République Algérienne Démocratique Populaire
Ministère de l'enseignementsupérieur et de la recherche scientifique

UNIVERSITE BLIDA 1
Institut d'aéronautique et des études spatiales
Département de la navigation aérienne

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du

MASTER ENAERONAUTIQUE

Spécialité : Exploitation Aéronautique

Réalisé par:

Mansour Naima
KaciRanda

Thème :

ESTIMATIONDELACAPACITED'UNSECTEURDECONTROLEAERIEN

Promotrice: *Mme DRARENI Fatima Zahra*
Co-promotrice : *Mme SACIHadjer*

Blida, octobre 2020

Résumé

L'espace aérien peut rencontrer des situations délicates où la demande de trafic dépasse la capacité des secteurs du contrôle de la circulation aérienne ce qui conduit à des problèmes de congestion et des risques d'accidents. Pour garantir la sécurité, il est donc nécessaire de connaitre la capacité d'un secteur ATC.

L'objectif de ce travail consiste à employer une méthode d'estimation de la capacité d'un secteur de contrôle afin que notre gestion du trafic aérien soit plus optimisée par rapport à la situation actuelle.

Mots clés : Capacitéd'espaceaérien,Secteurdecontrôle,Chargedetravail, ATC.

ملخص

يمكن ان يواجه المجال الجوي مواقف صعبة حيث يتجاوز الطلب على حركة المرور قدرة قطاعات مراقبة الحركة الجوي مما يؤدي الي مشاكل الازدحام و مخاطر الحوادث. لضمان السلامة من الضروري معرفة قدرة قطاع

الهدف من هدا العمل هو استخدام طريقة لتقدير قدرة قطاع التحكم بحيث تكون ادارة الحركة الجوية لدينا افضل مقارنة بالوضع الحالي.

الكلمات الرئيسية: قدرة عبء العمل, قدرة المجال الجوي, قطاع التحكم, خدمة المراقبة الجوية.

Abstract

The airspace can encounter difficult situations where the demand for traffic exceeds the capacity of the air traffic control sectors which leads to congestion problems and the risk of accidents. To guarantee safety, it is therefore necessary to know the capacity of an air traffic control sector.

The objective of this work is to employ a method of estimating the capacity of a control sector so that our air traffic management is more optimized compared to the current situation.

Keywords : airspace capacity, Control sector, Workload, ATC

Remerciements

Tout d'abord, nous aimerions remercier Dieu Tout Puissant d'avoir nous donné la force, le courage et la volonté pour pouvoir accomplir ce travail.

Ensuite, nous tenons à exprimer nos remerciements avec un grand plaisir et un grand respect à :

Notre promotrice Madame DRARENI Fatima Zahra et Co-promotrice Madame SACI Hadjer, pour leurs conseils, leur disponibilité et leurs encouragements malgré leurs charges académiques et professionnelles.

Notre encadreur Mr BENDJABELLAH Nadjib, Chef de service exploitation au niveau de CCR, qui a rendu ce travail possible par ses compétences et sa contribution.

Mr MOUFEK Ahcene, Directeur de système de gestion de sécurité, qui nous a guidées grâce à son expérience dans nos recherches.

Nous remercions particulièrement nos parents pour leur soutien financier et moral illimité tout au long des années d'étude.

De plus, nous désirons remercier vivement les membres du jury, qui ont accepté d'évaluer notre travail.

Enfin, merci à tous nos proches, copains qui nous ont participés à leur manière à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A **mes parents, Maman,** à celle que le paradis est sous ses pieds, une épaule qui réchauffe, des mots qui consolent, des pas qui accompagnent, ma mère qui m'a comblé de tendresse et d'affection tout en long de mon parcours, elle n'a pas cessé de me soutenir, de croire en moi et surtout d'être toujours présente à mes côtés. Je vous aime très fort. Grand homme, **Papa,** celui qui m'a à tout pas encourager, soutenue, doté d'une éducation digne et surtout sculpté la femme que je suis maintenant, en ce jour mémorable pour moi ainsi que pour vous, ce travail est pour vous.

Particulièrement à **Mon Grand frère Hachani,** mon précieux offre de dieu qui doit ma vie et tout mon respect.

A **mes petites sœurs Afaf, Nour, Malak et Maha**, qui m'ont poussé à donner le meilleur de moi, et à être toujours l'exemple digne d'une sœur, je vous aime.

A mes précieuses **amies, Chaima, Lina Meriem, Manel et Sarah** ; nos délires, nos rires, nos moments passés ensemble sont gravés à jamais.

A mes chères tantes **Khadra, Firouz et Samira,** et toute personne qui porte le nom **Ammari**.

Naima

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers, A

ma très chère mère

Quoique je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit.

Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma

source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail

traduit ma gratitude et mon affection.

A mon très cher frère Nassim

A tous les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom Kaci.

A tous mes amis de promotion de 2^{éme} année Master en exploitation aéronautique.

Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.

Randa

TABLES DES MATIERES

page

Résumé

Remerciements

Dédicaces

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des illustrations, graphiques et des tableaux

INTRODUCTION

CHAPITRE I : GESTION DU TRAFIC AERIEN

I.1. Introduction 15

I.2. Le système de l'ATM 15

I.3. Objectifs de la gestion de trafic aérien..... 16

I.4. Organisation de l'espace aérien Algérien 17

I.4.1. La structure de l'espace aérien..... 17

I.4.2. Classification des espaces aériens..... 19

I.4.3. Division de l'espace aérien 20

I.5. Le contrôle aérien 22

I.5.1. Les méthodes de contrôle… 22

I.5.2. Le contrôle en route… 23

I.5.3. Les outils de travail de contrôle en route… 24

I.5.4. Technique de contrôle pour le contrôle en route… 26

I.5.5. Capacité et charge de travail..... 27

I.6. Points faible du système actuel..... 28

I.7. Conclusion 29

CHAPITRE II : ETUDE STATISTIQUE DU TRAFIC AERIEN ET LA PROBLEMATIQUE DE CONGESTION

II.1. Introduction 31

II.2. La congestion de l'espace aérien 31

II.2.1. Les types de la congestion de l'espace aérien 31

II.2.2. L'impact de la congestion de l'espace aérien 32

II.3. L'évolution du trafic aérien dans l'espace Algérien 33

II.3.1. Trafic par secteur 33

II.3.2. Trafic par type de vol 35

II.4. Conclusion 39

CHAPITRE III : CAPACITE DU SECTEUR DE CONTROLE EN ROUTE

III.1. Introduction 41

III.2. Gestion de la capacité… 41

III.2.1. Régulation du débit de trafic 41

III.2.2. Renforcement de la capacité ATC 42

III.2.3. Souplesse d'utilisation de l'espace aérien 43

III.2.4. Estimation de la capacité… 43

III.3. Les contraintes de calcul de la capacité… 44

III.4. Etat de l'art des (techniques d'estimation de la capacité d'un secteur ATC 46

III.4.1. Méthode DORATASK… 41

III.4.2. Méthode MBB 49

III.4.3. Méthode utilisé au Brésil 52

III.4.4. Méthode de la charge de travail 54

III.5. Conclusion 57

CHAPITRE IV : TRAITEMENT DES DONNEES DE TRAFIC ET DEVELOPPEMENT D'UNE APPLICATION DE CALCUL DE CAPACITE DU SECTEUR

IV.1. Introduction 59

IV.2. Outil de travail 59

IV.3. Traitement et analyse des données de trafic 59

IV.4. Présentation du programme développé 62

IV.4.1. Les données utilisées 64

IV.4.2. Les fonctions utilisées 64

IV.4.3. Présentation de l'interface 65

IV.5. Présentation des résultats obtenus et interprétation 66

IV.6. Comparaison des résultats de l'application avec l'étude de trafic dans le secteur Nord-Centre 68

CONCLUSION

ANNEXES

A. DEFINITION

REFERENCES

Abréviations

A

ACC : Area control center

APP : Approach (Contrôle d'approche)

ASM : Airspacemanagement

ATC : Air traffic control

ATFM : Air traffic flow management

ATM : Air traffic management

ATS : Air traffic service

AWY : Airway

C

CTA : Controlarea

CTR : Control region D

DME : Distance measuring equipement

DORA : Directorate of operational researche and analsis

F

FIR : Flight information region

I

IATA : International air transport association **ICAO :**

International civil aviation Organization **IFR :**

Instrument flight rules

IHM : Interfacehomme-machine

IMC : Instrument meteorological conditions

N

NDB : Non directional beacon

O

ODS : Operational display system

R

RNAV : Area Navigation

S

STCA : Short term conflict alert

T

TMA : Terminal maneuvering area

TWR : Tower

U

UIR : Upper information region

V

VFR : Visual flight rules

VMC : Visual meteorological conditions

VOR : VHF omni range

Liste des illustrations, graphiques et des tableaux

Figure I.1 : Le Strip papier 24

Figure I.2 : L'image radar ODS utilisée au CCR-Alger 25

Figure I.3 : Les moyens de communications des contrôleurs 26

Figure II.1 : Evolution du trafic aérien par secteur dans l'espace Algérien de 2012 à 2017 ... 34

Figure II.2 : Evolution du nombre total de trafic par secteur dans l'espace Algérien de 2012 à 2017 35

Figure II.3 : Evolution du nombre de trafic par type de vol dans l'espace Algérien de 2012 à 2017 37

Figure II.4 : Evolution du nombre total de trafic par type de vol dans l'espace Algérien de 2012 à 2017 38

Figure IV.1 : Trafic moyen de juillet 2019 dans le secteur Nord-Centre 61

Figure IV.2 : Organigramme de l'application 63

Figure IV.3 : Interface de l'application 65

Figure IV.4 : Les résultats donnés par l'application pour le secteur Nord-Centre... 66

Figure IV.5 : Les résultats donnés par l'application pour le secteur Nord-Est 67

Tableau I.1 : Espace aérien des services de la circulation aérienne en Algérie... 21

Tableau II.1 : Evolution du trafic par secteur en Algérie de 2012 à 2017 33

Tableau II.2 : Evolution du nombre de trafic par type de vol en Algérie de 2012 à 2017 36

Tableau IV.1 : Le trafic horaire en mois de juillet 2019 dans le secteur Nord-Centre 60

Tableau IV.2 : durée moyenne d'occupation 62

Tableau IV.3 : Présentation des résultats obtenus par l'application 68

Introduction

La croissance continue du trafic aérien est une préoccupation pour les compagnies aériennes ainsi qu'aux organismes de la circulation aérienne. Car il pourrait être la principale cause pour expliquer les retards et les accidents, surtout si le système de la gestion de trafic aérien (ATM, Air Traffic Management) n'est pas parfaitement intégré.

L'IATA (International Air Transport Association) a prévu que le trafic en Afrique croitra selon un TCAC (taux de croissance annuel composé) de 4,6%. D'ici 2037, il y aura 199 millions de passagers de plus, pour un marché total de 334 millions de passagers.

L'Algérie étant au carrefour du trafic aérien Est/Ouest et Nord/Sud, un emplacement géographique stratégique le rendant un partenaire incontournable dans les rencontres de l OACI.

En Algérie, L'ENNA (Etablissement National de la Navigation Aérienne) chargée de l'ATM, en offrant le service du contrôle du trafic aérien, son premier but est d'assurer la sécurité des aéronefs, le second est d'assurer le meilleur écoulement possible du trafic ; c'est à dire la fluidité des vols ; à travers la surveillance des avions évoluant dans l'espace aérien algérien.

