4 La congestion des secteurs de contrôle.....	34
II.4.1 Le contrôle aérien	34
II.4.2 La congestion	36
II.4.3 L'impact de la congestion aérienne	36

II.4.4	Les solutions envisagées pour la décongestion de l'espace aérien	36
II.5	Conclusion	37
III.	CAPACITE DE L'ESPACE AERIEN	
III.1	Introduction	39
III.2	Les contraintes de calcul de la capacité	40
III.3	Le niveau acceptable de la charge de travail	43
III.3.1	Les tâches du contrôleur	43
III.4	Etat de l'art (principales études de mesures de la capacité du secteur)	45
III.4.1	Méthode DORA	45
III.4.2	Méthode MBB	46
III.4.3	Modèle de calcul de la capacité du secteur utilisé au Brésil	49
III.4.4	La méthode basée sur la charge de travail	51
III.4.5	Méthode du débit moyen	55
III.5	Conclusion	56
IV.	DEVELOPPEMENT D'UNE APPLICATION DE CALCUL DE CAPACITE DU SECTEUR ATC	
IV.1	Introduction	58
IV.2	Outil de travail	58
IV.3	Présentation du programme développé	59
IV.3.1	Les données utilisées	61
IV.4	Présentation de l'application et les fonctions utilisées	61
IV.4.1	Présentation de l'interface	62
IV.4.2	Présentation des résultats obtenus et interprétation	63
CONCLUSION		
ANNEXES		
A. LISTE DES ABREVIATIONS		
B. Organismes de contrôle en Algérie		
C. Moyens de Communication, Navigation, Surveillance actuel en Algérie		
RÉFÉRENCES		

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure II.1 : présentation du schématique de la sectorisation actuelle.....	26
Figure II.2 : L'évolution des mouvements nationaux et internationaux sur les aérodromes de l'Algérie 2008-2012	29
Figure II.3 :L'évolution des mouvements commerciaux et non commerciaux sur les aérodromes de l'Algérie de 2008-2012.....	30
Figure II.4 : L'évolution de nombre total des mouvements sur les aérodromes de l'Algérie de 2008-2012.....	31
Figure II.5 :L'évolution du trafic en route national et international en Algérie 2008-2012 ...	32
Figure II.6 : L'évolution des survols avec escale et sans escale du territoire national de 2008-2012.....	33
Figure II.7 : L'évolution du nombre total de survol au dessus de territoire Algérien de 2008-2012	34
Figure IV.1 : Organigramme de l'application	60
Figure IV.2 : interface de l'application	62
Figure IV.3 : Les résultats donnés par l'application du premier cas	63
Figure IV.4 : Les résultats donnés par l'application du deuxième cas	64
Figure IV.5 : Les résultats donnés par l'application du troisième cas	65
Tableau II.1 : Evolution des mouvements des aérodromes années 2008-2012 en Algérie...	28
Tableau II.2 : Evolution du Trafic en route de 2008 à 2012 en Algérie	31
Tableau IV.1 : Présentation des résultats obtenus par l'application	66

INTRODUCTION

La congestion du transport aérien et l'encombrement de l'espace aérien ont caractérisé les secteurs aériens ces dernières années. Il est donc nécessaire de connaître la capacité d'un secteur afin de pouvoir limiter la circulation aérienne à un niveau qui ne surchargera pas le système ou ne pénalisera pas excessivement les exploitants.

La capacité d'un secteur n'est pas constante, elle peut changer d'une journée à l'autre, cette capacité peut être définie comme le nombre maximum d'aéronefs qui peuvent être pris en charge dans les meilleures conditions de sécurité par les services de contrôle.

Plusieurs paramètres ont une influence sur la capacité de l'espace aérien, ces paramètres sont parfois mis en forme mathématique pour calculer la capacité. Une grande quantité de données est nécessaire pour calculer la capacité de secteur.

La capacité d'un secteur de circulation aérienne en route est limitée beaucoup plus par la charge de travail. La charge de travail est définie comme le montant de l'effort dépensé par le contrôleur en réponse aux exigences du système. Il existe une limite au-delà de laquelle le contrôleur en charge du secteur ne peut plus accepter de nouveaux avions, cette limite est définie comme la charge de travail «*acceptable*».

Le but de notre travail est de développer une méthode efficace pour estimer la capacité de secteur de contrôle, afin de répondre aux besoins actuels et futures demandes du système ATC.

Le mémoire est organisé en quatre chapitres comme suit :

- Chapitre I : introduction à la gestion de l'espace aérien et comment l'améliorer.
- Chapitre II : consacré à la croissance du trafic aérien et problématique de congestion des secteurs de contrôle en route.
- Chapitre III : consacré à l'étude de la capacité de l'espace aérien et des différentes méthodes utilisées pour calculer la capacité.
- Chapitre IV : présente le développement d'une application de calcul de capacité du secteur ATC.

Chapitre I

Gestion du trafic aérien

Chapitre I

Gestion du trafic aérien

I.1 Introduction

L'encombrement de l'espace aérien est l'un des problèmes majeurs que les organismes de régulation du trafic aérien (ATM, Air Traffic Management) doivent résoudre.

Comment améliorer la gestion du trafic aérien? En particulier, comment faire face, sur le long terme, à l'augmentation du trafic tout en maintenant un haut niveau de sécurité ?

Des moyens sont actuellement mis en œuvre, comme la resectorisation de l'espace pour mieux répartir les flux de trafic, l'utilisation de séparations verticales réduites entre avions, ou encore l'adaptation en temps réel de la demande (créneaux de décollage) à la capacité des centres de contrôle. Ces moyens, qui ont d'ores et déjà permis d'améliorer la gestion du trafic aérien sont d'ordre organisationnel et stratégique.

En complément, d'autres moyens d'ordre local ou tactique, sont opérationnels ou à l'étude : communication par liaison de données sol bord, assistance à la gestion des arrivées, aide à la détection de conflits. L'idée est ici d'aider le contrôleur dans son activité et plus précisément de réduire la charge de travail requise par avion. Ces moyens reposent en fait sur une répartition des tâches au sol entre le contrôleur et la machine (le système d'aide).

I.2 Le système ATM

L'ensemble des méthodes et moyens destinés à permettre l'écoulement du trafic aérien. Il regroupe les aérodromes, les moyens de navigation, de communication, de détection, l'organisation de l'espace, les procédures de contrôle, les personnels impliqués,...

Elle comprend trois services principaux [1]:

- **Services de la circulation aérienne (ATS)** sont des services qui servent au contrôle de la circulation (ATC) où la vocation principale est d'assurer le maintien d'espacements suffisants entre les aéronefs ainsi qu'entre les aéronefs sur l'aire de mouvement et les obstacles au sol pour éviter les collisions. Cet objectif de sécurité ne doit cependant pas être un obstacle à l'écoulement du trafic et doit donc s'adapter aux besoins des usagers.
- **la gestion de l'espace aérien (ASM)** dont l'objectif est de gérer au mieux la ressource rare qu'est l'espace aérien, de façon à donner satisfaction à ses nombreux usagers, civils et militaires. Ce service concerne à la fois l'utilisation de l'espace aérien (routes, zones, niveaux de vol, ...) et la façon dont il est structuré pour permettre la fourniture des services de contrôle du trafic aérien.
- **La gestion des flux de trafic aérien (ATFM)** 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. Les outils et méthodes mis en œuvre dans ce but sont de plus en plus utilisés pour 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.

La régulation des flux de trafic est un filtre tactique destiné à homogénéiser les vols qui doivent traverser l'espace aérien contrôlé : il s'agit de limiter le nombre d'appareils qui pénètrent dans un secteur donné pendant un intervalle de temps donné. Ce planning est raffiné en temps réel par les contrôleurs.

Les données du problème d'ATFM sont :

- ❖ **Les vols** : Un vol décolle d'un aéroport donné à une date donnée, suit une route prédéfinie à une vitesse fixée et atterrit sur un (autre) aéroport.
 - ❖ **Les secteurs** : L'espace aérien est divisé en secteurs de contrôle traversés par les routes suivies par les aéronefs. Un secteur est un polyèdre, en général un cylindre vertical, doté d'une *capacité* exprimée par un nombre maximum de vols entrant dans le secteur pendant un intervalle de temps donné (une heure).
-

Le découpage de l'espace aérien, c'est-à-dire le nombre et la forme des secteurs, change au cours de la journée suivant un *schéma d'ouvertures* quotidien. La capacité d'un même secteur peut elle aussi changer à des heures données.

Schéma d'ouvertures: une estimation des configurations de secteurs qui seront utilisés le jour suivant (ou celui d'après). Cette estimation tient compte du trafic prévu et des ressources disponibles (contrôleurs et positions de contrôle).

1.2.1 La régulation du trafic aérien

La croissance rapide du trafic observée au cours des années 80 a entraîné des phénomènes de congestion de l'espace difficilement gérable par le seul recours aux moyens classiques jusqu'alors utilisés, à savoir le contrôle en temps réel des avions (ATC). Rappelons que le rôle essentiel du contrôleur est de maintenir une séparation minimale entre les avions qui passent dans la portion d'espace (secteur) dont il a la responsabilité. On considère qu'il y a surcharge de trafic dans un secteur lorsque le nombre d'avions simultanément présents dans ce secteur sur une période donnée (généralement 1 heure) excède la capacité de contrôle.

La régulation des flux (ATFM) vise à traiter le problème de la surcharge de l'espace aérien en prenant des mesures en amont du processus, c'est-à-dire en intervenant alors que les avions n'ont pas encore décollé. L'objectif est de prévenir les situations de dépassement de capacité en agissant à la source, en l'occurrence au niveau des aéroports ou des zones d'entrées dans l'espace contrôlé. L'ATFM comporte trois phases qui s'enchaînent chronologiquement [2]:

- a) **Une phase stratégique (1an - 6mois)**: qui consiste à définir un schéma général d'orientation du trafic en fonction des flux ;
 - b) **Une phase pré-tactique** qui donne lieu à l'établissement de mesures de régulations déterminées en fonction des capacités de contrôle en route. Cette phase consiste à organiser une journée de trafic j , la veille ($j-1$) ou l'avant-veille ($j-2$), à partir des plans de vol déjà connus, de la capacité de contrôle que peut offrir chaque centre (effectifs présents), de la capacité des secteurs, des données des années et des semaines précédentes ;
-

- c) **Une phase tactique** dont la fonction est d'assurer le suivi en temps réel du plan de régulation défini lors de la phase pré-tactique. Cette phase consiste à organiser les différents flux en tenant compte des évènements du jour. Il s'agit plutôt de mesures d'ajustement qui prennent en compte les évènements encore mal connus la veille.

Les phases pré-tactique et tactique n'interviennent que lorsque le trafic excède la capacité de l'ATC ; l'objectif des mesures de régulations qui sont alors définies est de limiter le nombre d'avions présents sur un secteur donné, tout en assurant une fluidité optimale du trafic. Les régulations ainsi définies vont donner lieu à l'allocation de créneaux horaires pour certains vols, qui pourront ainsi décoller sans provoquer de congestion sur les secteurs, et qui par là même, éviteront des mesures de contrôle pénalisantes (mise en attente au niveau des secteurs aéroportuaires, réduction de vitesse, altération de cap, déroutement,...) [2].

- **Urgence** : ce filtre n'est censé intervenir qu'en cas de défaillance du système de contrôle [2].
- **Le filet de sauvegarde** : est un système sol d'aide au contrôle qui prédit la trajectoire de chaque avion avec un horizon temporel de quelques minutes à l'aide des positions radar passées et d'algorithmes de poursuite. En cas de conflit, il déclenche une alarme.
- **TCAS**: l'objet de ce filtre embarqué est d'éviter un abordage potentiel, lorsqu'il est trop tard pour que le contrôleur intervienne. Actuellement, le TCAS détecte les avions environnants et donne des avis de résolution coordonnés directement aux pilotes (pour le moment dans le plan vertical).

I.3 Les initiatives visant à améliorer la capacité de l'espace aérien

La demande de transport aérien devrait doubler au cours des 20 prochaines années. Le renforcement de la capacité dans le domaine aéronautique doit évoluer de pair avec la croissance rapide du trafic aérien pour lutter contre la congestion du trafic aérien.

La congestion se déclenche lorsque la demande de trafic aérien dépasse l'offre. La congestion signifie la dégradation de la qualité de service quand le nombre d'utilisateurs augmente.

La congestion dont pâtit le transport aérien a caractérisé l'espace aérien ces dernières années, était un des aspects les plus évidents de la nécessité d'améliorer la capacité des secteurs. Les retards qui se sont manifestés sur plusieurs vols ont été notamment le résultat de la congestion de l'espace aérien et des infrastructures.

Les grandes initiatives visant à améliorer la capacité de l'espace aérien concernaient l'espace aérien en route et les aéroports. L'objectif principal était d'harmoniser progressivement et intégrer la diversité des systèmes ATC, tout en maintenant la sécurité. Pour cela, différents outils ont été utilisés:

- Création des nouvelles technologies dans la salle de contrôle
- Utilisation des futurs concepts opérationnels de navigation
- Nouvelles procédures de contrôle.

1.3.1 Nouvelles technologies dans la salle de contrôle

Le contrôle aérien a d'abord été visuel, avant l'invention de la radio qui a permis au contrôle aérien d'utiliser principalement des radiocommunications VHF, et du radar pour aider à mieux connaître la position des aéronefs et de permettre des nouveaux services (services radar...).

Ces outils ont été développés afin d'améliorer l'environnement de travail du contrôleur et faciliter certaines tâches, parmi ces outils :

- a) Strips électroniques :** Quelques projets de recherche ont pour but de concevoir des systèmes de stripping électronique cherchant à préserver la qualité de l'interaction avec le papier. « DigiStrips » est un prototype qui utilise deux écrans tactiles résistifs (un par contrôleur). L'un des objectifs de ce projet était de proposer une interaction proche de celle offerte par le papier, tout en renseignant le système avec les ordres écrits. Les informations qui étaient disponibles sur les strips sont facilement introduites dans le système. Ainsi le système peut mettre à jour la situation et donner des alarmes le cas échéant. Le partage d'informations entre secteurs est possible contrairement au strip papier qui n'est lisible que par les contrôleurs de proximité [3].

b) Le Data Link : Créé initialement pour aider au contrôle du trafic au-dessus des espaces océaniques, ce système est en passe de devenir un nouvel outil capable de remplacer ou de seconder le radar et de compléter les communications vocales. Grâce à un équipement spécial à bord de l'avion, les données des calculateurs de bord (position, altitude, vitesse, météo) sont collectées, puis transmises à intervalles réguliers par satellite — au-dessus des océans — vers les équipements au sol. Une interface graphique permet de visualiser ces éléments et leur mise à jour sur un écran. Les images obtenues peuvent même être intégrées sur les écrans radar de dernière génération (moniteur graphique). Il s'agit aussi d'utiliser une messagerie électronique pour les dialogues entre pilotes et contrôleurs. Ce concept vise à augmenter la capacité de l'espace aérien et à améliorer la flexibilité opérationnelle ainsi que la sécurité globale du trafic aérien [4].

Les deux types d'application datalink introduits dans le système FANS qui permettent les services ATS sont :

- **ADS-A :** également connu sous le nom d'**ADS-C** (AutomaticDependant Surveillance Addressed/Contract) est une application utilisée pour surveiller automatiquement la position réelle de l'avion par des communications point à point. Suite à des requêtes envoyées par les contrôleurs appelées les « contrats », plusieurs informations comme la position avion, les intentions de vol, etc. sont récupérées depuis les calculateurs de bord et sont envoyées à intervalles réguliers vers le sol. Par contre, à cause des durées de mises à jour pour les informations, l'ADS-C est généralement utilisé dans le cas où le radar classique n'est pas disponible (ex : régions océaniques) [4].
- **CPDLC :** est une application qui permet les communications entre les pilotes et les contrôleurs par un système de messagerie. Ces messages sont basés sur des textes courts, instantanés avec certaines commandes (ex : monter ou descendre à tel niveau). Les messages sont codifiés et envoyés avec des procédures de bouclage qui assure l'envoi et réception des messages.

L'utilisation du CPDLC permet de désencombrer les fréquences actuelles (ex : HF, VHF) pour les communications vocales [5].

c) L'introduction d'interfaces homme-machines de plus en plus évoluées:

Interaction Homme-Machine est une discipline consacrée à la conception, la mise en œuvre et à l'évaluation de systèmes interactifs destinés à des utilisateurs humains ainsi qu'à l'étude des principaux phénomènes qui les entourent. Interface Homme-Machine *IHM* est ensemble des dispositifs matériels et logiciels qui permettent à un utilisateur de commander, contrôler, superviser un système interactif [6].

La collaboration de l'opérateur humain soit avec d'autres opérateurs ou bien avec des algorithmes avancés nécessitant des outils spécifiques et la réflexion autour du partage des rôles et responsabilités.

L'utilisation d'interactions avancées, comme le tactile, bi-manuel ou le multi-touch, et la visualisation avancée (animations, représentations graphiques) constituent un axe d'exploration pour proposer des IHM innovantes et performantes [6].

1.3.2 Utilisation des futurs concepts opérationnels de navigation

Le ciel est parcouru par de nombreuses routes aériennes permettant de desservir les aéroports. Initialement, les routes se basent sur les moyens de radionavigation (VOR/VOR-DME, etc...) et cela constitue encore la base du réseau des routes. Avec l'apparition des futurs concepts opérationnels de navigation sont la navigation de surface (RNAV) et les performances de navigation requise (RNP) soutenues par un système global de navigation par satellite (GNSS), de nouvelles possibilités sont apparues, possibilités largement exploitées pour le réseau.

a) La Navigation de surface (RNAV)

La navigation de surface (RNAV) est une Méthode de navigation permettant le vol sur n'importe quelle trajectoire voulue dans la limite de la couverture d'aides à la navigation basées au sol ou dans l'espace, ou dans les limites des possibilités d'une aide autonome, ou grâce à une combinaison de ces moyens [7].

Le system R-NAV apporte les avantages suivants:

- Navigation directe entre deux points : réduire les temps de vol en raccourcissant les distances.
- Alléger la charge de travail des contrôleurs aériens et Améliorer la flexibilité du contrôle de la circulation aérienne.
- Favoriser la sécurité et la résolution des conflits.
- Une utilisation optimale de l'espace aérien.

b) Précision de navigation requise (RNP)

Le concept RNP définit la qualité de navigation minimale à l'intérieur d'une route RNAV, et elle qualifie à la fois cette route et les aéronefs admis dans cet espace aérien. Elle le caractérise au moyen de l'expression d'une précision de navigation (le type de RNP) à respecter à l'intérieur de cet espace. Le type de RNP est lié au niveau de performance des équipements de bord des aéronefs. Exemple : Les aéronefs capables de rester au moins 95% du temps de vol à moins de 5NM de la route nominale prévue respectent une RNP5 [7].

c) Le Système Global de Navigation par Satellite (GNSS)

Le concept GNSS (Global Navigation Satellite System) regroupe les différents systèmes de positionnement par satellite de base (GPS, GLONASS, GALILEO ...). Un récepteur à bord de l'aéronef capte les signaux d'au moins quatre satellites synchrones (Horloges atomiques), un calculateur traite les différents signaux et détermine la position de l'aéronef [8].

1.3.3 Nouvelles procédures de contrôle

L'OACI a proposé des recommandations sur l'amélioration des procédures de contrôle, afin de faire face à l'évolution mondiale du trafic aérien.

a) RVSM (Minimum Réduit de Séparation verticale) :

Le but de la mise en œuvre de l'RVSM est de réduire la séparation verticale de 2000 ft à 1000 ft au-dessus du niveau de vol 290, cela permet aux usagers d'avoir six niveaux de vol supplémentaires. Ces niveaux de croisière supplémentaires permettent d'augmenter la capacité de l'espace aérien.

Les bénéfices attendus de l'application du RVSM :

- Diminuer la charge de travail des contrôleurs aériens.
- Offre des possibilités pour augmenter la capacité du trafic aérien en route
- Réduisent les conflits de trafic
- Permettent aux contrôleurs aériens de gérer plus efficacement le trafic et de mieux répondre aux demandes pour des niveaux de vols optimaux [9].

b) Radar :

L'introduction du radar dans la surveillance a permis d'améliorer la qualité de l'information de navigation. Cela signifie que les séparations minimales latérales et longitudinales entre les aéronefs peuvent être réduites en toute sécurité de celle qui était avant l'introduction du radar de sorte que le contrôleur peut gérer plus le trafic aérien dans un espace aérien donné, tout en respectant les nouvelles normes de séparations. Par exemple, l'information sur les aéronefs en approche finale sur une même piste d'un aéroport peut être de grandes qualités, telles que la distance minimale entre eux.

c) L'automatisation des systèmes de contrôle aérien :

L'automatisation du contrôle consiste à transférer à un système (totalement ou partiellement) des tâches effectuées jusqu'à présent par un opérateur humain. Tant que l'automatisation n'est pas totale, l'opérateur garde un rôle et on parlera d'assistance automatisée. L'automatisation de l'ATC peut améliorer les performances dans trois domaines :

- **La sécurité** : En éliminant les erreurs humaines ou en diminuant leur impact, par une meilleure information, des filets de sauvegarde et une certaine supervision de l'homme par la machine;
- **La capacité** : En utilisant la machine comme collaborateur de l'homme ;
- **L'efficacité de la gestion du trafic** : En réduisant les restrictions imposées aux aéronefs (routes directes, niveaux optimaux,...), par exemple la problématique actuelle de l'automatisation du contrôle de la circulation aérienne est fortement conditionnée par le concept du *Free-Flight ou avion autonome*. le *Free-Flight* a été envisagé dans le but d'alléger la charge de travail du contrôleur en s'affranchissant d'un contrôle centralisé au profit d'un contrôle embarqué, tout en utilisant des routes directes.

Quelle que soit l'évolution à venir, la manière la plus sûre d'automatiser les tâches du contrôle semble être d'offrir d'abord au contrôleur humain la possibilité de se décharger de certaines d'entre elles sur la machine. La démarche actuelle est donc de proposer des aides automatiques « intelligentes », pour la détection et la résolution de conflits, pour la surveillance et la coordination du trafic.

Ces solutions ont toutes pour objectif d'accroître la capacité du système de contrôle pour traiter un trafic en constante évolution. Cependant, compte tenu de la croissance continue de la demande du trafic aérien, ces dernières années le problème de congestion persiste.

Cet accroissement régulier de la demande du trafic aérien, non assorti avec celle de la capacité du système de contrôle, a engendré des problèmes de congestion donnant lieu à des niveaux non maîtrisés de retard.

De plus le phénomène de congestion se traduit par une harmonie espace-temps du trafic aérien dans les secteurs de contrôle [10].

I.4 Problème de mesure de la capacité :

La capacité d'un système ATS dépend de nombreux facteurs, notamment de la structure des routes ATS, de la précision de navigation des aéronefs qui utilisent l'espace aérien considéré, d'éléments liés aux conditions météorologiques et de la charge de travail

des contrôleurs. Le problème consiste à avoir un grand nombre de facteurs. Il faut mettre tout en œuvre afin d'assurer une mesure de la capacité.

Quelle sont ces paramètres et comment peut on les regrouper ?

I.4.1 Les paramètres techniques

Les paramètres techniques sont les paramètres qui sont mesurables et qui permettent d'évaluer le niveau de capacité. Il en existe trois types : l'infrastructure, les procédures et le trafic [11].

a) Pour l'infrastructure :

- Les équipement de radionavigation (VOR, DME, etc..)
- La complexité du réseau des routes et le nombre de croisement
- Nombre et répartition des SID et des STAR
- Les points d'entrées du secteur

b) Pour les procédures :

- Paramètres de séparation.
- Les méthodes de résolution des conflits par les contrôleurs.

c) Pour le trafic :

- catégories d'avions.
- Répartition des provenances et des destinations.
- La complexité du trafic.

I.4.2 Les paramètres plus généraux

Les trois groupes de paramètres (infrastructures, procédures, trafics) interagissent entre eux et dépendent de paramètres plus généraux, d'ordres politique, stratégique, humain et environnemental, qui évoluent dans le temps [11]:

- La météo : avec notamment la diminution des minima en fonction des conditions météorologiques
- Les facteurs humains : pour un pilote donné, c'est par exemple la connaissance de terrain avec ses temps de réaction aux clairances.

- Le contexte géographique local : présence ou non de relief, ce qui a un impact sur les procédures.
- La nature de l'offre de transport des compagnies aériennes.

La capacité d'un centre de contrôle se mesure par son aptitude à écouler le trafic aérien avec une sécurité maximale et dans des conditions optimales de régularité. Pour l'espace aérien, *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 les services de contrôle, en une période de temps déterminée (généralement une heure). Elle est sensé correspondre à la charge maximale qu'un contrôleur peut supporter.

Sa valeur dépend de plusieurs paramètres tels que le type de trafic à écouler (IFR, VFR, en évolution ou stable...), le personnel (nombre d'effectif, qualification...), l'organisation (procédures, les structures de route, sectorisation...), disponibilités types des moyens techniques (radar, communication, calculateurs, simulateur...), les conditions Météo etc....

I.5 Conclusion

La congestion aérienne est un problème universel, que connaissent particulièrement tous les grands aéroports et les Centres de Contrôle Régionaux. Elle se traduit par une inadéquation entre l'offre et la demande, où le nombre de vols à traiter dépasse la capacité du système de contrôle, ce qui engendre une dégradation de la qualité de service et un risque accru d'accidents. Elle se déclenche lorsque la demande dépasse l'offre dans les secteurs de contrôle en route :

- Le nombre d'aéronefs qui peuvent être contrôlés en même temps est limité, le nombre de contrôleurs disponibles etc...
- L'organisation de l'espace aérien (l'espace aérien est limité).

Chapitre II

La croissance du trafic aérien et problématique de congestion des secteurs de control en route

Chapitre II

La croissance du trafic aérien et problématique de congestion des secteurs de control en route

II.1 Introduction

Le contrôle de la circulation aérienne organise les flux de trafic afin d'assurer la sécurité des vols et d'améliorer la capacité de réseau de routes sur lequel les avions se déplacent. Suivant la nature de trafic, on distingue les trois types de contrôle suivants :

- Le contrôle d'aérodrome : gestion des phases de roulage, de décollage et d'atterrissage ;
- Le contrôle d'approche : gestion du trafic en étape préparatoire à l'atterrissage ou en post-décollage dans une zone proche d'un aérodrome ;
- Le contrôle en route : il concerne essentiellement le trafic en croisière entre les aérodromes.

Actuellement, environ 520 mouvements sont enregistrés chaque jour sur le territoire Algérien en 2012.

Pour traiter cette demande de trafic, l'espace aérien (en route) est découpé en secteurs élémentaires qui sont gérés par des contrôleurs de la navigation aérienne. La tâche des contrôleurs est d'assurer la séparation des aéronefs qui traversent leur secteur tout en assurant un écoulement efficace du trafic.

L'accroissance régulière de la demande du trafic est de 5,4% par an ces dernières années, a engendré des problèmes de congestion des secteurs aériens. Les organismes de gestion du trafic aérien se sont orientés vers une approche de réduction de la congestion, qui consiste à réguler la demande. En effet, le phénomène de congestion est une

concordance espace-temps du trafic dans les secteurs, ainsi, il est possible de réduire la congestion en séparant les aéronefs dans le temps (allocation de slots) ou dans l'espace (allocation de routes alternatives).

II.2 Quelques éléments sur le contrôle aérien

Les avions actuelles peuvent voler par (presque) tous le temps, y compris lorsque les conditions de visibilité sont telles qu'il est impossible pour le pilote de se diriger lui-même ou de voir l'extérieur pour éviter d'autres avions. Pour permettre cela, chaque état est responsable de la mise en place des services du contrôle aérien. Ce sont ces services qui vont guider les pilotes et permettre aux avions de voler sans danger.

Pour permettre aux services du contrôle aérien de faire voler les avions par tous les temps dans de parfaites conditions de sécurité, il a fallu mettre en place un certain nombre de règles et de dispositifs.

Dans le cadre des vols contrôlés, le pilote peut très bien être dans l'incapacité totale de voir quoi que ce soit hormis ces instruments.

Il se pose alors le problème de l'abordage (collision en vol). *Comment être sûr que deux avions qui volent au même temps ne vont pas se rencontrer?* Le problème est d'autant plus grave que comme ne l'avons vu :

- Les pilotes peuvent être dans l'incapacité totale de voir à l'extérieur de leurs avions ;
- Pour se guider, les avions volent de balise en balise, ce qui crée une forte concentration de trafic au-dessus de ces balises.

Ce sont les services du contrôle aérien qui ont la charge d'éviter de tels accidents.

Les avions communiquent par radio avec les contrôleurs. Les contrôleurs disposent d'informations sur les avions (principalement l'image radar). Cela leur permet de savoir quelles manœuvres les avions doivent effectuer pour s'éviter. Ils communiquent ces manœuvres aux pilotes qui doivent alors les exécuter.

II.2.1 la gestion et la sectorisation de l'espace aérien Algérien

Actuellement, l'Algérie possède un seul Centre de Contrôle en Route (CCR). Ce centre gère la totalité de l'espace aérien Algérien. L'espace aérien contrôlé est découpé en briques élémentaires : les secteurs. Chaque secteur est défini par une altitude plancher, une altitude plafond, et des frontières latérales (ou l'union de tels volumes). Un secteur est contrôlé par deux contrôleurs, le premier décide des manœuvres et qui communique avec les pilotes, le second, appelé contrôleur organique, assiste le premier contrôleur. Tous les avions qui s'y trouvent sont en liaison radio avec le premier contrôleur. Les secteurs sont affiliés à ce centre. Cela correspond au lieu où se trouve physiquement le contrôleur [12].

La répartition de l'espace aérien Algérien en secteurs est donnée par la figure (II.1).

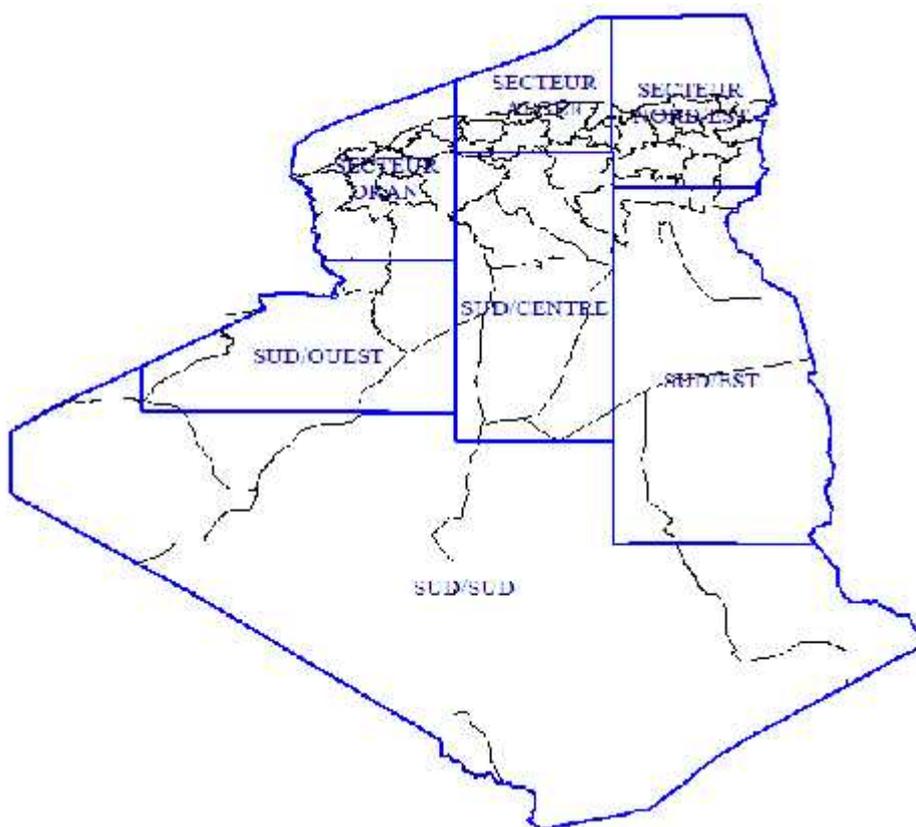


Figure II.1- Présentation schématique de la sectorisation actuelle [12].

Il n'est malheureusement pas possible pour un contrôleur de gérer simultanément plusieurs avions. A chaque secteur, un nombre appelé capacité est associé. La capacité reflète le nombre d'avions qu'il est possible de faire passer en une heure à travers le secteur. La capacité d'un secteur n'est pas une constante, elle peut changer d'une journée à l'autre, elle dépend du bon fonctionnement de tous les équipements du contrôleur, de la disponibilité de certaines routes, etc.

II.2.2 Les plans de vol

Pour aider les contrôleurs dans leur travail, les avions ne peuvent pas voler n'importe comment. Ils sont tenus de suivre certains itinéraires. Cela permet d'avoir un trafic organisé et rend beaucoup plus facile le travail du contrôleur (Sécurité).

Avant d'entreprendre son vol un avion doit communiquer des renseignements aux services du contrôle aérien. Pour cela, il doit déposer un plan de vol. Le plan de vol contient diverses informations sur l'appareil et les équipements à bord, mais aussi les informations suivantes :

- Le type de l'avion
- Les aéroports de départ et d'arrivée;
- La route suivie (c'est-à-dire une suite de points de passage) ;
- L'heure de départ prévue;
- Niveau de vol à laquelle l'avion souhaite voler.

La route suivie reprend l'ensemble des points de passage (Waypoints) au-dessus desquels l'avion va voler. Autrefois, ces points de passage étaient effectivement toujours des balises de radionavigation. Maintenant, il s'agit de points définis par leurs coordonnées géographiques et la distance et l'angle par rapport à de vraies balises. Les équipements actuels des avions permettent de positionner l'appareil par rapport à de tels points.

Le jour même, ces informations permettent aux contrôleurs d'être prévenus un peu avant le contact par radio de l'arrivée d'un avion et ainsi d'anticiper les arrivées d'aéronefs dans leurs secteurs [13].

II.3 La croissance du trafic aérien dans l'espace Algérien

Le trafic aérien en Algérie a connu ces cinq dernières années une évolution remarquable, le mouvement des aéronefs dans les aéroports Algériens a connu une croissance moyenne de 3,8%, les mouvements commerciaux internationaux en particulier ont connu une évolution constante par rapport aux autres mouvements avec une croissance moyenne de 8,8%.