Cependant, il existe une limite au-delà de laquelle le contrôleur en charge du secteur ne peut plus accepter de nouveaux aéronefs et oblige ces derniers à contourner le secteur en traversant des secteurs voisins moins chargés. 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 répartition des aéronefs sur les routes, de la géométrie du secteur lui-même, des performances de l'équipe de contrôle … etc. Le problème qui se pose due à cette croissance est la congestion de l'espace aérien. Ce dernier est lié à la sécurité des aéronefs qui est le premier principe recommandé par l'OACI. Afin de maintenir cette sécurité il est nécessaire de connaitre la capacité du secteur pour pouvoir délimiter le nombre maximum de vols pouvant être pris en charge en toute sécurité.

Le but de notre travail consiste à employer une méthode d'estimation de la capacité de façon à ce que notre gestion de trafic aérien devient plus optimisée par rapport à la situation actuelle.

Tout d'abord, dans le premier chapitre on va parler sur la généralité de la gestion du trafic aérien : la gestion de l'espace aérien, la gestion des fluxet le contrôle du trafic. Ensuite, dans le deuxième chapitre faire une étude statistique du trafic aérien dans l'espace Algérien, après dans le troisième chapitre on va définie les différentes méthodes étudiées de la capacité du secteur en tenant compte les contraintes qui influent sur cette capacité. Enfin, dans le quatrième chapitre on va développer une application basée sur l'une des méthodes qui nous donne une estimation de la capacité du secteur ATC ainsi que les résultats obtenus.

Chapitre I

Gestion du trafic aérien

I.1. Introduction :

L'espace aérien est une ressource limitée qui est soumise à une forte demande dans certaines parties du monde. Afin d'assurer le respect des normes de sécurité imposant une séparation entre les avions évoluant dans cet espace, ce dernier est divisé en différents secteurs aériens, zones d'espace tridimensionnelles : à chaque secteur est affectée une équipe de contrôleurs aériens qui est responsable du respect de ces normes en temps réel : c'est le contrôle aérien (ATC, Air Traffic Control). Le nombre d'avions qu'une équipe de contrôleurs peut gérer en même temps est évidemment limité et face à la forte demande de trafic aérien, la gestion de trafic aérien (ATM, Air Traffic Management) est donc nécessaire pour éviter les surcharges de travail pour les contrôleurs et pour assurer une bonne utilisation des ressources.

I.2. Le système de l'ATM :

l'ATM (Air Traffic management) est la gestion dynamique intégrée de la circulation aérienne et de l'espace aérien, comprenant les services de la circulation aérienne(ATS, Air Traffic Services), la gestion de l'espace aérien (ASM, Air Space Management) et la gestion des courants de trafic aérien (ATFM, Air Traffic Flux Management) de façon sûre, économique et efficace par la mise en œuvre d'installations et de services sans discontinuité en collaboration avec tous les partenaires et faisant intervenir des fonctions embarquées et des fonctions au sol. [1]

- **Gestion de l'espace aérien (ASM) :** processus par lequel des options en ce qui concerne l'espace aérien sont choisies et appliquées pour répondre aux besoins de ses usagers.
- **Service de la circulation aérienne (ATS)** : terme générique désignant, selon le cas, le service d'information de vol, le service d'alerte, le service consultatif de la circulation aérienne et le service du contrôle de la circulation aérienne (contrôle régional, contrôle d'approche ou contrôle d'aérodrome).
- **Gestion des courants de trafic aérien (ATFM) :** le service de gestion des courants de trafic aérien (ATFM), un service complémentaire aux ATS institué pour aider les contrôleurs aériens à assurer l'écoulement optimal de la circulation aérienne, est mis en œuvre pour l'espace aérien où la demande de trafic dépasse par moments la capacité ATC définie.

Des procédures et des plans sont établis à l'avance, pour maintenir un haut niveau de sécurité dans la gestion du trafic, et rechercher l'équilibre entre la capacité des services ATC et la demande

de trafic, tenant compte des besoins des utilisateurs de l'espace aérien et favorisant d'abord des solutions qui optimise la capacité.

L'ATFM devrait comporter trois phases de réalisation :

- **Phase stratégique :**

Elle s'étale de plusieurs mois à quelques jours avant le jour des opérations. Cette phase consiste à étudier et analyser l'évolution de la demande prévisionnelle de trafic, identifier de potentiels nouveaux problèmes et évaluer les solutions possibles.

- **La phase pré-tactique:**

La phase pré-tactique englobe les mesures prises un jour avant le jour des opérations. Ces mesures consiste à étudier la demande pour le jour des opérations, la comparer à la capacité prévue ce jour-là, et faire les ajustements nécessaires au plan qui a été élaboré au cours de la phase stratégique.

- **La phase tactique :**

Elle est appliquée le jour même des opérations. C'est pendant cette phase qu'intervient la mise à jour du plan, en fonction du trafic et la capacité actuels, et de la demande réelle de trafic.

Pendant toutes les phases de l'ATFM, les organismes responsables devraient se tenir en liaison étroite avec l'ATC et les exploitants d'aéronefs, en vue d'assurer des services efficaces et équitables. [1]

I.3. Objectifs de la gestion de trafic aérien :

Le système ATM a été instauré dans le but de :

- Garantir un haut niveau de sécurité en évitant les abordages et les collisions et en s'appuyant sur la gestion des conflits, et cela est fait à travers Les actions stratégiques (organisation de l'espace aérien, gestion du courant de trafic, synchronisation de la circulation aérienne) et Les actions tactiques par l'utilisation des procédures des vols, la visualisation radar, et allons plus loin, les avions autonome (sans intervention du facteur humain : pilote ou contrôleur),
- Augmenter la capacité du système, et optimiser l'utilisation de la capacité des aérodromes et de l'espace aérien,
- Diminuer les retards et les coûts des opérations aériennes,
- L'utilisation efficace et flexible de l'espace aérien par la mise en place des routes aériennes plus directes et des méthodes et procédures permettant une gestion plus flexible de l'espace aérien

ainsi qu'une économie en carburant (routes préférentielles), la réduction des minimums de séparation,

- Planification plus dynamique des vols,
- Réduire de la charge de travail des contrôleurs, et augmenter la productivité.

I.4. Organisation de l'espace aérien Algérien :

L'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA) gère l'espace aérien en assurant le service du contrôle aérien, service d'information de vol et service d'alerte.

I.4.1. La structure de l'espace aérien :

Pour séparer les différents types de trafic (CAM, CAG, IFR, VFR...Etc) et délimiter la responsabilité concernant le service rendu, l'espace aérien est divisé en plusieurs parties chacune étant adaptée au volume du trafic et aux types d'activités aériennes auxquelles elle est soumise.

a) Espace aérien contrôlé : Espace aérien de dimensions définies à l'intérieur duquel le service du contrôle de la circulation aérienne est assuré selon la classification des espaces aériens (des classes A, B, C, D et E).

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

Les CTA peuvent être constituées par :

✓ Région de contrôle terminale (TMA) : c'est une région de contrôle établie, en principe, au carrefour de routes ATS aux environs d'un ou de plusieurs aérodromes importants.

✓ Voie aérienne (AWY) : Une portion de région de contrôle présentant la forme d'un couloir et qui a une largeur déterminée par la précision avec laquelle les aéronefs qui les utilisent sont capables de suivre leur trajectoire assignés. [3]

✓ Zone de contrôle (CTR) : Espace aérien contrôlé s'étendant verticalement à partir de la surface jusqu'à une limite supérieure spécifiée. Et la limite latérale de cette zone englobe au moins une portion d'espace aérien contenant les trajectoires des vols IFR à l'arrivée et au départ des

aérodromes dont l'utilisation est prévue dans les conditions météorologiques de vol aux instruments, qui ne sont pas à l'intérieur d'une région de contrôle . [2]

b) Espace aérien non contrôlé : L'espace aérien non contrôlé est un espace de trafic moindre qui correspond aux classes F et G où il a été décidé d'établir un service d'information de vol et un service d'alerte. [2]

L'espace aérien non contrôlé est divisé en :

- Espace aérien supérieur appelé région supérieure d'information de vol (UIR) : du niveau FL245 à illimité
- Espace aérien inférieur appelé région d'information de vol (FIR) : il va de 450m de la surface de la terre ou de la mer au niveau de vol FL245 inclus.

c) Zones à statut particulier :

Les espaces aériens réglementés peuvent se présenter sous les formes suivantes :

✓ Zone dangereuse D (Dangerous) : Espace aérien de dimensions définies, à l'intérieur duquel des activités dangereuses pour le vol des aéronefs peuvent se dérouler pendant des périodes spécifiées.

✓ Zone interdite P (Prohibited) : Espace aérien de dimensions définies, dans les limites duquel le vol des aéronefs est interdit.

✓ Zone réglementée R (Reglemented): Espace aérien de dimensions définies, dans les limites duquel le vol des aéronefs est subordonné à certaines conditions spécifiées. [2]

Chaque zone est affectée d'une appellation composée de :

- Lettres de nationalité (DA),
- Lettre indiquant le type de la zone
- Numéro de lazone.

Exemple : DA – P80 OUM EL BOUAGHI

e) Routes ATS :

Pour un aéronef, l'idéal est de pouvoir suivre la route la plus directe entre son point de départ et son point de destination, ce que le milieu dans lequel il se déplace lui permet de faire, sauf s'il rencontre des phénomènes météorologiques de forte intensité.

L'expression « route ATS » est utilisée pour désigner selon le cas, les voies aériennes, les routes contrôlées ou les routes non contrôlées, les routes d'arrivée ou les routes de départ...etc. Donc c'est une route déterminée destinée à canaliser la circulation pour permettre d'assurer les services de la circulation aérienne. [2]

Un réseau détaillé de routes ATS peut suivre deux schémas distincts selon la composition de la circulation qu'il y a lieu d'acheminer : [3]

- **Routes ATS domestiques (inférieure et supérieure)** : une route ATS domestique est une voie aérienne utilisée entre deux aérodromes algériens. Son indicatif pour les routes inférieures la lettre J suivi d'un chiffre et pour les routes supérieures UJ suivi d'un chiffre.

  Exemple : (J/UJ 3).

- **Routes ATS inférieures et Routes ATS supérieures :** sont des cheminements utilisés pour les vols internationaux. Sont caractérisées par les lettres A, B, G, R, V, W suivi d'un chiffre pour les routes inférieures et pour les routes supérieures les lettres UA, UB, UN, UG, UR, UV, UW suivi d'un chiffre.

  Exemple : (A/UA24).

Le long des routes ATS, il existe aussi des routes RNAV permettant à un aéronef d'utiliser n'importe quelle trajectoire au sein d'un réseau de points

- **Routes de navigation de surface (RNAV)** : une route RNAV est une route ATS établie à l'usage des aéronefs qui peuvent utiliser la navigation de surface, ce qui permet de fluidifier le trafic et d'optimiser les routes. [2]

En Algérie les routes RNAV sont caractérisées par les lettres UL, UM, UN, UV suivi d'un chiffre.

Exemple : (UN 854).