Tableau II.1-Evolution des mouvements des aéroports années 2008-2012 en Algérie :

	2008	2009	2010	2011	2012
commerciaux Nationaux	56 772	65 998	61 952	63449	62081
commerciaux Internationaux	40 907	44 791	49 591	51661	55415
Total Mouvements commerciaux	97 679	110 789	111 543	115110	117 496
Mouvements non commerciaux	63 297	64 016	63 946	64 170	68 015
TOTAL GENERAL	160 976	174 805	175 489	179 280	185 511

Source : Rapport annuel de l'ENNA 2012.

Les graphes figure (II.2), figure (II.3), figure (II.4) nous montrent l'évolution des mouvements dans les aéroports Algériens depuis 2008 jusqu'à 2012.

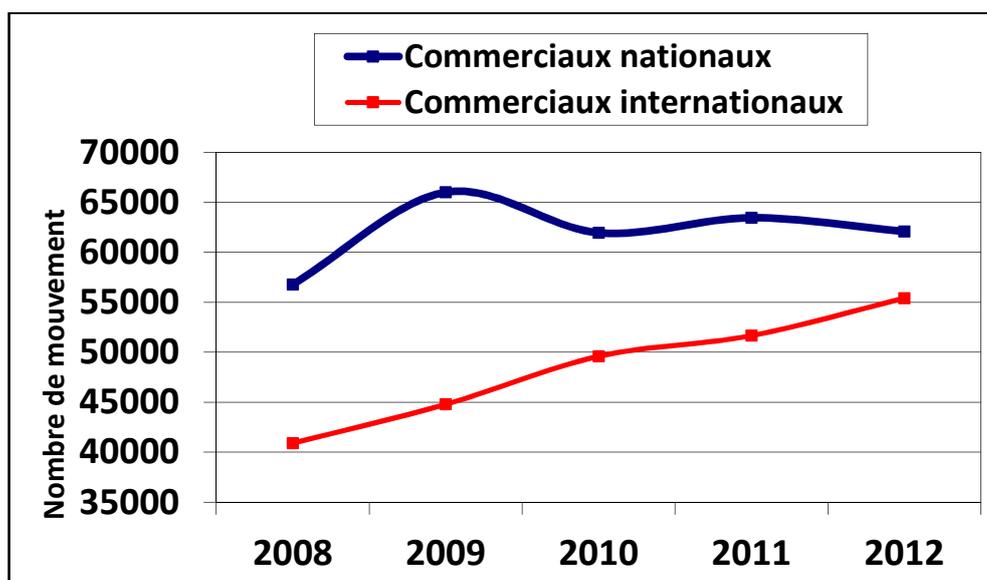


Figure II.2-L'évolution des mouvements nationaux et internationaux sur les aéroports de l'Algérie 2008-2012

Le graphe figure (II.2) nous montre l'évolution des mouvements nationaux et internationaux durant ces dernières années. Nous remarquons que les mouvements commerciaux nationaux n'ont pas connu une croissance constante, de 2008 à 2009 les mouvements nationaux ont connu une croissance positive de 16.3%, mais en 2010 les mouvements nationaux ont connu une baisse importante de 6.1% due à la crise économique mondiale. En 2011 les mouvements nationaux ont connu une reprise de croissance lente, et en 2012 on remarque une nouvelle faible baisse de trafic. Malgré la crise économique mondiale, les mouvements internationaux sur les aéroports de l'Algérie n'ont pas connue une baisse. Cela est dû à l'investissement Algérien sur le marché Asiatique telles que la Chine et la Turquie. Nous remarquons un accroissement lent mais positif durant les années 2010 et 2011 [15].

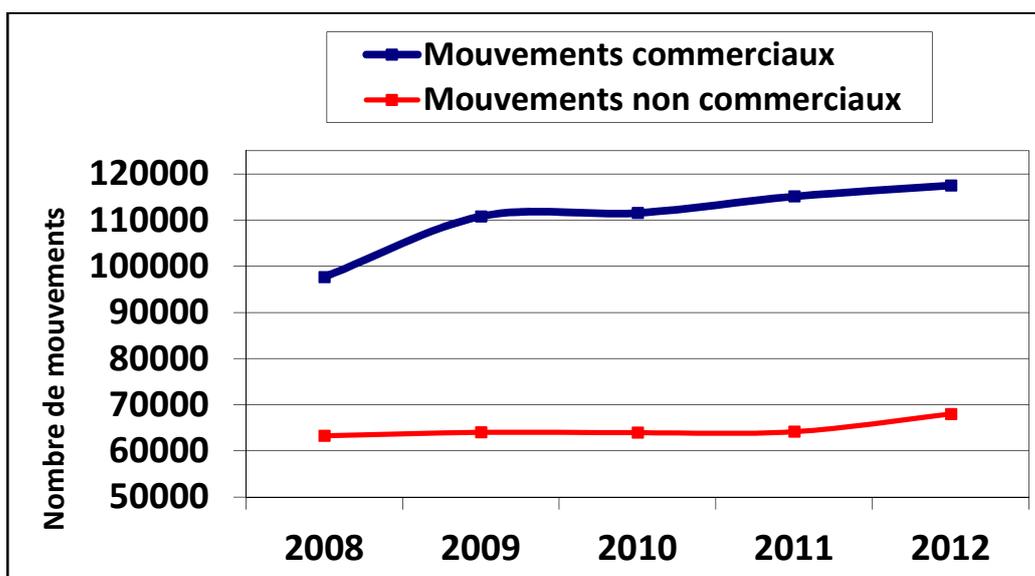


Figure II.3-L'évolution des mouvements commerciaux et non commerciaux sur les aéroports de l'Algérie de 2008-2012.

Le graphe figure (II.3) nous montre le total des mouvements commerciaux (nationaux et internationaux) et des mouvements non commerciaux de 2008 à 2012. Nous remarquons que le nombre de mouvement commerciaux sur les aéroports Algériens (117 496 mouvements en 2012) est beaucoup plus grand que le nombre des mouvements non commerciaux (68 015 mouvements en 2012). Les mouvements commerciaux ont connu une forte croissance de 2008 à 2009 d'une moyenne de 13,4% mais depuis 2010 et vue l'impact de la crise économique mondiale, il connaît une croissance presque constante. Les mouvements non commerciaux depuis 2008 à 2011 connaissent une croissance presque nulle à cause de la faiblesse relative des marchés, depuis 2011, ils ont connu une croissance remarquable de 6%.

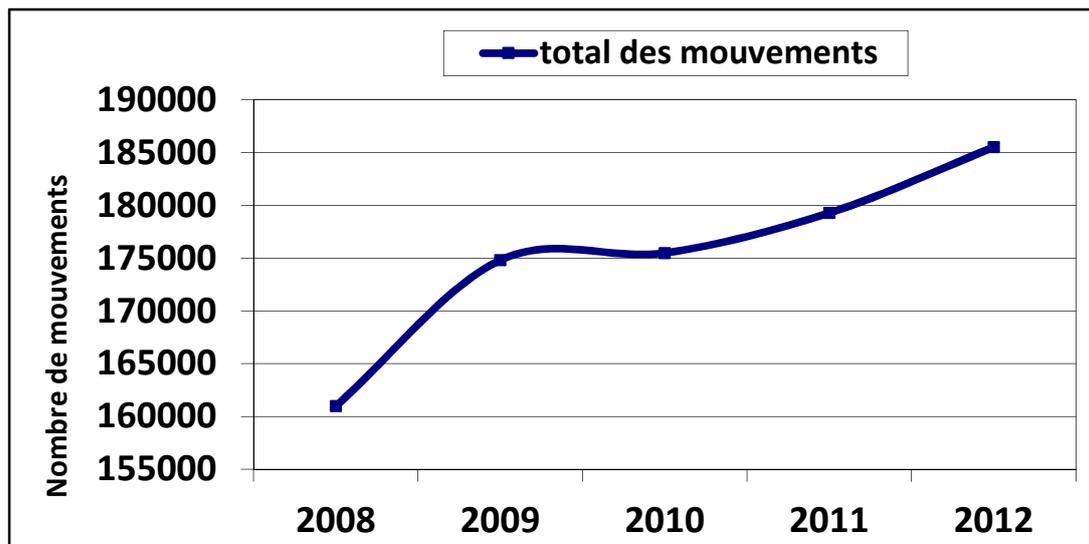


Figure II.4-L'évolution de nombre total des mouvements sur les aéroports de l'Algérie de 2008-2012

Le graphe figure (II.4) nous montre le nombre total des mouvements sur les aéroports de l'Algérie de 2008 à 2012. En général les mouvements depuis 2008 connaissent une croissance de 8.9%, avant l'impact de la crise économique et le coût du pétrole élevé qui ont diminué fortement la croissance des mouvements à une moyenne très faible 0,4%, depuis 2011 les mouvements ont repris leur croissance normale face à la reprise économique mondiale et les mesures prises par les autorités.

Tableau II.2-Evolution du Trafic en route de 2008 à 2012 en Algérie :

	Trafic en route par type				
	2008	2009	2010	2011	2012
survol avec escale					
National	63 513	66 554	63406	66 256	69170
International	47 680	52 194	57010	59 258	63057
S/Total	111 193	118 748	120 416	125 514	132 227
Survol Sans escale	57 121	58 119	64620	68 247	72116
Totaux	168 314	176 867	185 036	193 761	204 343

Source : Rapport annuel de l'ENNA 2012.

Le survol du territoire Algérien a connu lui aussi une grande croissance avec une moyenne de 5,4%, les survols internationaux avec escale et les vols sans escale ont connu une croissance constante par rapport au survol national comme nous indiquent le tableau (II.2).

Les graphes figure (II.5) figure (II.6) figure (II.7) nous montrent l'évolution du trafic en route depuis 2008 jusqu'à 2012.

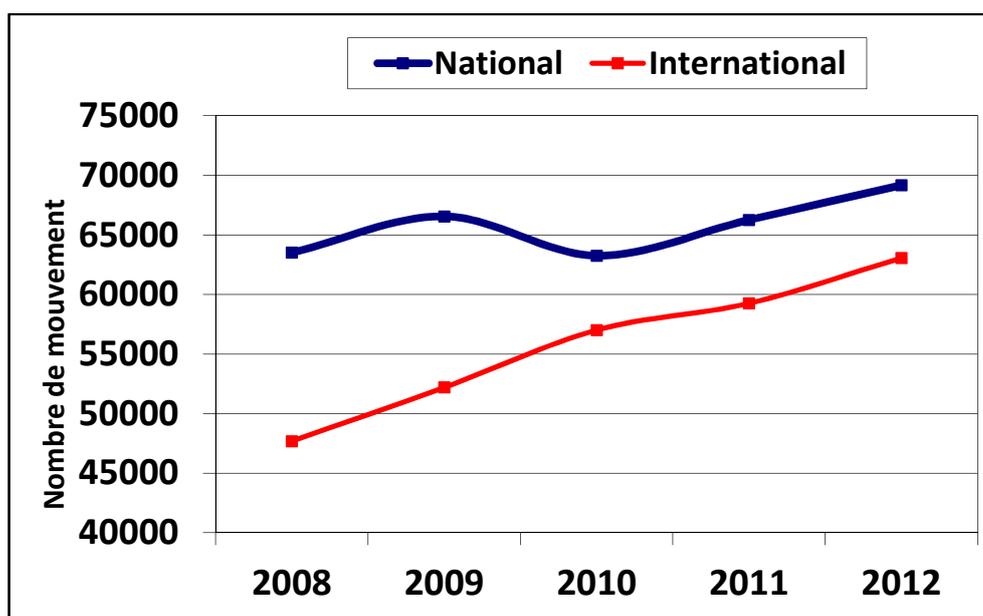


Figure II.5- L'évolution du trafic en route national et international en Algérie 2008-2012

Le graphe figure (II.5) montre l'évolution du trafic en route avec les survols nationaux et internationaux de 2008 à 2012. Nous remarquons que les survols nationaux avec escale ont connu une baisse de croissance de 4,7% durant 2009 due à la crise économique mondiale. Depuis 2010, le nombre de survols nationaux a connu une croissance constante moyenne de 4,4%. Cependant les survols internationaux ont connu une croissance continue cela revient aux mouvements politiques en Afrique et le printemps arabe (au Mali, Lybie et en Tunisie) qui a nécessité le survol du territoire Algérien pour éviter les zones de turbulence.

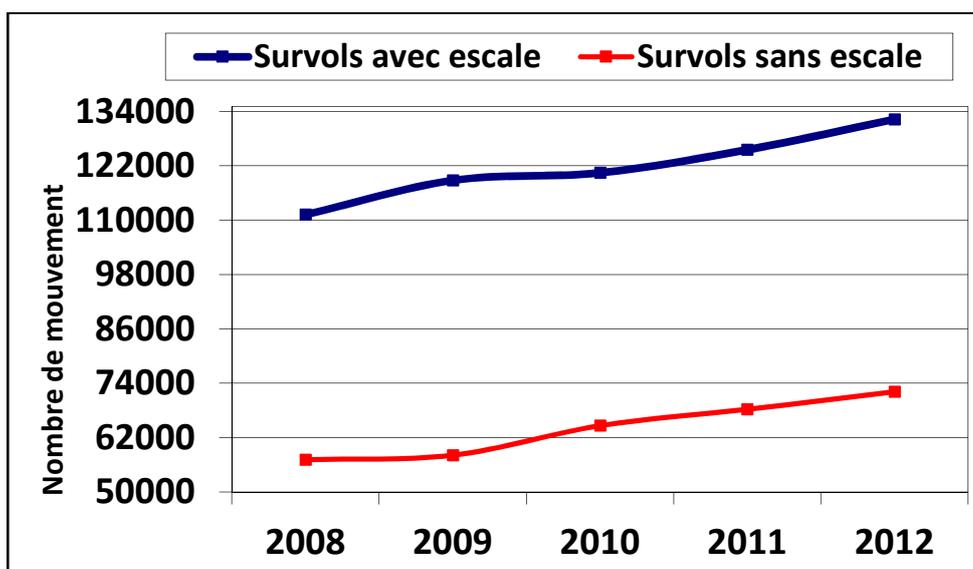


Figure II.6- L'évolution des survols avec escale et sans escale du territoire national de 2008-2012.

Le graphe Figure (II.6) nous donne l'évolution des survols avec escale et sans escale du territoire national de 2008 à 2012. Nous remarquons que le nombre des survols avec escale (132 227 survol en 2012) est plus petit par rapport aux survols sans escale (204 343 survols en 2012). Les survols avec et sans escale ont connu une croissance constante sauf dans l'année 2010 où le survol avec escale a connu une petite baisse due à la crise économique mondiale. Par contre le survol sans escale a continué avec une croissance constante due à l'utilisation de l'espace national face au mouvement politique de la région.

En général, malgré la crise économique mondiale le survol du territoire Algérien connaît un accroissement constant d'une moyenne 4,6% face à la demande du trafic, voir Figure (II.7) ci-dessus jusqu'à atteindre 204 343 survols pour l'année en 2012.

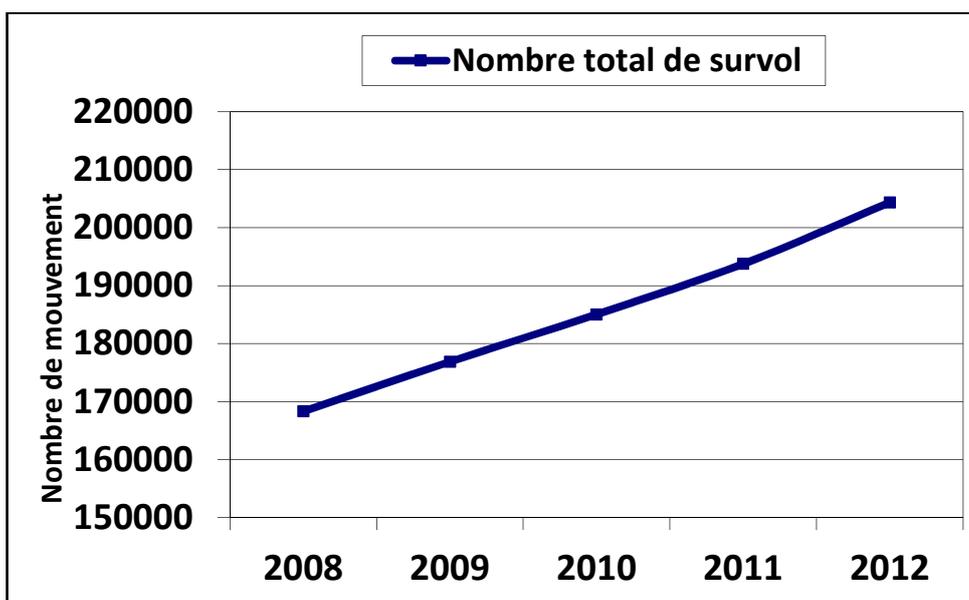


Figure II.7- L'évolution du nombre total de survol au-dessus de territoire Algérien de 2008-2012

En résumé, le trafic aérien algérien n'a pas cessé d'évoluer malgré les événements mondiaux qui ont influé sur la croissance des autres pays. Le nombre de mouvement des aéronefs continue d'augmenter de plus en plus, ce qui a conduit au phénomène de la congestion des secteurs de contrôle.