I.4.2. Classification des espaces aériens :

Les espaces aériens ATS sont classés et désignés comme suit:

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

- Classe B : Les vols IFR et VFR sont admis; il est fourni un service de contrôle de la circulation aérienne à tous les vols et la séparation est assurée entre tous.
- Classe C : Les vols IFR et VFR sont admis ; il est fourni un service de contrôle de la circulation aérienne à tous les vols et la séparation est assurée entre vols IFR et entre vols IFR et VFR. Les vols VFR sont séparés des vols IFR et reçoivent des informations de circulation relatives aux autres vols VFR.
- Classe D : Les vols IFR et VFR sont admis ; tous les vols sont contrôlés et les séparations sont assurées entre les vols IFR ; les vols IFR reçoivent des informations de circulation relatives aux vols VFR ; les vols VFR reçoivent des informations de circulation relatives à tous les autres vols.
- Classe E : Les vols IFR et VFR sont admis ; tous les vols IFR sont contrôlés et les séparations sont assurées entre les vols IFR ; tous les vols reçoivent dans la mesure du possible des informations de circulation.
- Classe F : Les vols IFR et VFR sont admis ; tous les vols IFR participants bénéficient du service consultatif de la circulation aérienne et tous les vols bénéficient d'un service d'information de vol sur demande.
- Classe G : Les vols IFR et VFR sont admis et bénéficient d'un service d'information de vol sur demande. [2]

I.4.3. Division de l'espace aérien :

A l'intérieur de la FIR ALGER trois (03) classes d'espace aérien sont utilisées actuellement A, D et E. Cette FIR a été divisée en secteurs et chaque secteur est chargé de contrôler la portion de l'espace qui lui est affecté pour faciliter le contrôle de l'ensemble des aéronefs.

Les différents Secteurs sont:

- SECTEUR CENTRE (espace inférieur, espace supérieur)
- SECTEUR NORD/OUEST
- SECTEUR NORD/EST
- SECTEUR SUD/CENTRE
- SECTEUR SUD/OUEST
- SECTEUR SUD/EST
- SECTEUR SUD/SUD

Tableau I.1 : Espace aérien des services de la circulation aérienne en Algérie. [4]

Nom		***Limite inférieur***	***Limite supérieur***	***Classification***
SECTEUR CENTRE	1. ESPACE INFERIEUR	450 M GND/MSL	FL 245	Classe de l'espace aérien D.
	2. ESPACE SUPERIEUR	FL 245	FL 450	Classe de l'espace aérien A.
SECTEUR NORD/OUEST		450 M GND/MSL	FL 450	Classe de l'espace aérien D.
SECTEUR NORD/EST		450 M GND/MSL	FL 450	Classe de l'espace aérien D.
SECTEUR SUD/CENTRE		900 MGND	FL 450	Classe de l'espace aérien E.
SECTEUR SUD/OUEST		900 MGND	FL 450	Classe de l'espace aérien E.
SECTEUR SUD/EST		900 MGND	FL 450	Classe de l'espace aérien E.
SECTEUR SUD/SUD		900 MGND	FL 450	Classe de l'espace aérien E.

I.5. Le contrôle aérien :

Le contrôle aérien est un ensemble de services rendus aux aéronefs afin d'aider à l'exécution sûre, rapide et efficace des vols, tout en assurant :

- ✓ la sécurité des aéronefs en évitant les abordages et les collisions.
- ✓ l'écoulement sûr et rapide du trafic aux moyens d'instructions et d'autorisations du contrôle
- ✓ la régularité des vols.

Le service de contrôle est subdivisé en trois parties selon la phase du vol à laquelle il s'applique : [3]

• Aux aérodromes et dans leur voisinage, le contrôle de la circulation aérienne est normalement fourni par le contrôle d'aérodrome, qui fonctionne à partir d'une tour de contrôle, d'où son abréviation (TWR).

• Le contrôle d'approche (APP) est également fourni au voisinage des aérodromes, mais il s'agit d'un service qui concerne principalement les vols exécutés selon un plan de vol conforme aux règles de vol aux instruments (IFR, Instrument Flight Rules) et dans des conditions météorologiques de vols aux instruments (IMC).

• Le contrôle régional (ACC) fait partie du service ATC qui est fourni aux vols contrôlés lorsqu'ils sont dans leur phase de croisière et il est normalement assuré par un centre de contrôle régional (ACC).

Ces organismes ont été différenciés car les compétences requises, les règles applicables, et les moyens techniques nécessaires ne sont pas les mêmes. Un centre de contrôle en route nécessite un radar, tandis que l'outil principal en contrôle d'aérodrome est la vue. En route, les avions ont tous des provenances et destinations différentes, les problèmes sont donc beaucoup éparpillés et aléatoires. Ces différences, et d'autres, ont conduit à cette classification.

I.5.1. Les méthodes de contrôle:

On distingue deux types de contrôle :

a) Le contrôle Radar :

Qui est assuré au moyen des indications du radar matérialisé par les échos des aéronefs apparaissant sur l'écran radar.

Le contrôleur utilise le radar pour rendre trois services appelés « service radar » :

✓ **Assistante radar :** fournit aux aéronefs des informations relatives à leurs positions et aux écarts par rapport à leur route.

✓ **Surveillance radar :** utilise le radar pour mieux connaitre la position des aéronefs.

✓ **Guidage radar :** donne des caps aux aéronefs afin de leur faire suivre une trajectoire spécifiée.

b) Le contrôle aux procédures :

Il consiste à la gestion des flux aériens, où le positionnement d'un appareil se fait à l'estime en se basant sur les informations des stations de radionavigation au sol (VOR, DME, NDB…). L'aéronef communique sa position relative au contrôleur par contact radio, ce dernier détermine ; grâce à l'aide de bande de progression de vol appelée « strip » ; une image mentale du trafic. Le contrôleur assure les séparations en conformité avec les standards OACI conformément aux aides à la navigation utilisée.

I.5.2. le contrôle en route:

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

✓ **Le contrôleur organique (assistant) :**

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

- La première est de pré-intégrer les vols qui vont arriver dans le secteur pris en charge par le binôme (une dizaine de minutes avant leur arrivée) ;
- La deuxième est d'analyser le devenir de la situation pour en détecter les risques de conflits susceptibles de se produire en entrée et en sortie du secteur ;
- La troisième est de résoudre, si possible, ces conflits par la demande d'interventions (modifications de trajectoires d'avions) du binôme de contrôleur adjacents concerné (gérant le secteur où l'(es) avion(s) en question se trouve(nt) encore). Dans le cas où cela n'est pas possible en fonction de la situation à l'instant t (qualité de trafic, complexité du trafic géré, profils des avions en conflits…), le contrôleur organique peut être amené à avertir son binôme pour celui-ci puisse agir sur la situation.

✓ **Le contrôleur radariste (tactique) :**

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

I.5.3. Les outils de travail de contrôle en route :

IL existe (03) trois outils principaux :

❖ **Le Strip** : est une bande de papier (d'où son nom : Strip signifie "bande" en anglais) sur laquelle sont inscrites toutes les informations relatives au vol qui sont utiles pour le contrôleur et qui lui permettent de suivre l'évolution de ce vol, ce Strip est composé de trois parties principales :

- La case « informations générales » (identification du vol) à gauche ;
- La case « coordination et niveaux » (étapes de vol dans le secteur) au centre ;
- La case « route et archive » (itinéraire détaillé du vol) à droite (Voir figure I-4).

En contrôle en route, un Strip papier est imprimé dix minutes avant l'entrée d'un vol sur le secteur associé et il est disposé par le contrôleur organique et à destination du contrôleur radariste sur un tableau de Strips.

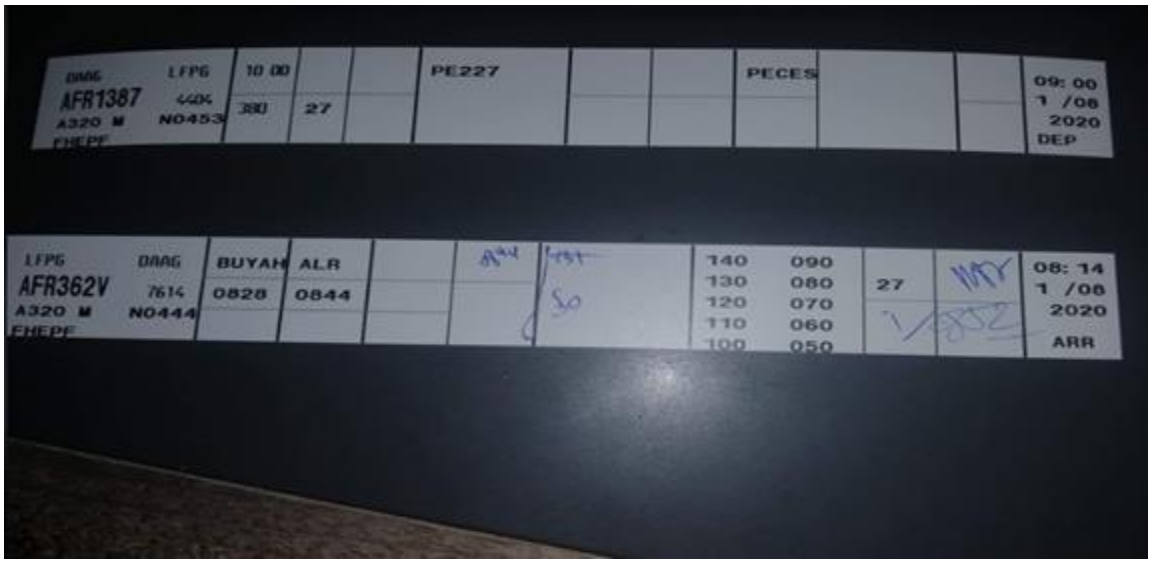


Figure I.1 : Le Strip papier

❖ **L'image radar** : L'image radar ODS (Operational Display System) est la visualisation principale utilisée par les contrôleurs, elle représente la position des aéronefs dans l'espace aérien qui s'actualise en fonction des données communiquées par les radars au sol.

Figure I.2: L'image radar ODS utilisée au CCR- Alger

Les aéronefs qui se déplacent dans l'espace aérien sont représentés sous la forme de plots radar. Ces plots sont associés à l'identification du vol sur une étiquette pour reconnaitre facilement les vols. De plus, un système de contrôle des séparations, appelé filet de sauvegarde (STCA-Short Term Conflict Alert) est intégré à l'image radar permet d'alerter le contrôleur. [5]

❖ **La radiotéléphonie** : est un système de communication prend la forme d'un téléphone pour le contrôleur organique et lui permet de contacter les contrôleurs des secteurs adjacents, pour le contrôleur radariste ce système constitue un système de radio appelé « phonie » permet de contacter les aéronefs du secteur à travers une fréquence radio attribuée à chacun des secteurs.

Le numéro de fréquence sur laquelle l'aéronef doit se trouver est communiqué par les contrôleurs (chaque contrôleur annonce lors du message « au revoir », la fréquence à laquelle l'aéronef doit appeler le secteur suivant).

Figure I.3: Les moyens de communications des contrôleurs. [5]

I.5.3. Technique de contrôle pour le contrôle en route :

Le principe de base du contrôle en route est le découpage de l'espace aérien en volumes élémentaires appelés secteurs de contrôle, et chaque secteur de contrôle est associé une position de contrôle.