II.4 La congestion des secteurs de contrôle

II.4.1 Le contrôle aérien

Un secteur de contrôle est un domaine, limité de l'espace, qui est traversé par des routes aériennes, pour lequel une équipe de contrôleurs assure la sécurité des vols. Plus le nombre d'avions dans un secteur est important, plus la charge de contrôle induite augmente (de façon non linéaire). Il existe une limite au-delà de laquelle le contrôleur en charge du secteur ne peut plus accepter de nouveaux avions et oblige ces derniers à contourner son secteur en traversant des secteurs voisins moins chargés. On dit alors que le secteur est saturé. Cet état critique doit être évité car il provoque un phénomène cumulatif de surcharge sur les secteurs en amonts pouvant remonter jusqu'aux aéroports de départ. En effet, lorsque le trafic ne peut être dévié, il est mis en attente dans les secteurs en amonts faisant augmenter progressivement la charge de contrôle de ces

derniers jusqu'à ce qu'ils soient saturés. Le seuil au-delà duquel le secteur est saturé est très difficile à estimer car il dépend de la géométrie des routes qui le traversent, de la géométrie du secteur lui-même, de la répartition des avions sur les routes, des performances de l'équipe de contrôle, etc. Un seuil généralement admis est de 3 conflits et 15 avions dans un secteur donné. Cette charge maximum ne doit pas perdurer plus de 10 minutes car elle provoque un fort stress des contrôleurs qui risque alors de ne plus pouvoir assurer la gestion du trafic dans des conditions optimales de sécurité.

Après une enquête auprès des contrôleurs on remarque que la charge de travail dans un secteur dépend de deux types de critères:

- Critères qualitatifs;
- Critères quantitatifs.

Les critères qualitatifs : Ils regroupent essentiellement les facteurs humains dont le principal est le stress. Tous les contrôleurs ne réagissent pas de la même façon face à une situation de trafic difficile.

Le stress est directement lié aux critères quantitatifs suivants:

- Charge de monitoring (surveillance de tous les vols dans le secteur) ;
- Charge de coordination (accueil des vols dans le secteur et accompagnement lors de leur sortie du secteur) ;
- Charge de conflit (maintenir les séparations entre vols) ;

Lorsque le trafic fluctue au cours de la journée, il est possible d'adapter partiellement la capacité à la demande en effectuant des regroupements de secteurs voisins.

Comme tout système de transport, le réseau aérien subit des phénomènes de congestion que nous allons décrire maintenant.

II.4.2 La congestion

Tous les systèmes de transport sont sensibles au phénomène de congestion lié à la structure du réseau et à la confrontation d'une forte demande à une capacité limitée.

En trafic aérien, les indicateurs de congestion se traduisent par la présence simultanée de plusieurs vols dans une même portion de l'espace aérien. Cette proximité peut influencer sur la sécurité des vols et nécessite de ce fait une surveillance en temps réel des positions et séparations entre vols. Pour ce faire, des normes de séparation verticale et horizontale ont été définies, ainsi qu'un découpage de l'espace aérien en secteurs de contrôle. Il est donc nécessaire, aujourd'hui, d'optimiser la planification des vols de manière à optimiser l'utilisation des ressources de l'espace aérien et des aéroports (capacités de contrôle des secteurs et des aéroports).

II.4.3 L'impact de la congestion aérienne

La congestion aérienne se manifeste, aujourd'hui, principalement par des retards, mais elle risque, à plus long terme, de poser des problèmes de sécurité. Elle augmente les risques d'accident, réduit la mobilité et ralentit l'évolution économique. Elle est aussi une cause majeure des émissions polluantes (contribution de 2.5% du total des émissions polluantes), et compte tenu de la croissance du transport aérien, les prévisions à l'horizon 2050 porteraient la part de l'aérien à 3%.

II.4.4 Les solutions envisagées pour la décongestion de l'espace aérien

Pour décongestionner l'espace aérien, plusieurs voies sont actuellement étudiées:

- Adaptation de la capacité à la demande (construction de nouveaux aéroports et infrastructures, sectorisation, etc...);

Les services ATS chargés du contrôle de la circulation aérienne ont dû trouver des solutions pour faire face à l'augmentation du trafic aérien. En fait, la congestion se traduit par une inadéquation entre l'offre (capacité du système de contrôle) et la demande (la demande du trafic aérien), on peut ainsi résoudre le problème en agissant sur l'une ou l'autre, voir les

deux en même temps. La voie la plus naturelle pour résoudre ce problème pourrait être l'augmentation de la capacité du système de contrôle, considéré comme étant la plus limitative dans l'écoulement du trafic. Cependant, le problème de la congestion s'explique :

- Par une inadéquation entre l'offre et la demande ;
- On peut aussi tenter d'adapter le trafic aux ressources disponibles en régulant ce dernier, en changeant les cheminement des avions (rerouting) ou en appliquant des contraintes tarifaires par l'augmentation des redevances de route ou d'atterrissage aux heures de pointe pour les secteurs ou aéroports saturés ;
- En séparant l'avion dans l'espace et dans le temps. Pour ce faire il faut étudier le problème d'affectation de créneaux de décollage et de routes alternatives pour les différents vols sur une journée de trafic.

II.5 Conclusion

Les mouvements du trafic aérien en Algérie continuent leur croissance ces dernières années malgré les événements mondiaux qui ont influé sur la croissance des autres pays. Cette croissance conduit à la congestion du système de contrôle, qui provoque un fort stress des contrôleurs qui risquent alors de ne plus pouvoir assurer la gestion du trafic dans des conditions optimales de sécurité. On est donc devant l'obligation de connaître la limite où le contrôleur peut gérer son trafic de manière sûre et efficace pour réduire la congestion.

Chapitre III

Capacité de l'espace aérien

Chapitre III

Capacité de l'espace aérien

III.1 Introduction

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.

Le volume du secteur et les normes de séparation peuvent définir la capacité du secteur mais si on prend un secteur du même volume, la capacité du secteur uniquement fondée sur les normes internationales de séparation sera beaucoup plus grande que la capacité basée sur la charge de travail du contrôleur.

Alors la capacité d'un secteur de circulation aérienne en route est limitée plus par la charge de travail du contrôleur que par les normes de séparation des aéronefs ou par le volume du secteur.

La charge de travail influe donc directement sur la capacité du secteur, dans des conditions météorologiques idéales, chaque secteur en route a une certaine densité maximale de trafic que son équipe de contrôleur peut gérer en toute sécurité.

Mais la capacité du secteur est plus que l'application de la charge de travail à l'espace aérien. La capacité d'un secteur peut être définie comme les courants de trafic ou le flux de trafic généré par le secteur.

Dans ce chapitre nous poserons les questions suivantes : *Quelle sont les contraintes trouvées pour le calcul de la capacité de l'espace aérien ? Comment influent-elles sur la capacité ? Et quelle est la relation entre ces contraintes ?*

Une fois les contraintes étudiées, on passera au calcul de la capacité. Quelles sont les méthodes actuelles utilisées pour calculer la capacité ? Et quelle est la méthode qu'on peut utiliser en Algérie et pourquoi ?

III.2 Les contraintes de calcul de la capacité :

Plusieurs paramètres ont une influence sur la capacité de l'espace aérien, ces paramètres sont parfois mis en forme mathématique pour calculer la capacité, mais plusieurs contraintes s'imposent, il faut donc les étudier.

Les contraintes influentes sur la capacité d'un secteur de contrôle sont représentées comme suit :

- Contraintes géographiques (le secteur et ces caractéristiques)
- La composition de l'écoulement du trafic (flux de trafic)
- Contraintes spatiales (détermination de la distance entre 2 aéronefs)
- La charge de travail

a) Les caractéristiques du Secteur :

L'espace aérien Algérien est découpé en entités fonctionnelles (des secteurs), ce qui a permis de répartir la charge de travail sur plusieurs postes.

Un secteur est une région de l'espace délimité par des frontières géographiques (ensemble de points latitude/longitude), un plafond (une altitude maximum) et un plancher (une altitude minimum).

Un secteur peut être caractérisé par:

- **La taille du secteur** : un secteur de petite taille laisse peu de place pour croiser les avions et induit donc une complexité plus importante, ce qui aura tendance à réduire la capacité du secteur.
- **La géographie des lieux** : les reliefs influent d'une façon directe sur la définition des planchers (l'altitude minimum) et de l'élaboration des procédures de navigation, ce qui infecte directement la capacité.
- **Les zones militaires** : elles restreignent l'espace utilisable par les contrôleurs aériens civils et peuvent complexifier énormément la gestion du trafic. Il existe donc souvent des capacités définies pour un secteur selon l'activité des zones.

b) Les caractéristiques du flux de trafic :

Le flux de trafic : chaque secteur est caractérisé par des flux de trafic, le flux est le débit d'avion qui traverse le secteur dans une période de temps donnée. La nature et la densité du flux influe directement sur la capacité.

La nature des flux, les descentes et les montées, sont souvent plus délicates à gérer (plus de charge de travail du contrôleur) que des avions en palier.

La densité du flux influe elle aussi sur la capacité, plus la densité du flux est grande plus la charge de travail est importante.

Le flux de trafic peut être calculé annuellement ou saisonnièrement. Le trafic saisonnier n'est pas stable. Il change suivant les saisons (exemple les saisons estivales)

c) Contrainte spatiales :

Dans les espaces aériens contrôlés, le contrôleur aérien sépare les aéronefs volant dans un espace donné les maintenant à des distances suffisantes afin que le risque de collision soit minimisé.

Il y a deux types de séparation :

- **Séparation horizontale:** la séparation horizontale est la distance minimale qui doit être maintenue entre deux avions volants à une même altitude ou niveau de vol. Ceci est effectué en utilisant l'une des méthodes suivantes :

Longitudinalement (en espaçant les aéronefs les uns derrière les autres à une distance donnée) ou ;

Latéralement (en espaçant les aéronefs côte à côte, mais toujours en maintenant une distance donnée entre eux).

La distance minimale entre deux aéronefs volant à la même altitude ou niveau de vol est de 5NM, des séparations différentes peuvent être acceptées dans des cas et situations spécifiques 3NM sur l'axe final d'approche des terrains à forte densité de trafic.

- **Séparation verticale:** La séparation verticale est la différence d'altitude minimale nécessaire entre deux appareils volants dans une zone donnée lorsque la distance horizontale est inférieure à celle préconisée.

En d'autres termes, si un appareil se rapproche trop d'un autre, le pilote devra effectuer une séparation verticale si la distance horizontale minimale ne peut pas être maintenue, et effectuer une séparation horizontale si la séparation verticale n'est plus assurée.

La séparation verticale est effectuée en assignant des altitudes/niveaux de vols différents.

En fonction de l'espace aérien au sein duquel l'aéronef évolue, et du régime de vol, la séparation verticale minimale pourrait être 1000 ou 2000 ft.

Dans un espace non RVSM, la séparation minimale entre deux aéronefs IFR est de :

- 1000 ft pour FL<290
- 2000 ft pour FL>290

Dans un espace RVSM, la séparation minimale entre 2 aéronefs IFR est de :

- 1000 ft pour FL<410
- 2000 ft pour FL>410

d) Charge de travail :

Dans le dictionnaire, la charge de travail signifie un travail d'effort physique ou mental orienté vers la réalisation de quelque chose.

La charge de travail peut être définie comme le montant de l'effort, à la fois physique et psychologique, dépensé en réponse aux exigences du système et également en conformité avec le niveau de performance de l'opérateur.

La charge de travail est un concept multidimensionnel englobant à la fois la difficulté des tâches et l'effort physique et mental qui doit être amené à supporter, en plus d'une dimension personnelle.

La charge de travail ne peut pas être entièrement représentée par l'effort physique et mental elle implique nécessairement conscience et états mentaux qui sont perçus et évalués subjectivement [16].

III.3 Le niveau acceptable de la charge de travail

Le réglage de la charge de travail «*acceptable*» est une question de relations industrielles. Le mot «*acceptable*» dans la définition de la capacité du secteur correspond à un niveau de performance prévu de service fournie.

Si le niveau de service était fixé à un point où tous les aéronefs sous contrôle recevraient le service de luxe qui offre à chaque aéronef des marges de sécurité et d'importance très grande, la charge de travail sera faible et facilité d'exécution des tâches de travail. Le débit de trafic sera probablement trop faible en termes de besoins commerciaux, ce qui n'est pas rentable pour les compagnies aériennes.

Si le niveau de service est fixé a un point trop risqué, le trafic pourrait mettre le travail du contrôleur dans une situation inacceptable avec des difficultés à exécuter ces tâches. Avec les erreurs de sécurité, la performance générale serait très faible.

Le niveau de charge de travail acceptable correspondrait à un niveau individuel du service rendu à environ le point d'extrémité inférieure de la performance des services.

Cela représenterait un contrôleur de compétence standard, comme jugé par les gestionnaires et négocié avec les contrôleurs opérationnels.

Dans la pratique, les planificateurs ATC ne s'intéressent qu'à ces niveaux de charge de travail qui sont juste acceptables [16].

III.3.1 Les tâches du contrôleur

a) Les tâches observables :

Les tâches observables sont des tâches de routine et les tâches de résolution des conflits.

Une tâche de routine est une tâche qu'un contrôleur doit effectuer pour tous les aéronefs sous son contrôle indépendamment l'un de l'autre.

Les tâches observables sont celles qui peuvent aisément être enregistrées et chronométrées par un observateur extérieur; exemples : communications radiotéléphoniques et téléphoniques, marquage de fiches et coordination par liaisons vocales directes.

Les tâches de résolution des conflits sont des tâches supplémentaires qui doivent être effectuées si les avions sont en conflit potentiel.

Le temps à effectuer des tâches observables peut être mesuré directement [16].

b) Les tâches non observables :

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

Les tâches non observables sont celles qui sont exécutées presque de façon continue par le contrôleur très occupé, en parallèle avec les tâches observables, et qui en général ne peuvent pas être directement enregistrées ou chronométrées par l'observateur.

Ces tâches, qui comprennent le monitoring de l'écran radar, la planification des mesures ultérieures, l'analyse de la circulation, l'évitement de conditions météorologiques dangereuses, les changements de plan de vol, et les mises à jour de statut, sont toutefois critiques dans le travail du contrôleur de secteur

Les variations naturelles entre les individus doivent également être abordées. Il existe des différences bien connues entre les performances des contrôleurs individuels sur des tâches identiques

- Connaissance de la situation
- surveillance du système et la détection des erreurs
- Travail d'équipe
- Confiance
- Ergonomie et acceptation d'utilisateur
- L'erreur humaine

La nécessité de tenir compte de ces autres paramètres sert de mise en garde que la charge de travail n'est pas le seul facteur [16].

Ñ Calcul de la capacité

La relation entre ces contraintes se résume au concept de la demande du trafic et de l'offre. L'ATC offre un secteur contrôlé avec une capacité définie, mais la capacité sera jugée suffisante ou insuffisante face à la demande de trafic.

De façon inverse, pour calculer la capacité on doit alors connaître la caractéristique du secteur, le flux de trafic dans ce secteur, et la charge de travail.

La connaissance de ces facteurs nous permet alors d'estimer une capacité du secteur aérien.

La capacité d'un secteur de contrôle est le nombre maximum d'aéronefs qui peut être pris en charge dans les meilleures conditions de sécurité par les services de contrôle, en une période de temps déterminée (généralement une heure). Elle est sensée correspondre à la charge maximale qu'un contrôleur peut supporter.

III.4 Etat de l'art (principales études de mesures de la capacité du secteur)

III.4.1 Méthode DORA

C'est une méthode anglaise développée par le « Directorate of Operational Research and Analysis » de la CAA (Civil Aviation Authority). Elle se déroule en deux phases :

- Caractérisation d'un secteur.
- Calcul de chiffre de capacité.

a) Caractérisation d'un secteur

Chaque secteur possède ses propres caractéristiques. On mesure toutes les deux minutes la situation de la position du contrôleur. Cette mesure doit fournir un niveau de charge de la position complète choisi parmi quatre autres :

- A+ : saturé, aucun autre aéronef ne peut être accepté,
- A : Très chargé,
- A- : Occupé, sans difficulté particulière,
- B : Tous ce qui est en dessous d'A-.

Le niveau mesuré dépend donc d'une part de la complexité et de l'intensité du trafic, mais aussi de l'état du contrôleur.

b) Calcul de la capacité :

Si on désigne par :

- X : le % du temps passé au niveau B.

- Y : le % du temps passé au niveau A-
- Z : le % du temps passé au niveau A ou A+.

On peut relever le nombre de fois où chaque niveau a été observé ainsi que le nombre moyen d'aéronefs sous contrôle correspondant à ce niveau de charge. On se fixe un pourcentage de temps passé à une charge supérieure à un niveau donné et on cherche le taux horaire probable avec ce pourcentage : c'est le chiffre de capacité.

Initialement, cette recherche était basée sur une distribution statistique du type hypergéométrique (loi qui mesure la probabilité d'avoir une charge donnée, par exemple B, lorsqu'on examine un échantillon, en fonction des proportions X, Y et Z constatées et du temps moyen passé en fréquence). On lui préfère aujourd'hui une approche issue de la recherche opérationnelle, la théorie des files d'attente, qui permet de calculer la probabilité d'avoir n aéronefs dans le secteur en fonction d'une durée de service égale au temps moyen passé dans le secteur [17].