À l'intérieur, les contrôleurs maintiennent chaque aéronef séparé du reste du trafic tel que la séparation horizontale qui est exprimée en milles nautiques (NM) et la séparation verticale qui est exprimée en pieds (ft) avec les autres aéronefs en donnant aux pilotes des clairances afin d'assurer la protection de tout risque de collision.

Les trois principales instructions données à un pilote peuvent être : [6]

- une modification du niveau de vol: induit une hausse significative de la consommation du carburant et n'est pas toujours possible pour respecter les contraintes aérodynamiques (poids de l'aéronef, vitesse…).

- un changement de cap propre à chaque aéronef : est quant à lui immédiat et permet au contrôleur de visualiser facilement la modification. C'est l'ordre le plus souvent donné aux aéronefs durant la phase en route.

- une modification de la vitesse de l'aéronef : Le changement de vitesse n'est pas immédiat, peut être difficile à visualiser pour le contrôleur puisque celui-ci doit être très faible.

I.5.4. Capacité et charge de travail :

La capacité d'un espace aérien est le nombre maximal 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.

La capacité dépend essentiellement de structuration de l'espace aérien (routes, aérodromes, procédures, sectorisation…), moyens techniques (RNAV, Radar, automatisation…), nature du trafic (stable, en évolution…), les conditions météorologiques, les performances des avions et du personnel (effectif disponible, degré de qualification, charge de travail).

La charge de travail peut être considérer comme étant l'ensemble d'efforts mentales et physiques réalisés durant une période de temps suffisant ou insuffisant, tout en décrivant la peine et la frustration ressentie pour atteindre l'objectif et réalisé la tache associée.

La charge maximale de travail que peut supporter un contrôleur est celle qui reste en dessous de son seuil de saturation, plus il y a d'avions, et plus grande est la probabilité qu'il y ait des conflits entre ces avions, c'est-à-dire qu'il y ait davantage de problèmes à résoudre, et des problèmes plus complexes puisque la diminution de l'espace disponible rend les solutions plus difficile à trouver et à mettre en œuvre.

La charge de travail et la capacité sont liées : le flux d'aéronefs entrant dans un secteur sur une période de temps donnée est représentatif de la charge de travail du contrôleur.

A noter que pour les contrôleurs le concept capacité en terme de flux horaire est insuffisant, sur le secteur ce sont les pointes de trafics qui sont perçues plus que le débit moyen par exemple 25 aéronefs/heure sur une courte période génère plus de stress que 55 aéronefs/ heure bien répartit. Donc il faudrait évaluer le niveau de difficulté de la situation non pas par le nombre d'avions, mais par la charge de travail auquel le contrôleur est exposé.

I.6. Points faible du système actuel :

 La fiabilité d'un système du contrôle est assurée par l'équipement utilisé par exemple le système Thales.

Thales est un groupe d'électronique spécialisé dans les systèmes d'information et de communication sécurisé censé améliorer la sécurité aérienne et l'efficacité des vols.

Ce système utilisé en Algérie a beaucoup de faiblesse :

1. Il est incapable de localiser les orages (phénomène météo) tels que les cumulonimbus le type le plus dangereux, ce qui rend le contrôleur incapable de donner des caps ou des manœuvres d'évitement pour les aéronefs.
2. Le mode S n'est pas disponible, il y'a peu d'informations concernant les profils de vol pour chaque vol.
3. Un système ramené en Algérie en 2003 et qui n'accepte pas la mise à jour (politique commerciale de fabricant qui pousse à négocier pour une nouvelle version du système).
4. La corrélation : c'est l'attribution de l'étiquette d'un vol (visualisée sur l'écran radar) à un autre vol ce qui peut créer des confusions et des fois des incidents grave.
5. La portée : le mauvais placement des antennes radar peut réduire la portée de système.

 Le facteur humain comme le stress et la fatigue peuvent affecter la sécurité du trafic aérien, ils ont des effets négatifs sur la capacité des contrôleurs aériens à prendre les bonnes décisions et sur les performances du contrôleur de la circulation aérienne en générale.

- **La fatigue** : état physiologique qui se caractérise par une diminution des capacités mentales ou physiques due à un manque de sommeil, à une période d'éveil prolongée, à une phase du rythme circadien ou à la charge de travail (mental et/ou physique), qui peut réduire la vigilance d'une personne et sa capacité à exécuter des fonctions opérationnelles liées à la sécurité.[2]

Parmi les impacts de la fatigue sur le travail du contrôleur aérien :

- ✓ Oublie ou ignorance des vérifications et des procédures
- ✓ Délivrances des instructions du contrôle non claires
- ✓ Oublie d'une altitude assignée

- ✓ Clairance tardive ou incomplète

• **Le stress :** est un état physique (douleur, hémorragie) ou psychologique (émotions) survient lorsqu'il y'a un déséquilibre entre la perception qu'une personne a des contraintes que lui impose son environnement et la perception qu'elle a de ses propres ressources pour y faire face. Ce stress peut alors avoir le sentiment de perte de contrôle de la situation (diminue les capacités à répondre face à des situations imprévues).

Il se manifeste de la manière suivante :

- ✓ Une mauvaise décision
- ✓ perte de connaissance de la situation et des erreurs de jugement.
- ✓ Difficulté de faire face à des situations avec l'augmentation de la charge de travail
- ✓ Absentéisme : épuisement, dépression
- ✓ Baisse de moral et manque d'enthousiasme

 Manque de qualifications :

Les contrôleurs sont qualifiés pour assurer le contrôle aérien sur l'ensemble des secteurs de l'espace aérien gérés par l'organisme au sein duquel ils sont affectés.

Lorsque ces organismes gèrent des espaces aériens trop importants et afin de limiter le temps de formation des contrôleurs, des zones de qualifications sont délimitées. Dans ce cas, les contrôleurs ne peuvent assurer la navigation aérienne que dans la zone pour laquelle ils sont qualifiés, et chaque zone fonctionne comme un centre de contrôle autonome.

I.7. Conclusion :

l'espace aérien est subdivisé en secteurs et affecté par une équipe de contrôleurs chargés d'assurer la séparation entre les aéronefs pour mieux gérer le trafic aérien. Dans certains cas le nombre de vols à traiter dépasse la capacité du système de contrôle (une inadéquation entre l'offre et la demande), 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.

Chapitre II

Etude Statistique du trafic aérien et la problématique de congestion de l'espace aérien

II.1. Introduction :

Le trafic aérien connait une progression très importante depuis ces dernières années. Cette croissance continue de la demande du trafic aérien non assortie avec celle des capacités du système de contrôle, a engendré des problèmes de congestion des secteurs aériens.

La demande de trafic aérien connait non seulement aussi de fortes variations saisonnières et des variations quotidiennes avec des heures de pointe, variables en fonction des secteurs.

Dans notre espace aérien, sur certains secteurs et durant certains périodes, apparaissent des pics de trafic assez importants qui appellent à une prise en charge de ce problème de saturation, d'autant plus, que l'analyse statistique et les prévisions de hausse de trafic, nous font constater que des problèmes de congestions peuvent se poser et compromettre sérieusement la sécurité des aéronefs. Cette sécurité des aéronefs restant l'impératif des services de la circulation aérienne et leur raison d'exister.

II.2. La congestion de l'espace aérien :

La congestion est comme une mesure de la complexité du trafic, plus le nombre d'aéronefs est important dans une zone plus il est difficile de les contrôler. On définit alors qu'une zone est congestionnée lorsque plusieurs aéronefs sont en interaction, c'est-à-dire lorsqu'ils sont proches les uns des autres autrement dit les minimums de séparation ne sont pas maintenus. Cette proximité peut influer 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 (capacité de contrôle des secteurs).

II.2.1. Les types de la congestion de l'espace aérien :

La congestion aérienne se divise en plusieurs types :

✓ La congestion récurrente :

La congestion récurrente est une congestion répétitive dans l'espace et/ou le temps (de la journée, du mois ou de l'année). Elle exprime la notion de récurrence de la demande du transport, et plus précisément le fait que le volume de la circulation aérienne excède l'offre du système ATC

pendant des périodes, des jours ou des heures données liée aux déplacements dus aux activités habituelles de la société (étude, travail, congé…) ce qui engendre des heures de pointe.

✓ La congestion non récurrente :

La congestion non récurrente appelée aussi la congestion incidente, est due aux phénomènes aléatoires ou occasionnels, et est causée localement par un accident, les activités militaires, la météo….etc. Elle peut se produire à toute heure du jour, mais elle est particulièrement pénalisante lorsqu'elle s'ajoute à la congestion récurrente.

✓ La congestioninconnue :

Lorsqu'un utilisateur envisage de choisir un chemin ou un horaire de départ qu'il n'a jamais expérimenté, ou dont il ne se souvient plus donc il risque de rencontrer ou de produire une congestion.

II.2.2. L'impact de la congestion de l'espace aérien :

La congestion aérienne se manifeste aujourd'hui par des retards, mais à plus long terme elle risque de poser des problèmes de sécurité, elle augmente les risques d'accident, réduit la mobilité et ralentie l'évolution économique. Et aussi elle est une cause majeure des émissions polluantes.

II.3. L'évolution du trafic aérien dans l'espace Algérien :

II.3.1. Trafic par secteur :

Ces dernières années (2012-2017), l'espace aérien Algérien a vu une évolution du trafic aérien. Cette évolution est une augmentation régulière du nombre de trafic (Voir tableau II.1) ci- dessous ;

Tableau II.1 : Evolution du trafic par secteur en Algérie de 2012 à 2017

	NORD-CENTRE	NORD-OUEST	NORD-EST	SUD-CENTRE	SUD-OUEST	SUD-EST	SUD-SUD	Total
2012	107165	56682	96122	45233	19340	62392	58659	445593
2013	116880	63798	97347	49705	20115	60787	62470	471102
2014	119359	66303	100651	51724	21539	64685	67055	491316
2015	124977	69868	107053	53624	22324	72062	72609	522517
2016	137388	75470	115086	56416	23364	73474	74511	555709
2017	140821	75402	120670	59849	24847	74295	77850	573734

Source : Rapport annuel de l'ENNA

Les graphes : figure (II.1) et figure (II.2) nous montrent l'évolution du trafic aérien par secteur dans l'espace Algérien de 2012 à 2017.