Les avantages de la méthode DORA sont multiples ; elle 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 leur participation active à l'élaboration d'un chiffre de capacité. En revanche, elle est très lourde et très coûteuse à mettre en œuvre car il faut mobiliser des contrôleurs pour relever l'état de la situation de l'unité de contrôle.

III.4.2 Méthode MBB :

Tout aéronef qui pénètre dans un espace contrôlé en IFR génère une certaine charge de travail pour le contrôleur qui s'occupe de cet espace. Cette charge peut être mesurée en unité de travail (Units of Work) selon le principe suivant : des aéronefs de performances comparables, ayant les mêmes intentions induisent en moyenne une quantité de travail identique.

Une échelle de ces quantités de travail a été établie dans les années 60, effectuant une recherche sur la mesure des charges de contrôle. Elle a ensuite été complétée et modifiée par MBB (Messerschmitt Bölkow Blohm) [18].

Ñ **Calcul de la capacité :**

De manière plus générale, si t est le temps de fréquence pour un aéronef, et r la proportion du temps passé à la fréquence, une UW nécessite t secondes.

Pendant une heure, un contrôleur peut traiter (à 100%)

$$\frac{3600.r}{t} \text{ UW/h}$$

Si C_i est le coefficient de complexité relevé pour n_i aéronefs de même catégorie, le nombre d'UW est pour n aéronefs :

$$\frac{\sum n_j . c_j}{N} = \sum_i P_i . C_i$$

Avec P_i la proportion d'aéronefs de complexité C_i .

La capacité d'un secteur est donc (à 100%) :

$$\frac{3600.r}{t . \sum_i P_i . C_i}$$

a) **Méthode MBB simplifiée :**

Si on appelle :

- Q : la quantité de trafic pondérée, c'est-à-dire le nombre de minutes de contrôle cumulées pour tous les aéronefs traversant le secteur, mesuré par heure,
- C_i : le coefficient de complexité de la classe de trafic i ,
- P_i : la proportion du trafic de classe i qui traverse le secteur,
- T_i : le temps moyen de vol de ce trafic

Alors la capacité N se calcule ainsi :

$$N = \frac{Q}{\sum_i C_i . P_i T_i}$$

Avec :

$Q=600$ mn ce qui est l'équivalent de 60 avions stables traversant le secteur en 10 mn, et trois classes de trafic :

- Stable : $C1=1$,
- évolutif dans la même tranche d'espace : $C2=1.24$,
- Evolutif entre deux tranches d'espace : $C3=1.62$,

La méthode MBB simplifiée induit une limitation supplémentaire qui concerne la saturation du contrôleur organique : le nombre de strips actifs ne doit pas excéder 15. Les résultats de calcul sont rassemblés sur des abaques qui sont des courbes paramétrées du type hyperbole. Cette méthode qui apparaît simple et cependant assez lourde à mettre en œuvre. En effet, il est très difficile de mesurer des temps de vol pour chaque classe de trafic.

Les coefficients dits de complexité ne tiennent pas compte des conflits de convergence mais uniquement du type d'évolution. Il n'existe pas dans cette méthode de lien entre la charge et la capacité [17].

b) Méthode MBB simplifiée affinée :

Cette méthode tient compte des situations de conflit, ce qui manquait à la MBB simplifiée. Les classes initiales (stable évolutifs dans la même couche et évolutifs inter-couches) sont conservées mais on y adjoint 3 sous classes qui correspondent aux cas de conflits, assorties des coefficients suivant :

$C1=1$; avec conflit $Ck1=2.4$

$C2=1.24$; avec conflit $Ck2=2.64$

$C3=1.62$; avec conflit $Ck3=3.02$

On détermine ensuite les pourcentages $P1, P2, P3, Pk1, Pk2, Pk3$ et les temps moyens de vol $T1, T2, T3, Tk1, Tk2, Tk3$ pour chaque catégorie.

La capacité est donnée par la formule suivante :

$$N = \frac{600}{\sum_i C_i . P_i T_i + \sum_i C_{ki} . P_{ki} T_{ki}}$$

Cette méthode qui répond au vœu d'intégrer la complexité induite par les conflits n'est facilement applicable que sur une simulation. En effet, l'étude d'un secteur en temps réel ou avec des archives pour déterminer les pourcentages et les temps de chaque catégorie, serait très lourde et très coûteuse en temps et en personnel [17].

III.4.3 Modèle de calcul de la capacité du secteur utilisé au Brésil :

Au Brésil, la capacité de contrôleur régional est estimée par l'analyse de la capacité de ses secteurs, ce qui est analytiquement obtenue en utilisant la méthodologie établie dans l'ACI 100-30, ATC Planning Staff (DECEA, 2007) [19].

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

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

Il est important que la collecte des données soit significative afin de diluer écarts temporaires et stochastiques pour représenter des valeurs fiables pour l'unité ATC.

Au Brésil, la méthode utilisée pour déterminer la capacité du secteur tient compte de la charge supportée par un contrôleur dans l'exécution de ses tâches, et elle est basée sur l'évaluation des tâches effectuées par le contrôleur en période de fort trafic, comme on le voit dans le modèle DORA.

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

- communication (transmission / réception)
- activités manuelles (remplir les fiches de progression de vol) et la coordination, et planification de la circulation et de la distribution.

La méthodologie du Brésil applique au contrôleur le concept de "coefficient de disponibilité" (ϕ), qui est défini comme le pourcentage de temps disponible pour le contrôleur pour planifier les procédures de séparation des aéronefs.

Ce facteur de disponibilité se situe normalement entre une valeur minimale de 40% du temps de contrôleur pour le contrôle non-radar, et 60% pour le contrôle radar. Il est donc clair que les efforts doivent se concentrer sur l'augmentation du facteur «disponibilité» (ϕ).

Le pourcentage représenté par ce facteur ϕ pourrait augmenter si le «Interface Homme /Machine-IHM" est améliorée, c'est-lorsque l'on augmente le niveau d'automatisation de certaines tâches [19].

Au Brésil, le nombre des aéronefs qui peuvent être contrôlés simultanément par un contrôleur (N) dans un secteur est estimé en utilisant l'équation suivante :

$$N = \phi \cdot \delta \cdot (\eta \cdot \tau m \cdot v m)^{-1}$$

Où la capacité ATC est une fonction directe ou inverse de certains facteurs :

- (ϕ) : la présence du contrôleur, défini comme le pourcentage de temps disponible pour la planification des procédures de séparation des aéronefs.
- (δ) : la distance moyenne parcourue par les aéronefs dans le secteur, qui est fonction des chemins et en route ou procédures terminales établies pour chaque secteur, les facteurs inversement proportionnels à l'ATC capacité.
- (η) : le nombre de communication pour chaque aéronef dans un secteur, qui doit être limité au nombre minimum requis pour un possible accord entre le pilote et le contrôleur. Ce nombre peut être minimisé par l'émission d'un jeu complet suffisamment à l'avance pour la planification des vols.
- (τm) : la durée de chaque message, ce facteur peut être minimisée par l'émission de messages objectivement, sans longues explications qui nuisent à la compréhension entre le pilote et le contrôleur.
- ($v m$) : la vitesse moyenne de l'avion dans le secteur.

- **Avantages de la méthode du Brésil :**

- Elle nous donne de façon globale une estimation sur la capacité du secteur.
- L'utilisation d'un modèle qui est applicable à la fois à l'aéroport et de la capacité du secteur de l'ATC.
- Il ne nécessite pas des valeurs constantes provenant de bases de données que certains Etats n'ont pas encore disponible.

III.4.4 La méthode basée sur la charge de travail :

Les attributs d'un secteur et son trafic génèrent des tâches pour le contrôleur. S'il ya j tâches distinctes, nous pourrions exprimer la charge de travail comme suit:

$$G = \sum_{j=1}^J \tau * \lambda_j$$

Ou τ_j est le temps nécessaire pour compléter une tâche j, et λ_j est le taux de son apparition. La métrique G peut alors être considérée comme «l'intensité de la charge de travail» ou la fraction du temps disponible pour le contrôleur afin d'exécuter les tâches dans le secteur occupé. Il y a une certaine valeur G_m au cours de laquelle un contrôleur se sentira mal à l'aise d'accepter le trafic supplémentaire. Ce niveau de confort maximum définit la capacité du secteur [20].

Ce modèle emploie quatre types de tâches, différentes selon les caractéristiques de leur apparition. Les quatre types de tâches sont définis comme

- tâches de fond,
- tâches de transition,
- tâches récurrentes,
- et les tâches de conflit.

a) Les tâches de fond :

Les tâches de fond se produisent sans égard au nombre d'avions dans le secteur. Elles se produisent à une moyenne de taux λ_b et exige une moyenne de temps à compléter τ_b . Les tâches de fond comprennent les activités de routine telles que la configuration d'affichage, la coordination avec les gestionnaires et les superviseurs, le maintien de zones de travail, de vérifier les performances de surveillance, et en examinant les prévisions météorologiques. Ces tâches absorbent une petite fraction de temps constante du contrôleur:

$$G = \lambda * \tau$$

b) Les tâches de transition :

Les tâches de transition se produisent chaque fois qu'un avion passe dans le secteur. Elles comprennent des tâches telles que l'acceptation, le contact initial, la familiarisation avec les informations de plan de vol, et planification d'itinéraire initial. La méthode regroupe les tâches de transition en tenant compte de leur besoin d'une moyenne de temps τ_t pour remplir ces tâches et de se produis à une moyenne des taux λ_t .

Le taux d'apparition des tâches de transition λ_t égal la moyenne des aéronefs dans le secteur $E [N]$ divisé par le temps de transit moyen dans le secteur T . Ce taux est équivalent au débit du secteur [20].

$$\lambda = E [N] / T$$

c) Les tâches récurrentes :

Les tâches récurrentes se produisent à plusieurs reprises pour chaque avion qui reste dans le secteur. Ces tâches exigent une moyenne de temps r pour les terminer. Ils se reproduisent à une moyenne de r , où

$$\lambda = E [N] / P$$

Ici P est la période de récurrence de la tâche moyenne par avion. Les tâches récurrentes comprennent des activités telles que l'analyse de la circulation, l'espace aérien restreint et l'évitement de conditions météorologiques dangereuses, les changements de plan de vol, et les mises à jour de statut. Ces tâches récurrentes comprennent également des activités

destinées à prévenir les conflits, comme la surveillance de la conformité et de la planification de séparation [20].

d) Les tâches des conflits :

Les tâches de conflit se produisent quand il y a des conflits entre deux avions. (Bien que les conflits entre trois appareils ou plus sont une préoccupation majeure pour les contrôleurs, cette préoccupation est généralement déclenchée par un conflit paire. Le taux de conflit multi-avion est trop faible par rapport au taux de conflit paire de nécessiter un traitement distinct).

Les tâches de conflit incluent des activités telles que la détection des conflits, vectorisation pour la résolution des conflits, l'examen de rencontres secondaires, et la récupération de l'itinéraire post-conflit. Les tâches de conflit sont regroupées en considérant qu'elles nécessitent une moyenne de temps τ_c pour les remplir et de se produire à une moyenne des taux λ_c .

Pour un secteur avec un nombre d'aéronefs N_s , le taux de conflit varie comme le carré de N_s multiplié par B divisé par le volume du secteur Q .

$$\lambda = (B N^2) / Q$$

Dans cette équation, B est une constante physique sur la base de la vitesse de fermeture de l'aéronef et des normes de séparation.

$$B = \frac{2 M_h M_v}{E[V^2]}$$

Où M_h et M_v sont les distances horizontales et verticales qui définissent une violation de la séparation, et $E[V^2]$ est la valeur attendue de la vitesse de fermeture.

Si la densité de la circulation volumétrique locale est κ ,

$$\kappa = E[N]$$

L'Hypothèse de Poisson donne un taux moyen de conflit :

$$\lambda = B (\kappa + 1)$$

e) La charge de travail totale :

L'intensité G est la fraction de temps disponible du contrôleur consacré à chacun de ces quatre types de tâches :

$$G = (\tau \lambda) + (\tau \lambda) + (\tau \lambda) + (\tau \lambda)$$

Cela s'élargit à:

$$G = G + (\tau (\kappa / T)) + (\tau (\kappa / P)) + (\tau B (\kappa + 1))$$

On calcule les termes liés à la vitesse (τ , B et Q) directement à partir de la géométrie du secteur et les paramètres de trafic. Les valeurs (G_b , t , r , P et c) sont tous empiriques.

L'addition de fond, la transition, récurrent, et des tâches de conflit atteignent une limite de confort G_m nominale de 80%. Lorsque G égale à 80% du temps total disponible, les contrôleurs déclarent que le secteur avait atteint sa charge maximale G_m [20].

f) Avantage :

- Contrairement aux modèles de simulation, cette approche analytique extrapole facilement une gamme de conditions. Ce modèle analytique permet de quantifier l'impact de la charge de travail de la géométrie du secteur, le sens d'écoulement, et les conflits air-air.
- Ce modèle a d'importantes applications opérationnelles potentielles. Il pourrait soutenir une estimation en temps réel de l'évolution des capacités de conception, lorsque le trafic doit détourner de routes nominales et il pourrait permettre une estimation en temps réel de la capacité de l'espace aérien résiduel lorsque le temps bloque partiellement un secteur.
- Ce modèle montre les relations opérationnelles entre le volume du secteur et de l'efficacité du contrôleur (charge de travail).
- Introduction et l'estimation de la tâche de résolution des conflits qui n'était pas traité auparavant.

III.4.5 Méthode du débit moyen

Elle se base sur la connaissance de deux facteurs moyens :

- la charge moyenne de trafic instantané acceptable sur une unité de contrôle (vols en contact + vols coordonnés).
- Le temps moyen de présence sur une unité de contrôle.

Elle se détermine ainsi :

$$capacité = \frac{\text{nombre d'aéronefs en compte}}{\text{Temps moyen de présence}}$$

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 pointes de charge, malgré les efforts de régulation. C'est un nombre moyen qui doit pouvoir s'appliquer à tous les secteurs, il relève d'un consensus au sein du centre et semble donné satisfaction par des calculs à priori qui seront ensuite validés 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 pointes 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 [17].

III.5 Conclusion :

L'étude des contraintes qui influent sur la capacité en route nous permet de définir les paramètres qui influent sur le calcul de la capacité. C'est paramètres sont mis en forme mathématique pour permettre une estimation de la capacité en route. Il existe de nombreuses méthodes pour calculer la capacité en route, on remarque dans les différents méthodes que la charge de travail du contrôleur de la circulation aérienne est un paramètre important dans ces modèles. Par conséquent, une meilleure connaissance des facteurs de charge de travail et leurs implications offriront un ajustement opérationnel plus appropriée des services offerts pour répondre à la demande.

Le model basé sur la charge de travail est la méthode que nous allons appliquer, elle regroupe toutes les contraintes du calcul de la capacité et elle nous permet de connaître la relation entre ces contraintes.

Chapitre IV

Développement d'une application de calcul de capacité du secteur ATC

Chapitre IV

Développement d'une application de calcul de capacité du secteur ATC

IV.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de présenter une application développée pour le calcul de la capacité des secteurs de contrôle, dans le but d'estimer le nombre d'aéronefs qu'un contrôleur peut contrôler simultanément suivant une méthode de calcul basée sur la charge de travail du contrôleur, et de calculer la capacité maximale du secteur. En introduisant les données du volume de trafic en (NM³), le temps moyen de transit (sec) et les séparations horizontale et verticale, et enfin d'interpréter les résultats obtenus par l'application.

- **Stage pratique :**

Nous avons effectué un stage au sein de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA) situé à Dar El Beida (ALGER). Au cours de ce stage nous avons pu voir les différents centres de contrôles et les services qui se trouvent au sein de l'ENNA, et surtout, nous avons eu l'opportunité de voir les contrôleurs sur leurs lieux de travail pour enrichir nos connaissances à propos du contrôle aérien Algérien et la TMA Alger.

IV.2 Outil de travail :

Notre programme a été développé sous l'environnement Windows, à l'aide de l'outil de programmation Matlab de la version 7.8.0 (R2009a), qui est un environnement informatique conçu, pour le calcul matriciel. L'élément de base est une matrice dont la dimension n'a pas à être fixée. Matlab est un outil puissant, qui permet la résolution de nombreux problèmes en beaucoup moins, de temps. Les compléments d'informations peuvent être facilement obtenus, grâce à l'aide en ligne. Matlab s'élargit sur la librairie des fonctions mathématiques, l'environnement graphique, ainsi que sur une interface de développement.

L'implémentation de notre programme a été réalisé grâce à, un PC portable Intel (R) Pentium (R) CPU B950 @ 2.10 GHz 2.10 GHz et, d'une capacité de mémoire vive «2GB RAM».

IV.3 Présentation du programme développé :

Le programme que nous avons développé a pour objectif d'estimer le nombre d'aéronefs qui peuvent être contrôlés simultanément dans un secteur spécifié, et calculer la capacité maximale du secteur. L'obtention des résultats est faite par les étapes suivantes :

- Introduire les données du volume du secteur et temps de transit moyen.
- Introduire les données de séparations horizontale et verticale du secteur.
- Les applications des algorithmes de calcul de la méthode de charge de travail se font par une simulation du nombre d'aéronefs.
- Le traçage du graphe qui présente la charge de travail par rapport au nombre d'aéronefs.
- calculer le nombre maximal d'aéronefs que le contrôleur peut contrôler simultanément.

La figure (IV.1) présente le diagramme de l'algorithme de notre application.

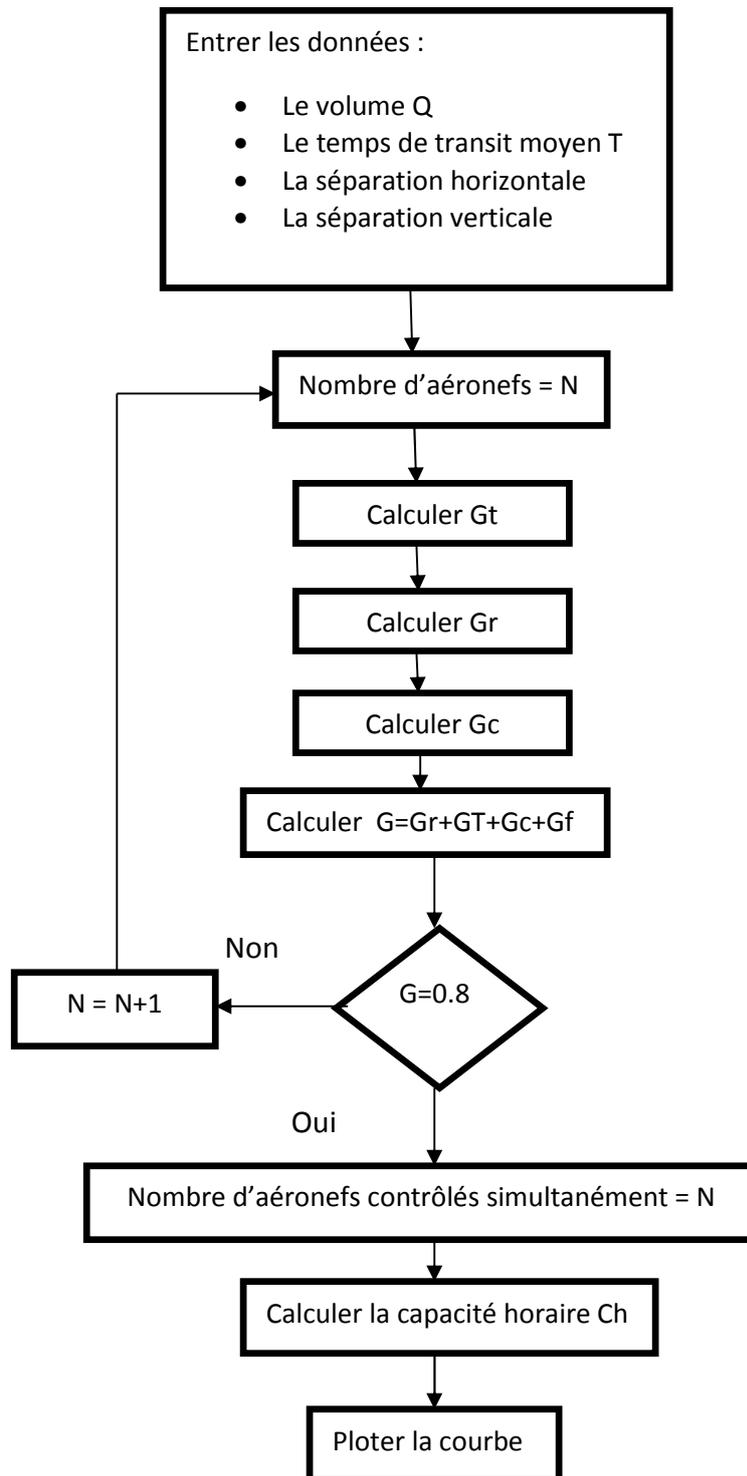


Figure IV.1- Organigramme de l'application

IV.3.1 Les données utilisées :

Les données utilisées sont les volumes des secteurs (Q) et le temps de transit moyen (T) du secteur.

Les séparations horizontales sont de 7NM et les séparations verticales est de 1000ft (0.165 NM).

La méthode de calcul de capacité basée sur la charge de travail suggère une τ moyenne de 50s d'activité agréée pour chaque événement de conflit, une τ de transition de 15s et un temps de récurrence τ_r de 2s [20].

La vitesse de fermeture de rencontre moyenne $E[V_{12}] = 440kt$ est basé sur une hypothèse de deux courants de circulation opposés situés au hasard, tous les aéronefs volant à une vitesse commune de 550kt, avec 72% des avions volant dans une direction et 28% dans l'autre [20].

IV.4 Présentation de l'application et les fonctions utilisées :

Pour dérouler notre programme nous avons introduit plusieurs valeurs de volume (de 5000 NM^3 à 40000 NM^3) pour une hauteur moyenne de (10000 ft) par secteur.

Nous avons calculé la moyenne de transit T suivant l'équation (1) :

$$T = ((E \cdot Q) / H)^{1/2} / 550 k \quad (1)$$

Avec Q est le volume du secteur; H est la hauteur du secteur; et E est un ratio de la longueur par rapport à la largeur E (est de 1:1 si le secteur est carré) 2:1 et 4:1 si le secteur est (rectangulaire)). T_1 est calculé pour un volume Q en supposant que le secteur carré avec un ratio $E = 1$, T_2 est calculé pour un secteur de volume Q de forme rectangulaire de ratio $E = 2$, et les T_3 sont calculés pour un secteur rectangulaire d'un ratio $E = 4$ [20].

Le nombre d'aéronefs contrôlés par heure est donné par l'équation (2) :

$$Ch = k \cdot Q / T \quad (2)$$

Ou k est la densité du secteur (nombre d'aéronefs / NM^3); Q est le volume du secteur (NM^3); T est le temps moyen de transit du secteur [21].

Les résultats que nous avons obtenu à l'aide de notre application, montrent le nombre d'aéronefs qui peuvent être contrôlé simultanément par le contrôleur et la capacité horaire pour les différentes valeurs de volume Q et les trois propositions de T ($T_1 T_2 T_3$) le temps de transit moyen calculé.

- T_1 pour un secteur de forme carré
- T_2 pour un secteur de forme rectangulaire
- T_3 pour un secteur de forme rectangulaire/rectangulaire

IV.4.1 Présentation de l'interface:

La Figure IV.2 présente l'interface de notre application:

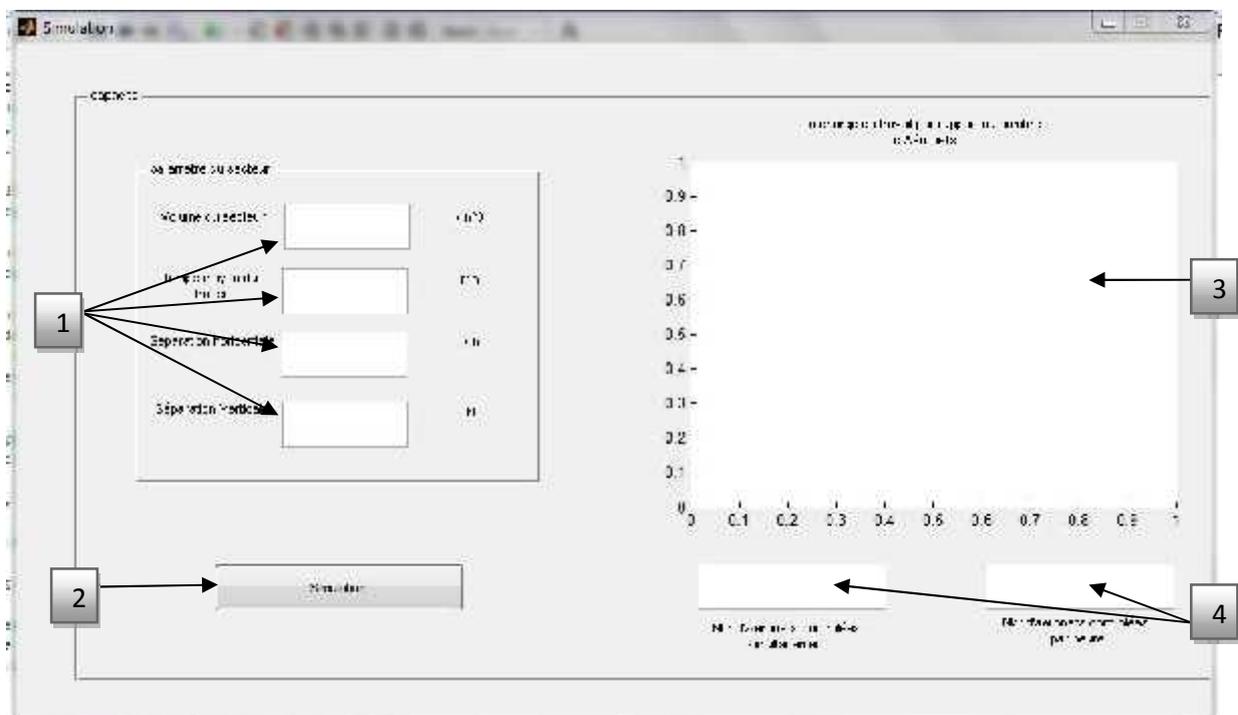


Figure VI.2 : Interface de l'application

- **1** : entrée des données de : volume du secteur, temps de transit moyen et les séparations horizontale et verticale.
- **2** : le bouton simulation permet de lancer la simulation et les calculs de l'algorithme.
- **3** : zone d'affichage de graphe de la charge de travail du contrôleur par rapport aux nombres d'aéronefs.

- 4 : zones d'affichage de résultats obtenus de l'application.

IV.4.2 Présentation des résultats obtenus et interprétation

a) Premier cas :

Nous avons pris un secteur de forme carrée de volume 5000NM^3 , nous avons calculé le temps de transit T_1 . Après avoir entré les données nous avons obtenue les résultats présenter dans la FIGURE

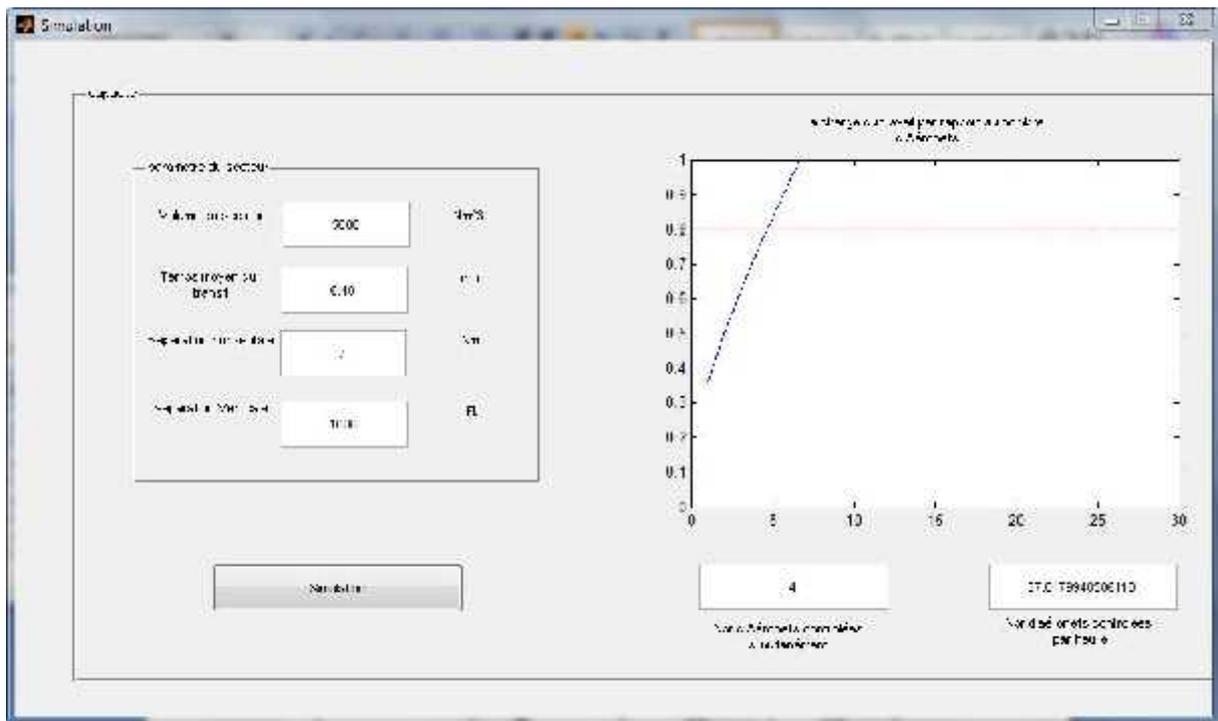


Figure IV.3 : Les résultats donnés par l'application du premier cas

Nous remarquons que dans ce secteur le contrôleur ne peut supporter que 4 avions simultanément, mais peut gérer 37 avions par heure. Le temps de transit de ce secteur (389 seconds) est très petit, il permet aux avions de libérer le secteur rapidement pour permettre aux autres avions de passer par le secteur, ce qui explique la capacité de 37 avions.

b) Deuxième cas:

Nous avons pris un secteur (rectangulaire/rectangulaire) la longueur égale quatre fois la largeur, d'un volume de 10000NM^3 et d'un temps de transit de 1100sec. Nous avons obtenu les résultats par notre application comme le montre la figure (IV.4)

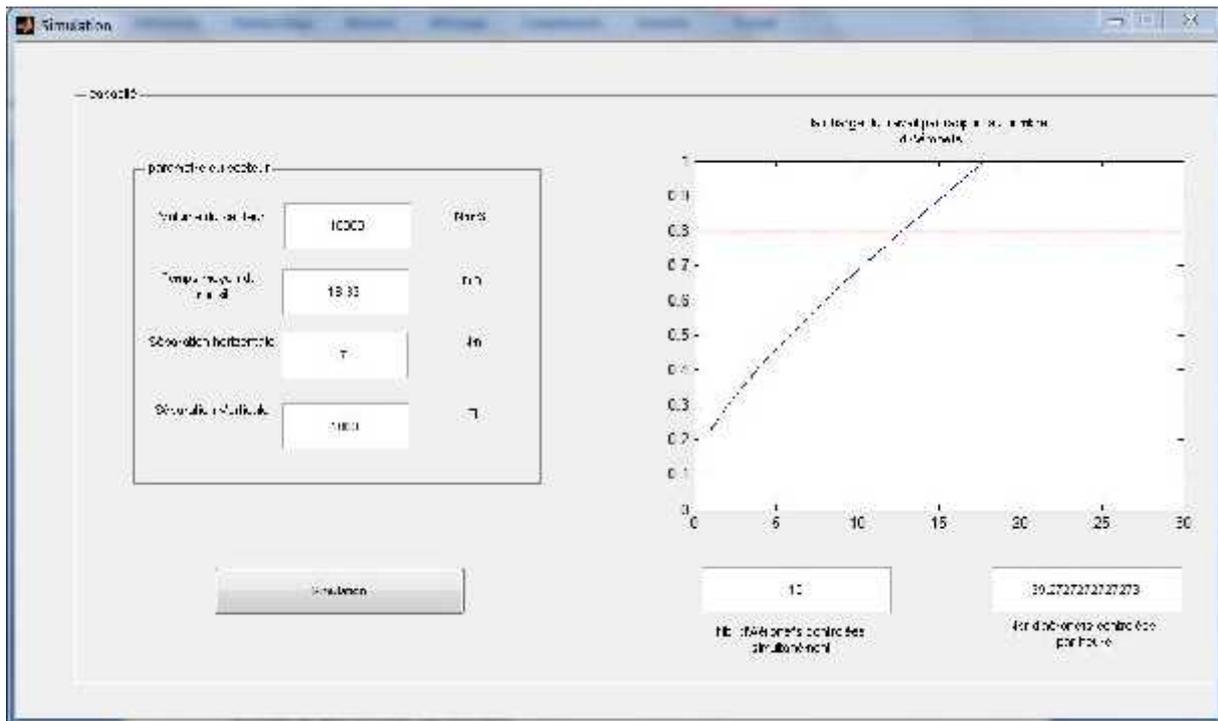


Figure IV.4 Les résultats donnés par l'application du deuxième cas

Nous remarquons que dans ce secteur, le contrôleur peut contrôler jusqu'à 12 avions simultanément, avec un temps de transit de 1100sec la charge de transition diminue ce qui permet au contrôleur de contrôler plusieurs avions simultanément. La capacité horaire est de 39 avions, ça s'explique par le grand temps de transit (18min) qui implique que les avions occupent le secteur pour une plus grande durée de temps et ne permet pas d'accepter plus d'avions.

c) Troisième cas:

Nous avons pris un secteur rectangulaire avec un volume de 15000NM³ et un temps de transit de 953 seconds (15 minutes). Nous avons obtenu les résultats par notre application comme le montre la figure (IV.5)