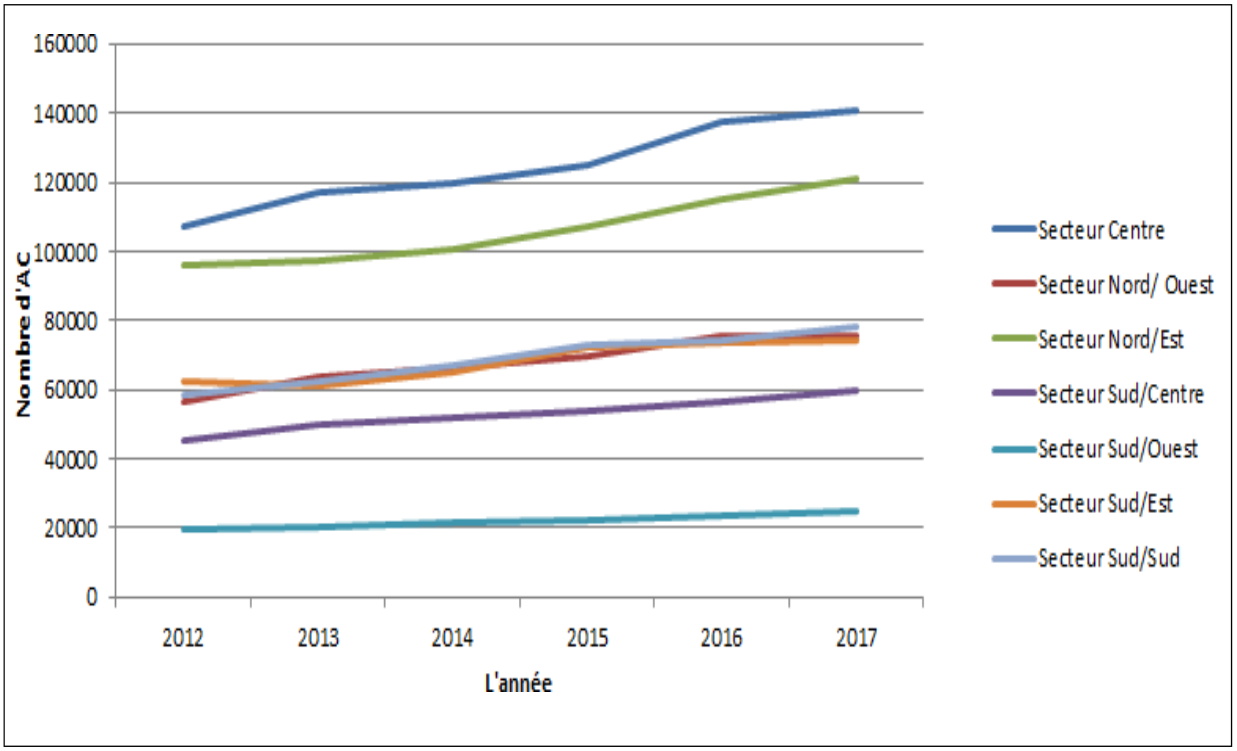
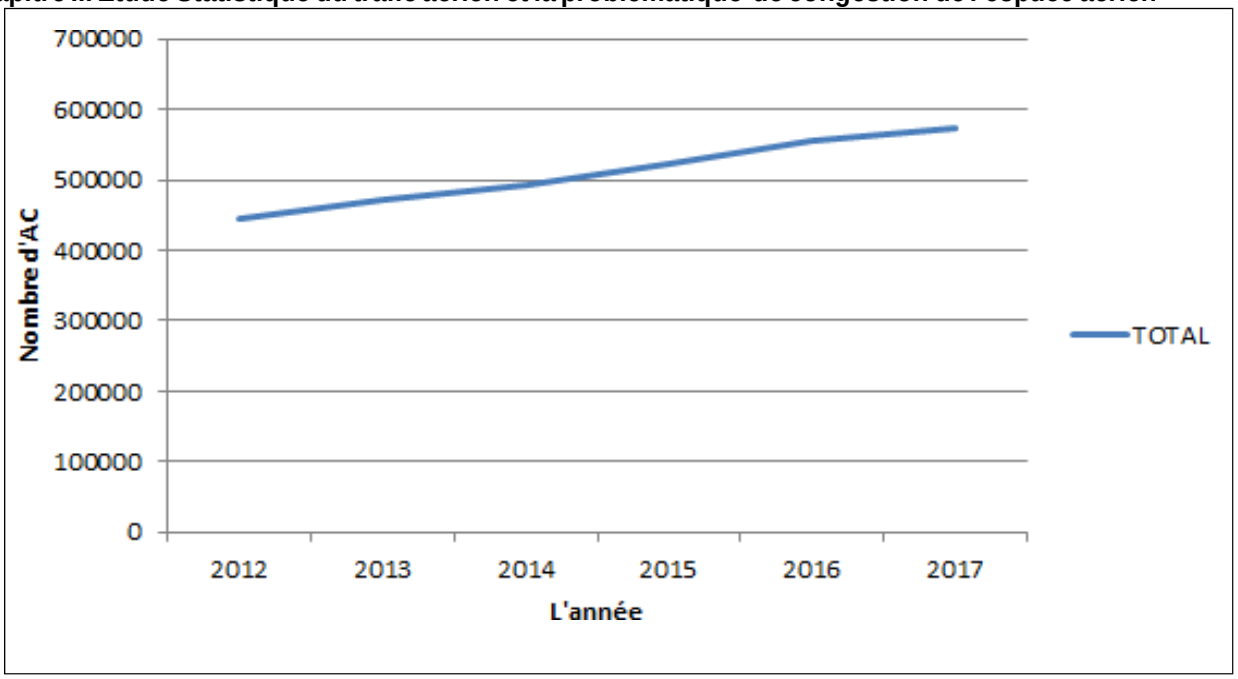


Figure II.1 : Evolution du trafic aérien par secteur dans l'espace Algérien de 2012 à 2017.

La figure(II.1) nous montre l'évolution du trafic par secteur durant ces dernières années. Nous remarquons que le nombre de trafic dans le secteur NORD-CENTRE (atteint 140821 en 2017) est beaucoup plus grand que les autres secteurs.

Le trafic a connu une croissance constante de 2012 jusqu'à 2017 dans tous les secteurs. Sauf dans le secteur NORD-OUEST le nombre a été réduit en 2017 par rapport à 2016 avec une variation moyenne -0,09%, et dans le secteur SUD-EST a été réduit en 2013 par rapport à 2012 avec une variation de -2,57%.

Nous remarquons aussi que la ligne du secteur Sud/Sud est à peu près la même que la ligne du secteur Nord/ Ouest par ce qu'il existe des vols qui passent par le secteur Sud/Sud, passent aussi directement par le secteur Nord/Ouest.



FigureII.2:Evolutiondunombretotaldetrafic parsecteurdans l'espaceAlgérien de2012à 2017.

Lafigure(II.2)nousmontrelenombretotaldutraficdansl'espaceAlgériende2012à2017.

Le trafic aérien a connu une croissance continue depuis 2012, et le nombre atteint jusqu'à 573734 en 2017.

II.3.2. Trafic par type de vol :

Lesurvoldu territoire Algérienconnaitaussiunaccroissementcontinueface àla demandedu trafic, voir le tableau (II.2) ci-dessus.

TableaII.2 : Evolution du nombre de trafic par type de vol en Algérie de 2012 à 2017

	Transit	National	International	Spéciaux	Total
2012	72375	57222	60343	13792	203732
2013	78504	57381	64812	14985	215682
2014	83049	58865	71164	12653	225731
2015	90927	62492	73400	13297	240116
2016	96166	67405	77949	12987	254507
2017	98455	68204	82236	13262	262157

Source : Rapport annuel de l'ENNA

Les graphes suivants nous montrent l'évolution du nombre de vols par type depuis 2012 jusqu'à 2017.

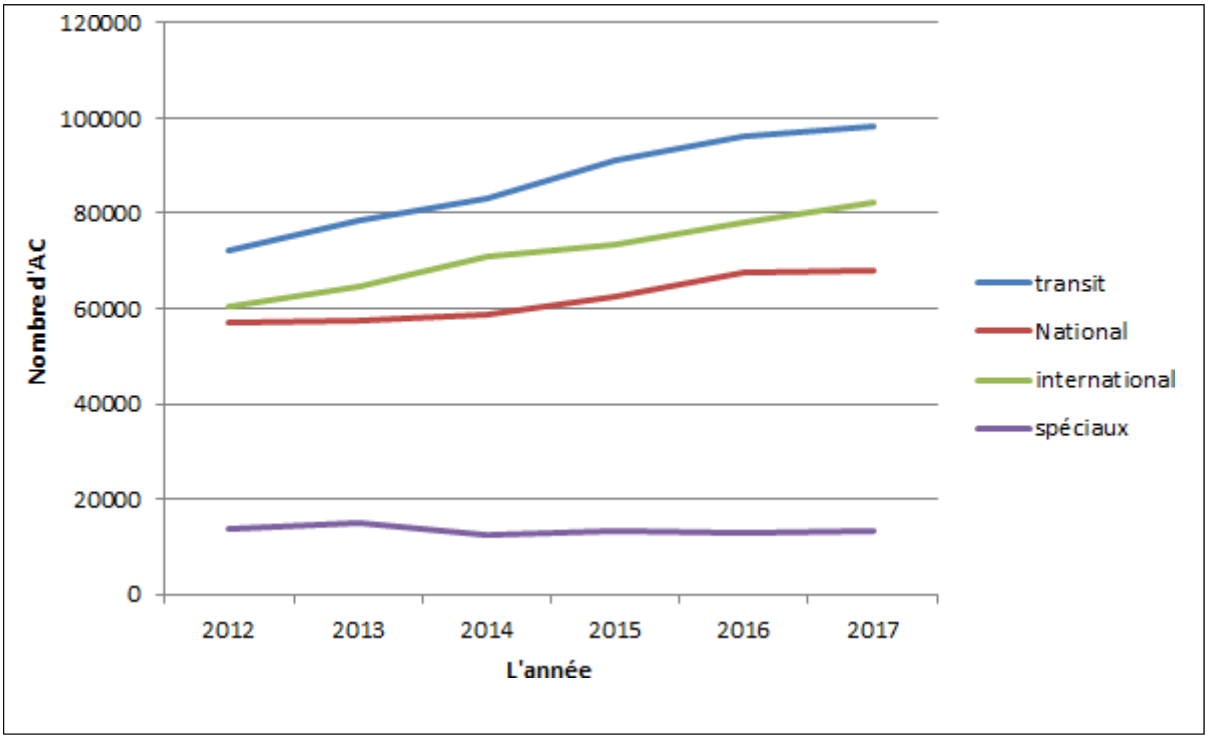


Figure II.3 : Evolution du nombre de trafic par type de vol dans l'espace Algérien de 2012 à 2017.

Dans la figure (II.3) nous remarquons que les vols de transit sont beaucoup plus grands que les autres vols (atteint 98455 vols en 2017). Nous remarquons aussi que les survols ont connu une croissance continue sauf dans l'année 2014 les vols spéciaux ont été réduits avec une variation moyenne de -18,43%, et en 2016 avec une variation de -2,39% mais ça reste toujours en général la variation moyenne positive de 2012 à 2017.