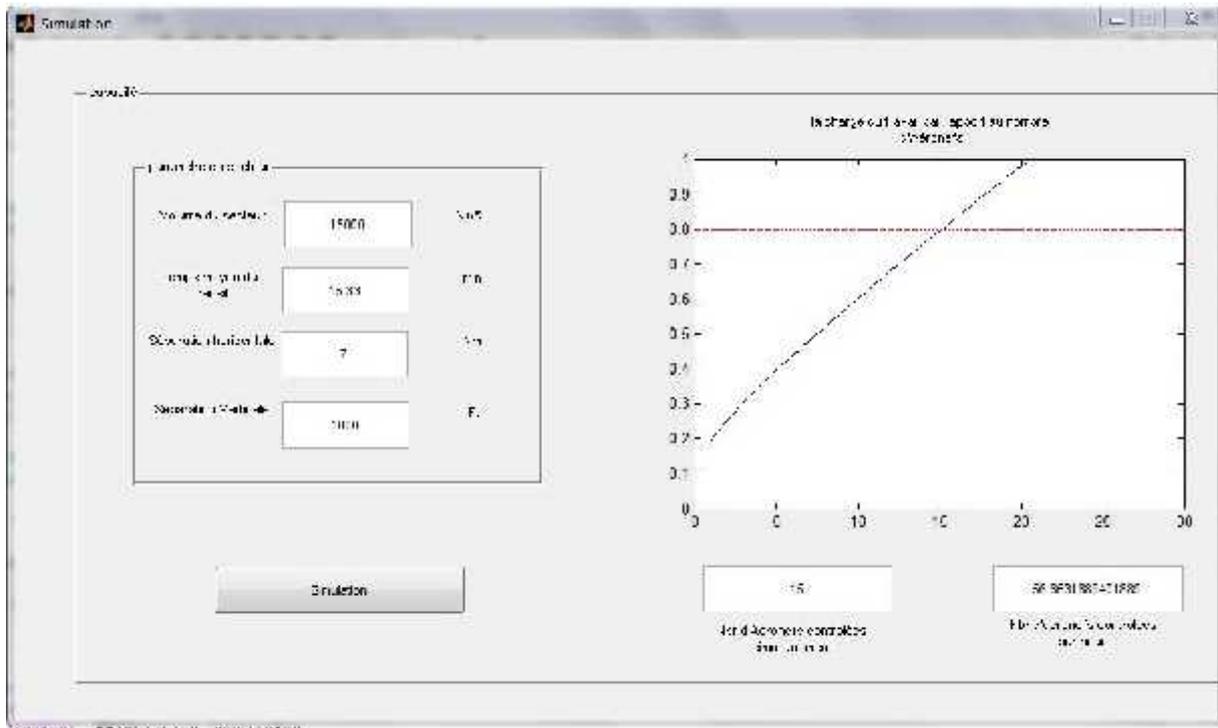


Figure IV.5- Les résultats donnés par l'application du troisième cas

Les résultats nous montrent que le contrôleur peut prendre en charge 15 aéronefs simultanément, avec une capacité horaire de 56 aéronefs. Nous avons remarqué qu'un secteur rectangulaire nous donne le meilleur rapport entre les aéronefs qui peuvent être contrôlé simultanément et la capacité horaire.

Tableau IV.1-Présentation des résultats obtenus par l'application

Volume (NM ³)	Temps de transit (sec)	Nbr d'aéronefs contrôlés	Nbr Aéronefs par Heure
Q ₁ =5000	T ₁ =389	4	37
	T ₂ =550	5	32
	T ₃ =778	6	27
Q ₂ =10000	T ₁ =550	9	58
	T ₂ =778	10	46
	T ₃ =1100	12	39
Q ₃ =15000	T ₁ =674	12	64
	T ₂ =953	15	56
	T ₃ =1347	17	45
Q ₄ =20000	T ₁ =778	15	69
	T ₂ =1100	18	58
	T ₃ =1555	21	48
Q ₅ =25000	T ₁ =869	17	70
	T ₂ =1229	20	58
	T ₃ =1739	24	49
Q ₆ =30000	T ₁ =952	19	71
	T ₂ =1347	23	61
	T ₃ =1905	26	49
Q ₇ =35000	T ₁ =1029	20	69
	T ₂ =1455	24	59
	T ₃ =2057	28	49
Q ₈ =40000	T ₁ =1100	22	72
	T ₂ =1555	26	60
	T ₃ =2200	30	49

La lecture de ce tableau nous a beaucoup aidé à comprendre la relation entre la capacité du secteur avec le volume et le temps moyen de transit et de la charge de travail avec la capacité totale du secteur ainsi avec les autres composants comme le volume du secteur et le temps de transit moyen.

Nous avons remarqué que la charge de travail est inversement proportionnelle à la durée moyenne de transit à travers le secteur, plus l'aéronef reste sur le secteur plus la charge de transit diminue, ce qui donne au contrôleur une possibilité de gérer plus d'aéronefs simultanément.

Les variations de géométrie de secteur sont responsables de la variation observée dans les valeurs du temps de transit. Un secteur rectangulaire permet au contrôleur de gérer plus d'aéronefs simultanément qu'un secteur carré; exemple (un secteur de volume $Q_4=20000$ de la forme carré (temps de transit T_1) permet au contrôleur de contrôler seulement 15 aéronefs simultanément par rapport au secteur de forme rectangulaire de temps de transit (T_3) qui lui permet de contrôler 21 aéronefs.

Plus le contrôleur contrôle un nombre élevé d'aéronefs plus la capacité du secteur diminue. La capacité du secteur est donc inversement proportionnelle au nombre maximum d'aéronefs que le contrôleur peut gérer simultanément.

Plus le temps de transit moyen est petit, plus la capacité du secteur est grande, cela est due au temps d'occupation du secteur.

Les grands secteurs ne peuvent pas supporter des densités de trafic k de pointe aussi élevées que les petits secteurs, la capacité des grands secteurs diminue face à la grande densité de trafic par contre les petits secteurs peuvent gérer de fortes densités de trafic. Nous avons remarqué que les petits secteurs (de 5000 à 15000 NM^3) peuvent gérer une densité toujours supérieure à 0.001 aéronef par heure. Les grands secteurs peuvent gérer des densités inférieures à 0.001 aéronef par heure.

Conclusion

Dans ce projet, nous avons étudié le problème de calcul de la capacité des secteurs en route. Nous avons définie le problème, étudié ces contraintes et nous avons vue les améliorations visant à augmenter la capacité des secteurs de contrôle en route.

Nous avons étudié les différentes méthodes utilisées pour estimer la capacité (méthode DORA, MBB, la méthode utilisée au Brésil...). La méthode basée sur la charge de travail regroupe tous les paramètres qui peuvent influencer sur la capacité (le volume du secteur, le flux de trafic, les séparations et la charge de travail).

Nous avons développé une application qui nous donne une estimation de la capacité basée sur la méthode basé sur la charge de travail.

L'application que nous avons développé sous environnement Matlab nous a permis d'avoir une estimation du nombre d'aéronefs qui peuvent être contrôlés simultanément par un contrôleur, ce nombre est directement lié à la charge de travail.

L'application nous permet d'avoir une estimation de la capacité en route (nombre d'aéronefs par heure), la capacité d'un secteur est liée par le nombre d'aéronefs qui peuvent être contrôlés simultanément et par la structure du secteur.

Nous recommandons que l'ENNA utilise la méthode de calcul de la capacité basée sur la charge de travail pour les raisons suivantes:

- La formation standard pour les experts de l'ENNA pour l'application de cette méthode.
- L'utilisation d'un modèle qui est applicable au secteur de l'ATC de l'Algérie.
- La méthode est à faible coût.
- Elle ne nécessite pas des valeurs constantes provenant de bases de données que ne sont pas encore disponibles.
- L'expérience pratique sur l'utilisation du modèle peut être acquise immédiatement, entraînant:
 - ✓ la création d'une base de données standard à des fins statistiques.
 - ✓ l'évaluation des faiblesses du modèle.

ANNEXE A
LISTE DES ABREVIATION

ANNEXE A

LISTE DES ABREVIATIONS

A

ADS-A: Automatic Dependant Surveillance -Addressed/Contract.

ADS-C: Automatic Dependant Surveillance -Addressed/Contract.

ASM: Air Space Management.

ATC: Air Traffic Control.

ATFM: Air Traffic Flow Management.

ATM: Air Traffic Management.

ATS : Air Traffic service.

C

CPDLC: Controller Pilot Data Link Communications.

CCR : Centre de Contrôle Régional.

D

DME: Distance Measuring Equipment.

DORA: Directorate of Operational Recherche and Analsis.

G

GNSS: Global Navigation Satellite System.

GPS: Global Navigation System.

H

HF: High frequency.

i

IFR: instrument Flight Rules.

IHM: Interface Homme-Machine.

O

OACI : Organisation de l'Aviation Civile International.

R

RNAV: Area Navigation.

RNP: Required Navigation Performance.

RVSM: Reduced Vertical Separation Minima

S

SID: Standard Instrument Departur.

STAR: Standard ARrival.

T

TCAS: Traffic Collision Avoidance System.

TRAFCA : TRaitement Automatique des Fonctions de la Circulation Aérienne.

V

VFR: Visual Flight Rules.

VHF: Very High frequency.

VOR: VHF Omni Range.

ANNEXE B

Organismes de contrôle en
Algérie

ANNEXE B

ORGANISMES DE CONTROLE EN ALGERIE

B.1 Centre de control en Route (CCR) :

Actuellement l'Algérie possède un seul Centre de Contrôle en Route (CCR) situé à Alger qui a la charge d'assurer le contrôle en route, le service d'information de vols et le service d'alerte dans toute la FIR.

Le CCR comprend huit (08) positions de contrôle : une position par secteur. Des investissements importants ont permis la construction d'un bâtiment CCR d'Alger équipé de nouvelles positions de contrôle (Route et Approche) et d'un nouveau système de traitement, d'affichage et gestion de communication.

Le système de traitement automatisé du trafic aérien Algérien est installé au CCR d'Alger, ce dernier fournit l'image Radar au niveau des positions de contrôle Route du CCR et des Approches : Alger, Oran, Constantine et Annaba

Le CCR d'Alger a pour mission d'assurer le contrôle des vols évoluant dans l'espace algérien. Il est chargé d'assurer la sécurité de la navigation aérienne dans l'espace qui lui est délégué en fournissant les services suivants :

- Service de contrôle de la circulation aérienne.
- Service d'information de vol.
- Service d'alerte.

B.2 Contrôle d'approche :

La FIR Algérie dispose de sept centres de contrôle d'approche a: Alger, Annaba, Constantine, Oran, Ghardaïa, Tamanrasset et Hassi Messaoud.



La salle de Contrôle Aérien Algérien

A l'exception des approches de Hassi Messaoud, Ghardaia et Tamanrasset les approches sont équipées de nouvelles positions de contrôle dotées d'écran de visualisation des données Radar, plan de vol, ADS/C et d'une cellule des communications téléphone/Radio intégrés. Ces positions de contrôle sont acquises dans le cadre du projet TRAFCA.

B.3 Contrôle d'aérodrome :

Il y a 39 tours de contrôle du trafic dans la FIR d'Alger dont :

- Vingt(20) au niveau des aéroports civils principaux.
- Dix (10) au niveau des aéroports civils de moindre importance.
- Trois (03) au niveau des aéroports mixtes (civils-militaires).
- Six (06) au niveau des aéroports militaires.

L'ENNA fournit des services de trafic aérien aux trente-trois (33) aéroports civils et mixtes.

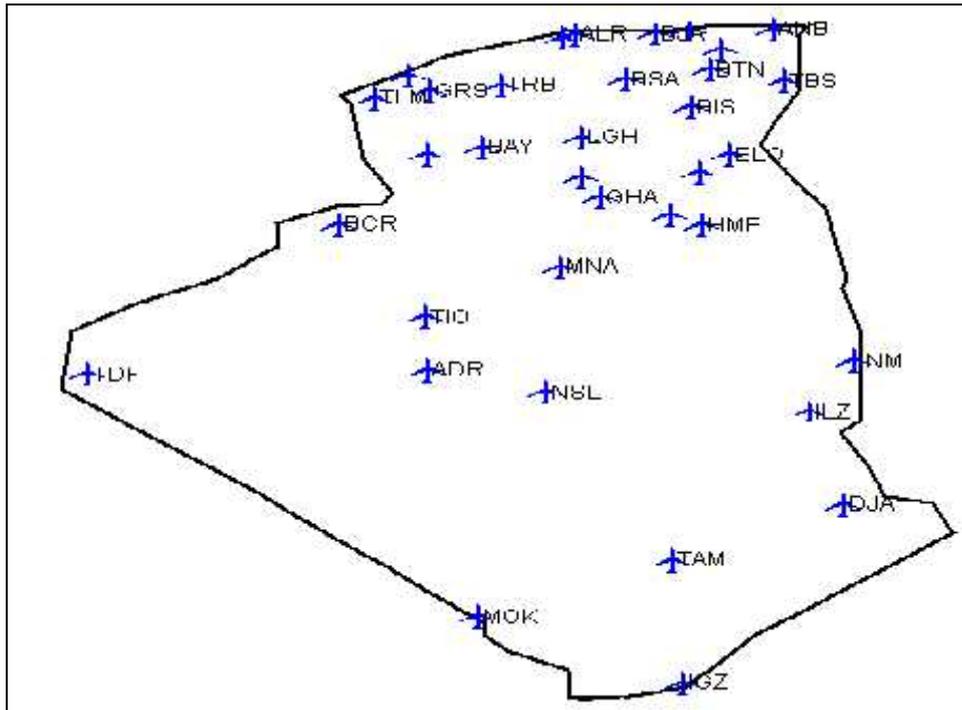


Figure B.1- L'emplacement des Aérodomes

ANNEXE C

Moyens de Communication, Navigation, Surveillance actuels en Algérie

Annexe C

Moyens de Communication, Navigation, Surveillance actuel en Algérie:

C.1 Communication :

C.1.1 Couverture VHF/HF :

Au CCR d'Alger Les communications contrôleur –Pilote sont assurées par les liaisons VHF. Actuellement, il existe (16) station radio VHF permettant la couverture d'une partie importante de l'espace aérien Algérien au-dessus du FL 240.

Une double couverture est fournie dans une grande partie du Nord, alors que dans la zone extrême Sud, aucune couverture Radio VHF n'est assurée d'où la nécessité d'utiliser la couverture HF.

La couverture VHF est actuellement inférieure à 90% de la totalité de la FIR. De nouvelles antennes VHF sont en phase d'acquisition pour compléter la couverture actuelle pour assurer le contrôle dans l'espace aérien supérieur.

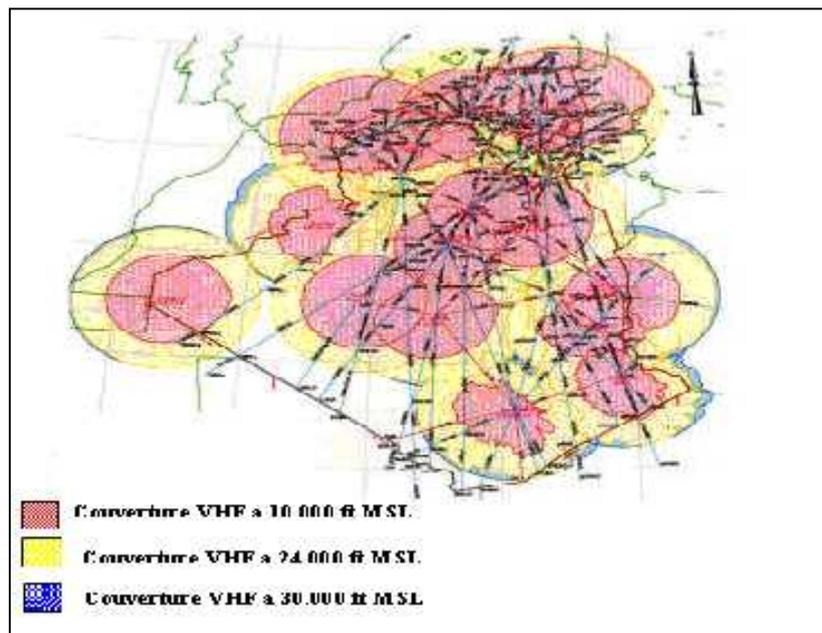


Figure C.1- Couverture VHF actuelle

La couverture HF est utilisée en cas de secours parce qu'elle est de mauvaise qualité, malgré sa grande portée mais la qualité reste perturbée.

C.1.2 CPDLC (Controller Pilot Data Link Communications):

Le CPDLC est une application de liaison de données qui permet l'échange direct fondé sur messages entre le contrôleur et le pilote, au lieu d'une communication vocale.

Le CPDLC améliore les capacités de communication dans les zones désertiques où l'utilisation des communications vocales n'est pas considérée comme efficace, en particulier dans les cas où les contrôleurs et les pilotes doivent s'en remettre à un tiers HF.

C.1.3 Réseau service fixe de télécommunication aéronautique (RSFTA) :

L'échange des messages tels que les NOTAM, Plan de vols, Metars, etc..... est assuré par le réseau du service fixe de télécommunications Aéronautiques (RSFTA), L'Algérie dispose d'un système de commutation des messages RSFTA, cette tâche est assurée par le BCT Alger qui se situe au siège de l'ENNA de Oued Samar.