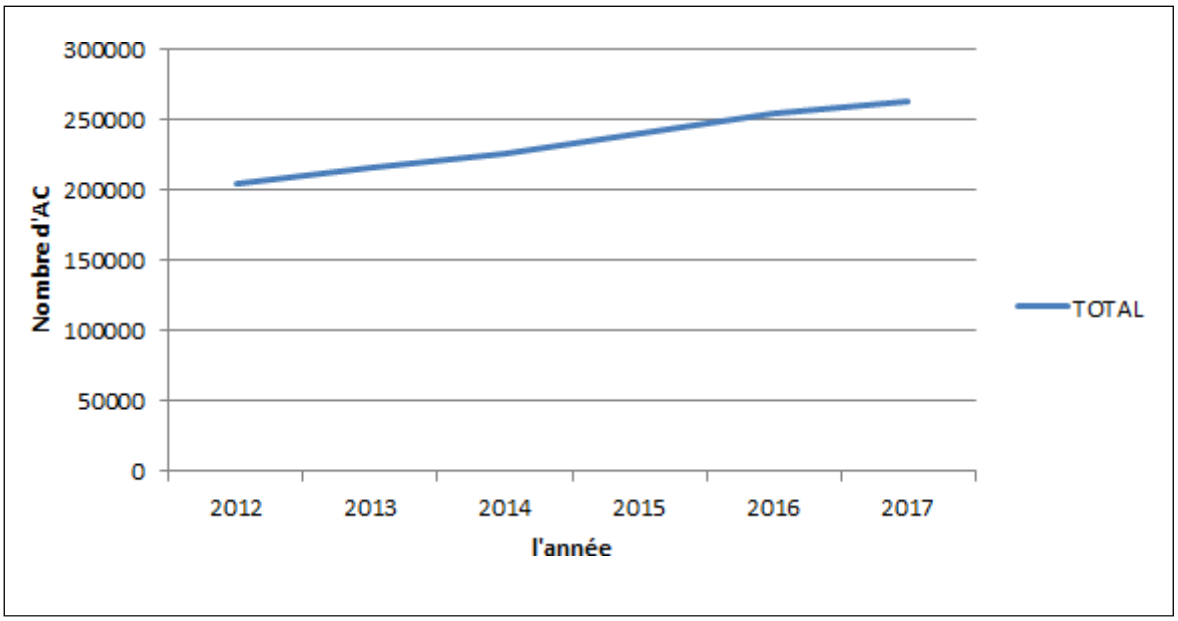


Figure II.4 : Evolution du nombre total de trafic par type de vol dans l'espace Algérien de 2012 à 2017.

La figure (II.4) nous montre le nombre total du trafic par type de vol de 2012 à 2017.

Le survol a connu une croissance continue depuis 2012 jusqu'à atteindre 262157 pour l'année en 2017.

En général, le trafic aérien Algérien a continué à se développer jusqu'à présent et le nombre d'aéronefs augmente de plus en plus, cela conduit à une propagation de la congestion du trafic aérien dans les secteurs de contrôle.

II.4. Conclusion :

Le transport aérien assume désormais un tel rôle dans le développement socio-économique de notre civilisation que, s'il vient à être perturbées, les conséquences de cette perturbation ne sont généralement pas limitées à la seule région où elle se produit mais peuvent se répercuter bien au-delà de cette région. Les experts estiment que la congestion est croissante et que de nombreux vols ne pourront se réaliser. A partir de ce constat, il est légitime de s'interroger sur la capacité d'espace aérien à satisfaire, à l'avenir, une demande en forte augmentation. **Comment peut-on réguler le trafic et quelle est la méthode d'estimation de la capacité qu'on doit employer pour améliorer la gestion du trafic aérien ?**

Les acteurs du transport aérien s'interrogent non seulement sur la capacité structurelle et technique d'un secteur, mais aussi sur le facteur humain, autrement dit la charge de travail que le contrôleur peut supporter.

Chapitre III

Capacité du secteur de contrôle en route

III.1. Introduction :

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. Il faut tout mettre en œuvre afin d'assurer une capacité suffisante pour le trafic normal et le trafic de pointe. Cela dit, lors de la mise en œuvre de toute mesure visant à accroître la capacité, l'autorité ATS responsable s'assurera, conformément aux procédures spécifiées, que les niveaux de sécurité ne sont pas compromis.

Le nombre d'aéronefs auxquels un service ATC est assuré ne dépassera pas celui qui peut être acheminé en toute sécurité dans les circonstances existantes par l'organisme ATC intéressé. Afin de définir le nombre maximum de vols pouvant être pris en charge en toute sécurité, l'autorité ATS compétente devrait évaluer et déclarer la capacité ATC pour les secteurs de contrôle à l'intérieur d'un espace aérien contrôlé.

La capacité ATC devrait être exprimée sous la forme du nombre maximal d'aéronefs qui peuvent être acceptés au cours d'une période de temps donnée dans l'espace aérien.

Le but de ce chapitre est d'étudier les différentes méthodes destinées à estimer la capacité de l'espace aérien, afin de répondre aux besoins actuels et futurs du système ATC.

III.2. Gestion de la capacité :

III.2.1. Régulation du débit de trafic :

La régulation repose sur des mesures destinées à adapter le débit de la circulation qui pénètre dans un espace aérien donné, se déplace sur une route donnée, ou se dirige vers un aérodrome donné, en vue de la meilleure utilisation de l'espace aérien. [1]

Aux endroits où la demande de trafic varie considérablement d'un jour à l'autre ou de façon périodique, il faudrait mettre en œuvre des installations et des procédures qui permettent de faire varier le nombre de postes de travail ou de secteurs opérationnels afin de répondre à la demande existante ou prévue. Les procédures applicables devraient figurer dans les instructions locales.

En cas d'événement avec une incidence négative sur la capacité déclarée d'un espace aérien, la capacité de l'espace aérien concerné sera réduite en conséquence pendant la période

nécessaire. Lorsque c'est possible, la capacité en relation avec de tels événements devrait être préalablement déterminée.

Pour faire en sorte que la sécurité ne soit pas compromise s'il est prévu que, à un moment donné, la demande de trafic dans un espace aérien donné dépassera la capacité ATC disponible, des mesures seront mises en œuvre pour réguler en conséquence les volumes de trafic.

III.2.2. Renforcement de la capacité ATC :

L'autorité ATS compétente devrait :

a) examiner périodiquement les capacités ATS en fonction de la demande de trafic ;

b) prendre des mesures pour assurer la souplesse de l'utilisation de l'espace aérien afin d'améliorer l'efficacité de l'exploitation et d'accroître la capacité.

Il deviendra évident que le système ATC approche de la saturation lorsque se généraliseront de fortes densités de circulation, accompagnées de retards répétés et plus fréquents ou de perturbations du service devenant de plus en plus difficiles à résoudre. L'autorité ATS compétente devrait, si possible : [3]

a) prendre toutes les mesures raisonnables pour exploiter totalement la capacité existante du système ;

b) élaborer des plans pour accroître la capacité afin de pouvoir répondre à la demande actuelle ou prévue.

c) négocier des lettres d'entente entre états adjacents afin d'assurer l'élaboration de procédures judicieuses pour la coordination et le transfert du contrôle. Dans ce contexte, il convient de s'efforcer, lorsque c'est possible et praticable, de concevoir la sectorisation indépendamment de limites artificielles telles que les frontières existantes;

d) élaborer des procédures entre organes pour améliorer la gestion des courants de trafic afin d'utiliser au maximum la capacité ATC disponible;

e) veiller à ce que les nouvelles mesures à adopter soient mises en application avec le minimum de délai et de préférence simultanément par les organes adjacents;

f) concevoir les procédures ATC d'acheminement des aéronefs à l'arrivée de manière à réaliser la meilleure exploitation possible des pistes disponibles et de la capacité d'atterrissage. Il

convient de le faire en tenant compte des besoins des utilisateurs en ce qui concerne les trajectoires optimales de descente et d'approche directe;

g) instaurer des opérations efficaces d'arrivée et de départ grâce à une meilleure conception des pistes et des voies de circulation, par exemple au moyen des voies de circulation parallèles et des sorties de piste à grande vitesse.

III.2.3. Souplesse d'utilisation de l'espace aérien :

Les autorités compétentes devraient, par voie d'établissement d'accords et de procédures, prendre des dispositions pour assurer de la souplesse dans l'utilisation de tout l'espace aérien, afin d'en accroître la capacité et d'améliorer l'efficacité et la souplesse de l'exploitation aérienne. Le cas échéant, ces accords et procédures devraient être établis sur la base d'un accord régional de navigation aérienne.

Les accords et procédures qui permettent de la souplesse dans l'utilisation de l'espace aérien devraient spécifier, entre autres : [1]

a) les limites horizontales et verticales de l'espace aérien considéré ;

b) la classification de tout espace aérien rendu disponible pour être utilisé par la circulation aérienne civile ;

c) les organismes ou autorités responsables du transfert d'espace aérien ;

d) les conditions du transfert d'espace aérien à l'organisme ATC intéressé ;

e) les conditions du transfert d'espace aérien par l'organisme ATC intéressé ;

f) les périodes de disponibilité de l'espace aérien ;

g) toutes restrictions à l'utilisation de l'espace aérien considéré ;

h) toutes autres procédures ou informations pertinentes.

III.2.4. Estimation de la capacité :

Pour l'évaluation de la capacité, les facteurs à prendre en compte devraient comprendre:

a) le niveau et le type de services ATS fournis ;

b) la complexité structurelle de la région de contrôle ou du secteur de contrôle;

c) la charge de travail des contrôleurs, y compris les tâches de contrôle et de coordination à accomplir ;

d) les types de systèmes de communications, de navigation et de surveillance utilisés, leur degré de fiabilité et de disponibilité techniques, ainsi que la disponibilité de systèmes et/ou procédures de secours ;

e) l'existencedesystèmesATCassurantdesfonctionsd'appuiauxcontrôleursetd'alarme;

f) tout autre facteur ou élément jugé pertinent pour ce qui concerne la charge de travail des contrôleurs.

Il convient de faire l'évaluation de la capacité nécessaire par des méthodes qui produisent des résultats réalistes, les résultats étant exprimés dans des termes qui rendent comparables les valeurs de capacité. Celles-ci devraient de préférence être exprimées sous la forme de nombres d'aéronefs qui peuvent entrer dans un volume d'espace aérien donné dans une période de temps donnée.

La demande de trafic aérien à faire rentrer dans le système de navigation aérienne devrait être décrite en des termes qui permettent une comparaison directe avec la capacité de ce système ou de ses éléments qui sont concernés. Il convient d'élaborer une prévision détaillée du trafic relative aux grands courants de trafic dans un secteur de contrôle donné ou dans un espace aérien contrôlé composé de plusieurs secteur. Il y a lieu d'utiliser ces prévisions pour déterminer l'évolution de l'espace aérien et de la gestion du trafic le plus longtemps possible à l'avance et pour une période d'au moins cinq années [3], sous une forme telle qu'elles puissent être utilisées par tous ceux qui s'intéressent à la planification du système de navigation aérienne. Les prévisions devraient indiquer la demande de trafic moyenne et les valeurs de crête, aussi bien que les variations saisonnières, hebdomadaires ou journalières dans la demande de trafic future. Il conviendrait que les Etats procèdent à une revue continue de la capacité de leur système ATC afin d'assurer qu'il pourra être ajusté pour absorber la demande de trafic prévue.

III.3. Les contraintes de calcul de la capacité d'un secteur de contrôle aérien:

Les contraintes de la capacité ne sont pas très clairement définies et sont manifestement mal interprétées d'un point de vue opérationnel, mais il existe des paramètres à prendre en compte qui affectent sur la capacité d'un secteur de contrôle :

- ✓ La complexité structurelle de la région de contrôle : secteur de contrôle

- ✓ La charge de travail des contrôleurs
- ✓ Flux de trafic

❖ Secteur de contrôle :

Un secteur aérien est une portion de l'espace aérien de dimension définit dans laquelle une équipe de contrôleurs assure la sécurité des vols qui y transitent en séparant les aéronefs entre eux. Il est caractérisé par: (La taille du secteur, les zones militaires, la géographie des lieux).

La taille du secteur, si elle est de petite taille il n'y aura pas beaucoup d'espace pour traverser les aéronefs donc une complexité plus importante, ce qui réduit la capacité du secteur.

Pour les zones militaires, la présence de ces zones limite l'espace qui peut être utilisé par les contrôleurs aériens civils et peut rendre la gestion du trafic très compliquée. Il existe souvent des capacités définies pour un secteur selon l'activité des zones.

Et enfin, la géographie des lieux, les reliefs influent sur la définition des planchers (altitude minimum) et de l'élaboration des procédures de navigation, ce qui infect sur la capacité.

Donc Il existe une limite au-delà de laquelle le contrôleur en charge du secteur ne peut plus accepter de nouveaux aéronefs (plus le nombre d'aéronefs dans un secteur est important plus la charge de contrôle augmente). On dit alors que le secteur est saturé.

❖ La charge de travail des contrôleurs:

En contrôle de la circulation aérienne ATC, la charge de travail du contrôleur est un déterminant central de la capacité quel que soit le système utilisé, donc c'est un sujet extrêmement important, et les définitions sont parfois suggestives : [7]

1. Plus la tâche est difficile, plus les processus mentaux sont complexes, plus l'utilisation de la capacité est importante, plus les variables physiologiques (telles que la fréquence cardiaque) sont affectée. Il se sent « avec une charge de travail plus élevée ».
2. La quantité d'effort à la fois physique et psychologique, dépensé en réponse aux exigences du système et également en conformité avec le niveau de la 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. [7]

Malgré tout, la nécessité de tenir compte des autres mesures telles que (prise de conscience de la situation, surveillance du système et détection des erreurs, confiance, travail d'équipe, facilité d'utilisation et acceptation par l'utilisateur….) sert à avertir que la charge de travail n'est pas le seul facteur de performance humaine qui doit être étudie lors du développement des futurs systèmes.

- **Flux de trafic :**

Le flux est le débit à laquelle les aéronefs traversent le secteur au cours d'une période de temps donnée, de sorte que chaque secteur est caractérisé par des flux de trafic.

La nature du flux influe sur la capacité par ce que, les descentes et les montées sont souvent plus délicates à gérer que des aéronefs en palier, et aussi la densité du flux affecte directement sur la capacité (plus la densité du flux est grande plus la charge de travail est importante).

Alors, pour calculer la capacité on doit connaitre tous les facteurs qui peuvent rentrer dans l'estimation de la capacité d'un secteur ATC.

III.4. Etat de l'art des Techniques d'estimation de la capacité d'un secteur ou d'un poste de travail ATC :

Il est nécessaire de connaitre la capacité des secteurs de contrôle de la circulation aérienne ou des postes de travail ATC, pour deux raisons : premièrement, pour la planification à long terme, il est nécessaire d'avoir un avertissement suffisant de toute insuffisance future de la capacité, révélée par les prévisions de trafic; deuxièmement, si la capacité est déjà insuffisante et nécessite une régulation, il est nécessaire de connaitre la capacité afin de pouvoir limiter la circulation arienne à un niveau qui ne surchargera pas le système ou ne pénalisera pas excessivement les exploitants.

Au cours des dernières années, beaucoup de travail est consacré à l'étude de méthodes d'estimation de la capacité. Il faut relever particulièrement :

III.4.1. Méthode DORATASK :

La méthode effectuée par la Direction de la recherche et de l'analyse des opérations du Royaume-Uni : méthodologie DORATASK pour l'évaluation de la capacité sur les secteurs ATC en route.

Les activités DORATASK étaient axées sur l'évaluation du volume de travail du contrôleur radar; il s'agissait de faire la somme du temps passé à des tâches (observables) de routine et de résolution de conflits d'une part, et à des tâches de planification (non observables) d'autre part. Outre ces deux éléments apparentés des tâches du contrôleur, il y a avait un troisième élément - un temps de récupération. Ce temps correspondait à la proportion minimale du temps non consacré à des tâches spécifiées (observables ou non observables) mais jugée indispensable pour la sécurité dans le secteur. Le temps du contrôleur est donc divisé entre tâches observables, tâches non observables et périodes de récupération. Bien que le volume de travail soit déterminé par la somme du temps consacré à des tâches observables et à des tâches non observables, la capacité est considérée comme le niveau de travail qui laisse au contrôleur une marge suffisante de récupération.

 Les tâches observables : sont celles qui peuvent aisément être enregistrées et chronométrés par un observateur extérieur; exemples : communications radiotéléphoniques et téléphoniques, marquage de fiches et coordination par liaisons vocales directes. Les taches de routine se rapportant à un aéronef donné sont celles qui doivent être effectuées même s'il n'y a pas d'autres aéronefs dans le voisinage. Pour aller de A à B, tous les aéronefs ont besoin de contacter l'ATC pour recevoir certaines indications de cap et de niveau de vol et pour être passés au secteur suivant. La séquence des instructions de routine données à un aéronef est pratiquement déterminée par la route qu'il emprunte pour traverser le secteur, et par son origine et sa destination. On a donc évalué le volume de travail de routine en affectant les aéronefs à l'un des profils de vol normalisés pour la traversée du secteur; y sont associées des séquences fixes de tâches et, par conséquent, un temps d'exécution de tâches.

L'introduction d'un modèle de simulation a permis d'utiliser l'échantillon de trafic pour évaluer le nombre des occasions ou le contrôleur envisagerait de prendre des mesures additionnelles à cause de la présence d'un ou de plusieurs autres aéronefs, y compris des aéronefs

qui ne sont pas sur la fréquence du contrôleur. Le volume de travail total observable est la somme du temps consacré aux tâches de routine et à la résolution de conflits.

Le volume de travail de routine durant (par exemple) une heure d'observation dépend uniquement du nombre des aéronefs qui, dans chaque profil de vol, pénètrent dans le secteur. Le volume de travail de résolution de conflits, toutefois, augmente au cours d'une période de trafic de pointe, par distinction avec un écoulement normal.

 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 chronométrés par l'observateur. Ces taches, qui comprennent le monitoring de l'écran radar et la planification des mesures ultérieures, sont toutefois critiques dans le travail du contrôleur de secteur. Le volume de travail non observable a été déterminé au moyen du calcul, pour chaque aéronef à l'intérieur du secteur, du nombre de fiches qu'il engendre et du nombre d'autres fiches, déjà présentes sur les tableaux, qu'il faut vérifier par rapport à cet aéronef lorsqu'il est initialement confié au contrôleur radar. Ce nombre de vérifications a ensuite été multiplié par un « temps par vérification de fiche », et l'on a ainsi obtenu le volume de travail total non observable. Le temps d'une vérification de fiche n'a pas été considéré comme une durée exacte consacré à une tâche matérielle, mais comme un facteur calculé au moment de l'étalonnage du modèle, prenant en compte le temps consacré à la totalité de la tâche de planification. Ce dernier aspect est l'aspect principal de DORATASK qui a nécessité le plus de recherche détaillée. Ce genre de volume de travail augmente nettement au cours d'une période de trafic de pointe.

Le volume de travail mesuré dans un secteur donné et pour un échantillon de trafic est la somme des temps de travail observable et non observable. Pour arriver à une capacité, il a fallu déterminer une proportion minimale de temps dont le contrôleur doit disposer pour la récupération, afin d'assurer des conditions sécuritaires dans le secteur. Cette proportion augmente normalement avec la durée sur laquelle on prévoit que va se maintenir un taux d'écoulement au niveau de la capacité. Initialement, il avait été admis que le secteur opérerait à la capacité pendant une heure au maximum, sans changement de contrôleur ou sans diminution de

la circulation. On a ensuite poursuivi l'étude du degré auquel il faudrait diminuer l'écoulement de la circulation pour que la sécurité puisse être maintenue. Il a été admis que le temps consacré à chaque vérification de fiche, qui déterminait la pondération du volume de travail de planification, était de deux secondes, et ils ont abouti à la conclusion suivante :

« Le volume de travail moyen au niveau de la capacité doit être au-dessous de 80% et des volumes de travail de 90% ne doivent pas être dépassés plus de 2.5 % du temps. » [3]

L'étalonnage du modèle DORATASK s'est effectué en deux parties. Premièrement, le volume de travail prédit par le modèle a été comparé au volume de travail observé au cours de la période d'étude, et les paramètres du modèle ont été réajustés en conséquence. Deuxièmement, on a tracé une courbe du volume de travail en regard de l'écoulement du trafic pendant un certain nombre d'heures, pour deux secteurs dont la capacité avait été admise d'avance par d'autres moyens; à partir des résultats, on a abouti au critère de détermination de la capacité qui est exposé dans le paragraphe précédent.

Les modèles DORATASK du Royaume-Uni ont été utilisé pour la détermination de la capacité de secteurs d'espace aérien et la détermination des contraintes appliquées à l'écoulement de la circulation dans des régions terminales et dans des espaces aériens en route. Ils ont servi à établir un modèle du développement de l'espace aérien dans le sud-est de l'Angleterre au-delà de l'an 2000. [3]

III.4.2. Méthode MBB :

Les travaux de Messerschmidt, Bolköw et Blohm (MBB) en Allemagne, ont abouti à l'élaboration de la méthode MBB, relative aux estimations de la capacité d'un poste de travail ATC. Cette méthode est fondée sur la quantification du volume de travail d'un poste de contrôleur radar. Cela a été rendu possible :

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

b) par la mesure du temps nécessaire à toutes les catégories observées;

c) par la prise en compte de la capacité de l'espace aérien, qui dépend des risques de conflit à l'intérieur du secteur et par conséquent de la structure du secteur et des caractéristiques du trafic. Comme il n'a pas été possible d'observer toutes les unités de travail, les temps correspondants ont été enregistrés indirectement. Cela a été effectué par un travail supplémentaire destiné à enregistrer la capacité libre du contrôleur, c'est-à-dire le temps dont le contrôleur n'a pas besoin pour exécuter sa tache de contrôle.

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

a) durée des transmissions en radiotéléphonie;

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

C) temps nécessaire pour enregistrer et traiter les informations. Cela comprend les catégories ci-après, qui ne peuvent être qu'en partie observés directement :

I) dialogue de coordination entre contrôleur exécutif et coordonnateur;

2) notification visuelle des informations grâce à des affichages et des fiches;

3) utilisation de toutes les informations dans le processus de réflexion et de décision;

4) capacité libre mesurée grâce au travail supplémentaire.

Le temps nécessaire pour les catégories « enregistrement des informations » et « traitement des informations » a dû faire l'objet d'investigations indirectes. Le temps nécessaire mentionné ci- dessus résulte de la différence entre le temps nécessaire pour les catégories de travail qui peuvent se mesurer directement et le temps total disponible.

Les investigations effectuées pendant plusieurs périodes d'observation ont révélé que des situations de trafic différentes ou des genres différents de répartition du trafic aboutissaient à des volumes de travail différents. Par conséquent, il n'était pas possible de faire la conversion directe du temps nécessaire en une quantité d'aéronefs qui peuvent être contrôlés. A cet égard, il a fallu procéder à une étape additionnelle, à savoir évaluer chaque aéronefs selon le volume du travail et le temps nécessaire correspondant que le contrôle de ces aéronefs entraînait au poste de travail, selon le type de vol et la phase de vol.