Les supports de télécommunication en Algérie sont assurés par le réseau national géré sous la responsabilité d'Algérie Télécom, et le réseau VSAT qui est à la charge de l'ENNA.

C.2 Navigation :

La navigation aérienne en FIR Alger repose sur 31 stations VOR/DME. La plupart des stations VOR/DME sont installées au niveau des aéroports sur le prolongement des axes de pistes, et le reste sur des sites plus éloignés. Ses stations couvrent la majorité de la FIR Algérienne au FL 100 à l'exception d'une partie à l'extrême Sud.

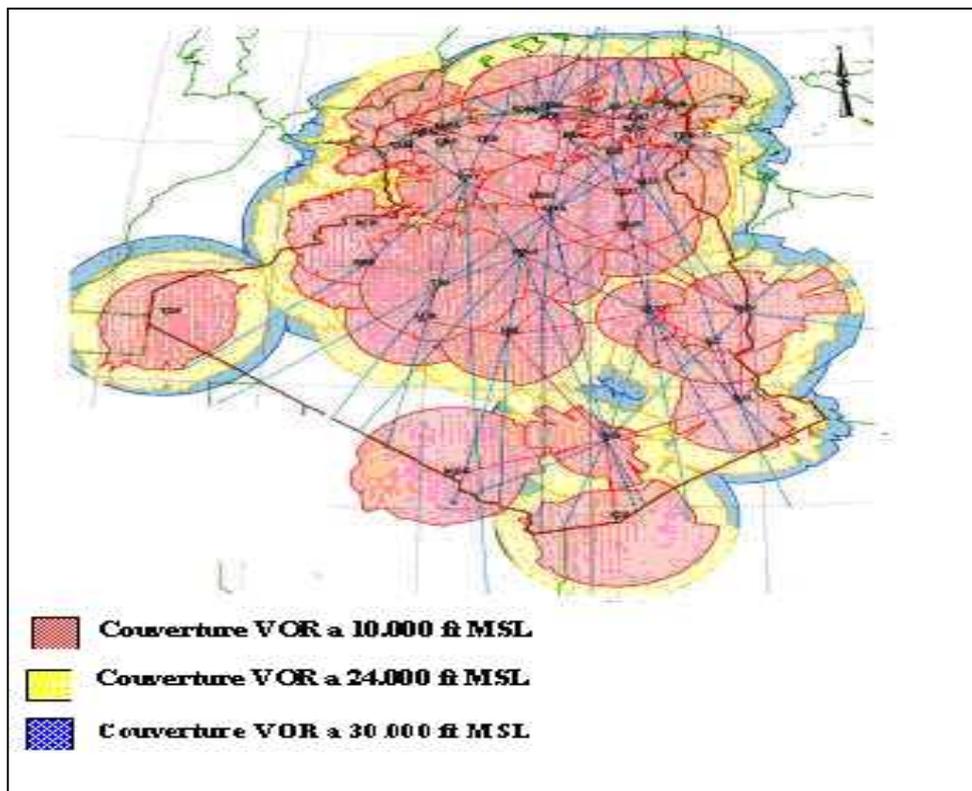


Figure C.2- Couverture des Stations VOR

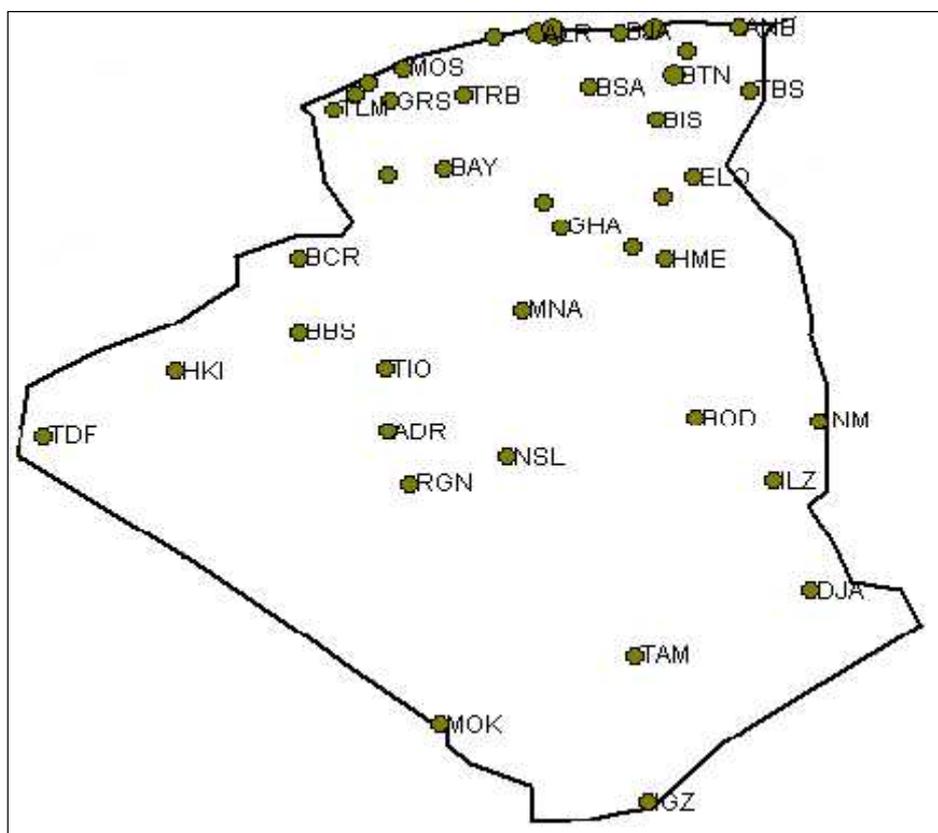


Figure C.3- L'emplacement des Aides de navigation

C.3 Surveillance :

C.3.1 Couverture Radar :

La couverture radar en Algérie concerne la partie Nord et les Hauts Plateaux de la FIR d'Alger (région d'information de vol). Cinq stations radar secondaires (SSR) d'une portée de 450 Km, sont installées à Alger, Oran, Annaba, El Bayadh et El Oued dans le cadre du projet TRAFCA.

A noter que la station d'Alger comporte un radar primaire (PSR) Co-implanté avec le secondaire.

Tableau C.1- L'emplacement des Radars en Algérie

Type	Site	Station Radar	Coordonnées Géographiques	Date d'Install	Portée Théorique
Primaire/ Secondaire	Alger	Oued Smar	(36°40'34.10''N 003° 10'40.04'' E)	Avril 2001	PSR :80 NM / FL 270 SSR :256 NM / FL 600
Secondaire SSR	Annaba	Seraidi	36°54' 43.40''N 007° 41'07.10'' E)	Mars 2002	256 NM / FL 600
Secondaire SSR	Oran	Murdjadjo	35°41'46.88''N 000° 46'16.20'' W)	Mars 2002	256NM/FL 600
Secondaire SSR	El Oued	Guemmar	33° 31' 03.99'' N 006° 45' 52.16'' E)	Mai 2002	256NM/FL 600
Secondaire SSR	El Bayadh	Bouderga	33°37' 37.36''N 001° 03'51.20'' E)	Mai 2003	256NM/FL 600

Source : AIP Algérie.

Le système de contrôle du trafic aérien (ATC) peut utiliser le radar primaire de surveillance et le radar secondaire de surveillance seuls ou en combinaison pour assurer les services de contrôle de la circulation aérienne.

Fourniture du service Radar :

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

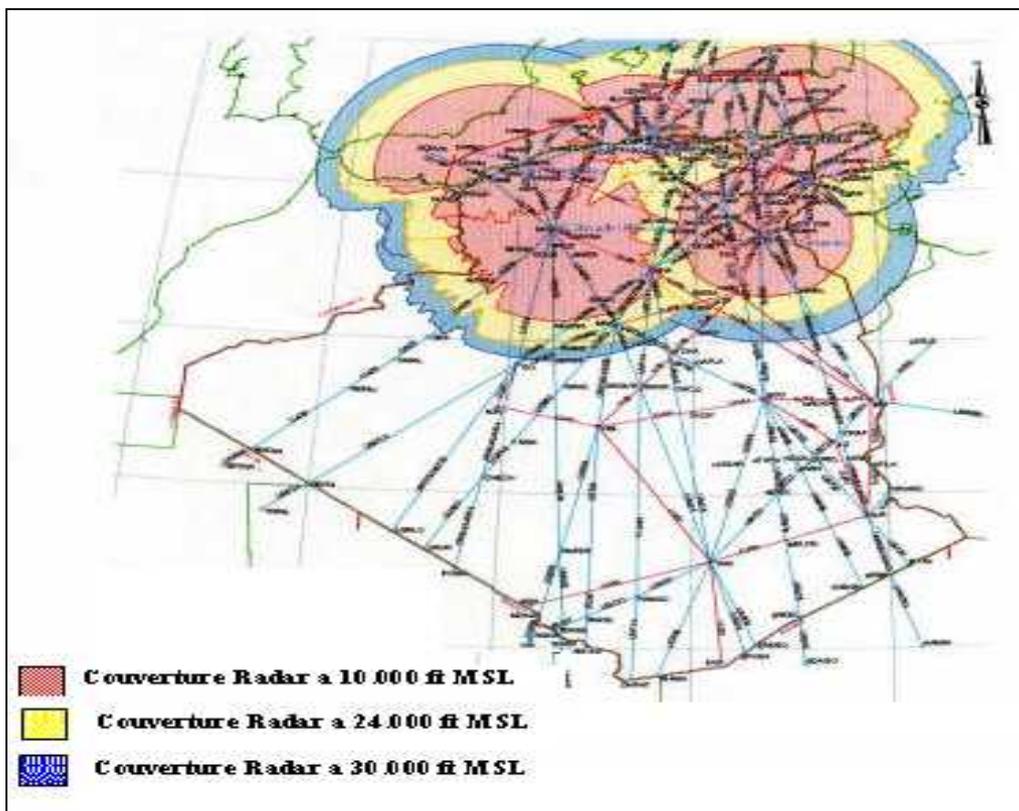


Figure C.4- Couverture Radar actuelle

en service en Décembre 2003 en Algérie, ce dernier a été acquis dans le cadre du projet TRAFCA auprès du fournisseur THALES ATM.

Le système de contrôle Aérien algérien est composé d'un système de traitement des données radar, plan de vol et ADS-C/CPDLC appelé EUROCAT 2000 et un système de communication VCCS qui assure les communications Téléphoniques et radio.

Le système EUROCAT 2000 permet de :

- Recueillir,
- Assembler,
- Collationner,
- Traiter et Afficher les données : plan de vol, radar et ADS/C sur l'écran du contrôleur.

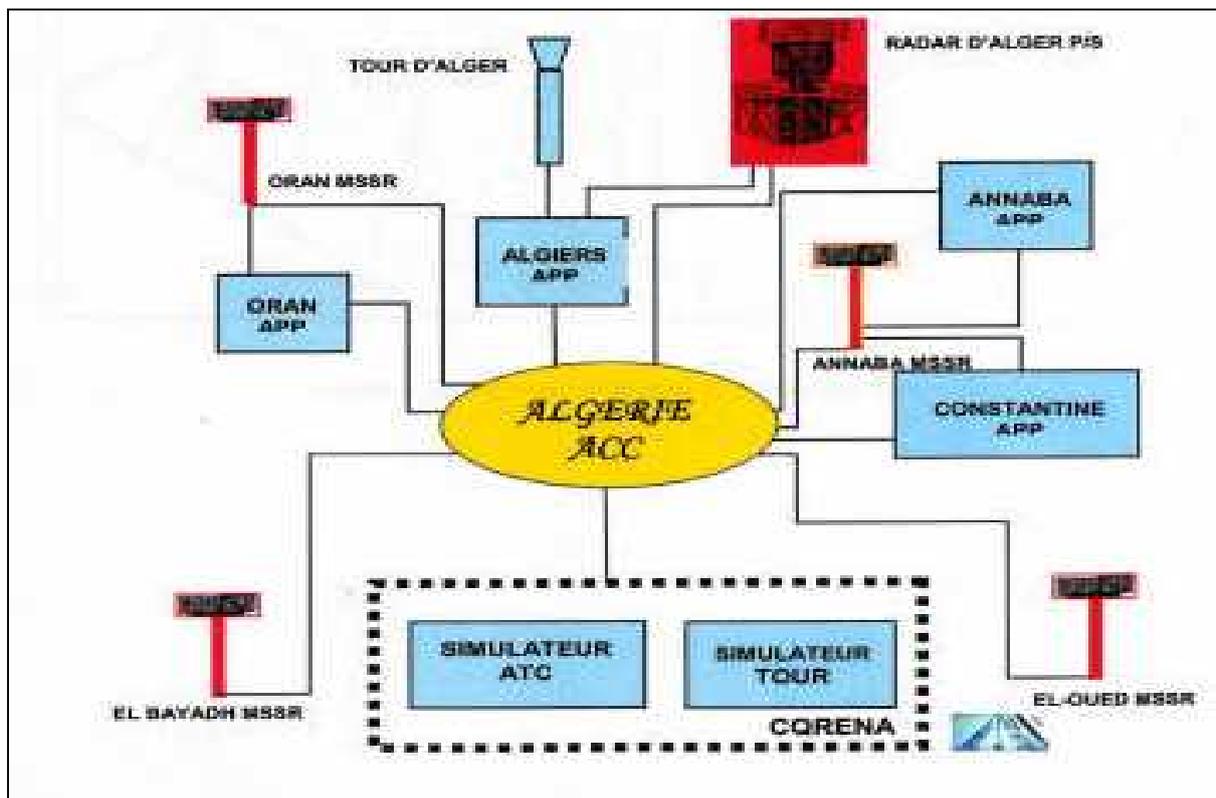


Figure C.6- Système TRAFCA

La mise en œuvre du système de traitement automatisé du trafic aérien a permis :

- Améliorer la sécurité de la circulation aérienne ;
- Augmenter la capacité de gestion du trafic aérien ;
- Fournir des outils afin d'assister le contrôleur ;

- Augmenter la capacité du secteur
- Alléger la charge de travail du contrôleur en prenant en charge les tâches fastidieuses
- Assurer l'intégrité des données, prévoir et réguler le trafic aérien ;
- Visualisation intelligente des données de trafic aérien ;
- Réduire la charge des canaux vocaux.

REFERENCES

1. Annexe 11 de l'OACI, « Service de la Circulation Aérienne », Treizième édition juillet 2001.
2. Nicolas Archambault, DEA Intelligence Artificielle, « Optimisations du solveur de conflit du simulateur de trafic CATS », septembre 2003.
3. Christophe Mertz, Stéphane Chatty, Jean-Luc Vinot, «The influence of design techniques on user interfaces: the DigiStrips experiment for air traffic control», proposer a HCI-aero 2000, Toulouse, France, September 2000.
4. Document OACI 9694, « Manual of air traffic services Data link application », première édition — 1999.
5. Airbus industrie, «getting to grips with FANS», G.I.E 2000.
6. Marcellin BUISSON Mémoire de fin d'études «Interaction répartie sur un poste de contrôle aérien » Division PII —Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne (CENA), TOULOUSE. CENA NR01-709 Juin 2001
7. Document OACI 9613, «Manual on Required Navigation Performance (RNP) », deuxième édition — 1999.
8. Document OACI 9849, «Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual », première édition — 2005
9. EUROPEAN ORGANISATION FOR THE SAFETY OF AIR NAVIGATION, «ATC Manual for a Reduced Vertical Separation Minimum (RVSM) in Europe», deuxième édition — 2001.
10. David GIANAZZA, Thèse doctorat, « Optimisation des flux de trafic aérien », Institut national polytechnique de Toulouse, novembre 2004.
11. Olivier CATELOY, Responsable du groupe capacité, Service Technique de l'Aviation Civile, «évaluer la capacité», DGAC direction générale de l'Aviation civile.
12. SACI Hadjer, Thèse Magister, « Resectorisation de l'espace aérien Algérien », Université SAAD Dahlab Blida, Juin 2009.
13. Document OACI 4444, Procédures pour les services de navigation aérienne ; « Gestion du trafic aérien », Quinzième édition — 2007.

- 14.** LA CONGESTION : UN DEFI GLOBAL Dimension de la Congestion et Perspectives dans les Transports terrestres, maritimes et aériens Réunion ministérielle réduire la congestion BULGARIA 30-31 mai 2007
- 15.** Direction du Transport aérien, « dossiers documentaires Le renouveau du ciel africain», juin 2013.
- 16.** Peter Brooker, «Control workload, airspace capacity and future systeme», human factors and aerospace safety, 2003.
- 17.** Romain SZPAK, Mémoire d'ingénieur ENAC,«Recherche d'une méthode générale de détermination de capacité secteur », Juin 1992.
- 18.** Document OACI 9426, « Manuel de planification des services de la circulation aérienne », première édition — 1984.
- 19.** Roberto Arca Jaurena, Regional Project ICAO RLA/06/901, «Guide for the application of a common methodology to estimate airport and ATC sector capacity for the sam region », Lima, Peru, 6 to 17 July 2009 Version 1.0.
- 20.** Jerry D. Welch, John W. Andrews, Brian D. Martin, «Macroscopic workload model for estimating en route sector capacity», M.I.T. Lincoln Laboratory, Lexington.
- 21.** Jerry D. Welch, John W. Andrews, «workload implication of free flight concept».