La pondération définie comme « degré de difficulté de la tâche de contrôle », a été obtenue à partir de la mesure des durées de radiotéléphonie entre contrôleur et pilote. La valeur de base était la durée en pour exécuter une tache de contrôle de manière à faciliter le survol le plus possible sans changer aucun des paramètres de vol.

Cependant, la valeur de la méthode MBB n'a pas été indiscutable. Au cours des travaux sur cette méthode, il y a eu plusieurs modifications dans les critères d'évaluation qui, en partie, ont conduit à des résultats différents. Tout d'abords, la détermination du degré de difficulté d'un secteur a été critiquée, par exemple du fait que certains éléments du travail du contrôleur, tels que la tache de résolution des conflits, n'étaient pas suffisamment pris en compte. Par conséquent, les valeurs seuils de volume de travail (à titre d'indicateur de capacité) appliquées par l'organe de gestion des courants de trafic pour son travail sont aujourd'hui plus ou moins des « valeurs expérimentales », tirées de l'expérience des contrôleurs qui évaluent leurs propres organes. Des modifications de dimension des secteurs ont conduit à une adaptation correspondante des valeurs, encore une fois basée sur l'expérience des contrôleurs, mais à l'origine c'est la méthode MBB qui a donné les indications de base.

- **Inconvénients des deux méthodes :**

Les deux méthodes exposées ci-dessus portent essentiellement sur la mesure du temps nécessaire pour effectuer toutes les activités de contrôle et pour mettre ce temps en relation avec le temps total disponible. Il convient d'observer que ces méthodes demandent beaucoup de travail et, ce qui est encore plus important, aboutissent à des estimations de capacité qui s'appliquent uniquement aux conditions d'équipements, d'effectif, de réseaux de trafic, etc… qui règnent pendant la durée des observations. Elles ne peuvent pas être directement utilisées pour évaluer la capacité dans le cadre d'une future organisation de l'espace aérien, avec des équipements ou procédures différents, des volumes de circulation différents ou des effectifs différents.

III.4.3. Méthode de Brésil :

Au Brésil, la capacité de contrôleur régional est estimée en observant la capacité de ses secteurs, qui est obtenue analytiquement. De cette manière la méthode utilisée au Brésil peut être classée comme mésoscopique (ou certains détails supplémentaires sont prise en considération) et analytique (par des formules mathématiques). [8]

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

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

- **Echantillonnage de données pour estimer la capacité du secteur ATC :**

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

La méthode utilisée pour déterminer la capacité du secteur prend en compte 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 à certains moments du volume de trafic élevé.

Selon cette méthode, la charge de travail du contrôleur est la somme du temps consacré à chacune des tâches suivantes :

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

La méthodologie brésilienne applique au contrôleur le concept de « facteur de disponibilité » ( ), qui est défini comme 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 de disponibilité » ( ). Le pourcentage représenté par ce facteur ( ) pourrait augmenter si l'interface homme/ machine est renforcée ; c'est-à-dire lors de l'augmentation du niveau d'automatisation dans certaines tâches. [8]

Le nombre d'aéronefs pouvant être contrôlés simultanément par un seul contrôleur (N) dans un secteur est estimé à l'aide de la formule suivante :

$$N = \varphi . \delta . (\eta . \tau_m . \upsilon_m)^{-1} \qquad (1)$$

Etsi et $_m$ sontremplacésparletempsdevolmoyendel'aéronefdanslesecteur(T),cette formule peut être remplacée par une version plus simple :

$$N = \varphi . T . (\eta . \tau_m)^{-1} \qquad (2)$$

φ :Lefacteurdedisponibilitéducontrôleur,définicommelepourcentagede temps disponible pour planifier les procédures de séparation des aéronefs.

δ : La distance moyenne parcourue par les aéronefs dans le secteur, qui est une fonction des trajectoires et en route ou procédures terminales établies pour chaque secteur.

η : Le nombre de communication pour chaque aéronef dans un secteur, qui doit être limité au nombre minimum requis pour un possible record entre le pilote et le contrôleur. Ce nombre peut être minimisé en délivrantuneautorisationcomplètesuffisammentàl'avancepourlaplanification des vols.

τ_m: La durée moyenne de chaque message, ce facteur peut être minimisé en émettant des messages de manière objective, sans longues explications préjudiciables à la compréhension entre le pilote et le contrôleur.

υ_m : La vitesse moyenne des aéronefs dans le secteur.

φ, δ sont des facteurs directement proportionnels à la capacité ATC

η, τ_m, υ_m sont des facteurs inversement proportionnels à la capacité ATC.

- **Avantages de la méthode :**

✓ il ne nécessite aucun logiciel et il n'exige pas des valeurs constantes dérivées de bases de données que certains Etats n'ont pas encore disponible (c'est une méthodologie à faible coût)

✓ Utilisation d'un modèle applicable à la fois à la capacité du secteur ATC

✓ Formation standard pour les experts des Etats participant au projet.

III.4.4. Méthode de la charge de travail :

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

$$G=\sum_{j=1}^{J} \tau_j \lambda_j .$$

(3)

Ou τj est le temps nécessaire pour terminer la tâche j, et λj est le taux de son occurrence. Le modèle fournit un point de départ physique en affichant les tâches comme des segments distincts de la chronologie. La métrique *G* peut alors être considéré comme «intensité de la charge de travail» ou la fraction du temps disponible pendant laquelle un contrôleur de secteur est occupé à exécuter des tâches. Il existe une certaine valeur *Gm* à laquelle un contrôleur se sentira mal à l'aise d'accepter du trafic supplémentaire. Ce niveau de confort maximum définit la capacité du secteur. [9]

Ce modèle utilise quatre types de tâches, différenciées en fonction de leurs caractéristiques d'occurrence. La plupart des activités de contrôleur définies peuvent être affectées à l'un des quatre types de tâches : tâches de fond, de transition, récurrentes et les taches de conflit.

 Les tâches de fond se produisent sans égard au nombre d'avions dans le secteur. Nous considérons qu'elles se produisent à un taux moyen λb et nécessitent un temps moyen τb pour se terminer. Les tâches de fond comprennent des activités de routine telles que la configuration des écrans, la

coordination avec les gestionnaires et les superviseurs, l'entretien des zones de travail, la vérification des performances de surveillance et l'examen des prévisions météorologiques.

Ces tâches absorbent une petite fraction constante du temps du contrôleur

$$Gb = \tau b \lambda b \qquad (4)$$

 Les tâches de transition se produisent à chaque fois qu'un avion traverse le secteur. Elles comprennent des tâches telles que l'acceptation du transfert, le premier contact, la familiarisation avec les informations sur le plan de vol et la planification initiale de l'itinéraire. Les tâches de transition sont regroupées en considérant un temps moyen τt nécessaire pour se terminer et se produire à un taux moyen λt.

Le taux d'occurrence des tâches de transition est égal au nombre moyen d'avions dans le secteur *E [N]*, divisé par le temps de transit moyen à travers le secteur T. Ce taux est donc équivalent au débit du secteur:

$$\lambda t = E[N] / T \qquad (5)$$

 Les tâches récurrentes se produisent à plusieurs reprises tandis que chaque avion reste dans le secteur. Ces tâches nécessitent un temps moyen τr pour les terminer. Ils se reproduisent à un taux moyen λr, où

$$\lambda r = E[N] / P \qquad (6)$$

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

 Les tâches de conflit se produisent lorsqu'il y a des conflits entre deux avions. (Bien que les conflits entre trois avions ou plus soient une préoccupation majeure pour les contrôleurs, cette préoccupation est généralement déclenchée par un conflit par paire. Le taux de conflit entre plusieurs avions est trop petit par rapport au taux de conflit par paire pour nécessiter une manipulation séparée.) Les tâches liées aux conflits comprennent des activités telles que la détection des conflits, la vectorisation pour la résolution des conflits, la prise en compte des rencontres secondaires et la récupération des itinéraires après le conflit.

Les tâches de conflit sont regroupées en considérant un temps moyen τc nécessaire pour se terminer et se produire à un taux moyen λc. Pour un secteur avec un nombre d'aéronefs particulier Ns, le taux de conflit varie comme le carré de Ns multiplié par *B* divisé par le volume du secteur *Q*.

$$\lambda c = (B * Ns^2) / Q.$$

Dans cette équation, B est une constante physique basée sur les vitesses de fermeture des avions et les normes de séparation [10]:

$$B = 2M_h M_v E[V_{12}],$$

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

En général, le nombre de trafic dans un secteur N est une variable aléatoire [11], Si la densité volumétrique locale du trafic est κ, alors

$$\kappa Q = E[N].$$

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

$$\lambda_c = B\kappa(\kappa Q + 1). \qquad (7)$$

- **La charge de travail totale :**

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

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

Cela s'élargit à :

$$G = G_b + \tau_t \kappa Q_t /T + \tau_r \kappa Q_r /P + \tau_c B\kappa(\kappa Q+1). \qquad (8)$$

On calcul les termes liés à la vitesse (κ,T,B et Q) directement à partir de la géométrie du secteur et les paramètres de trafic. Les valeurs (G_b, τ_t, τ_r, P et τ_c) sont tous empiriques.

L'addition de fond, la transition, récurrent, et des taches de conflit atteignent une limite de confort Gm nominale de 80% (pour une densité de 16 aéronefs par 10000nm³). Lorsque G égale à 80% du temps total disponible, les contrôleurs déclarent que le secteur avait atteint sa charge maximale Gm. [10]

- **Avantages de la méthode:**

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

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

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

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

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

III.5. Conclusion :

La plupart des techniques d'estimation de la capacité ATC par secteur ou poste sont axées sur les taches exécutées par le contrôleur de la circulation aérienne en évaluant le volume de travail du contrôleur autrement dit la charge de travail, qui fait partie des paramètres 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 modèle basé sur la charge de travail permit de quantifier l'impact sur la charge de travail de la densité du trafic, de la géométrie du secteur, de la direction du flux et des taux de conflit air- air. Sa capacité à identifier les facteurs de charge de travail manuels dominants peut également aider à définir les avantages et l'efficacité de concepts alternatifs pour automatiser les tâches à forte charge de travail. Ce modèle fournit une base objective pour estimer la capacité de conception.

Chapitre IV

Traitement des données trafic et développement d'une application de calcul de capacité du secteur

IV.1. Introduction :

L'objectif de ce chapitre est de présenter une application développé pour le calcul de la capacité des secteurs de contrôle, dans le but d'estimer le nombre d'aéronefs qu'un contrôleur peut gérer simultanément suivant une méthode de calcul basée sur la charge de travail du contrôleur, et de calculer la capacité maximale du secteur. Enfin, les résultats obtenus par l'application ont été interpréter et comparer avec celles des données de trafic.

IV.2. outil de travail:

- Le traitement des données a été fait en utilisant Microsoft Excel 2010 et une plateforme « QlikSense ». QlikSense offre la visualisation et la découverte de données pour les individus et les équipes. Cet outil de découverte de données aide à explorer des données simples et complexes et à trouver toutes les associations possibles dans leurs ensembles de données. Avec l'interface glissé-déposer, les utilisateurs peuvent créer des visualisations de données interactives pour présenter le résultat sous forme des diapositives.

- Notre programme a été développé à l'aide de l'outil de programmation Matlab de la version 8.5.0.197613 (R2015a), qui est un environnement informatique conçu pour le calcul matriciel. Matlab est un outil puissant, qui permet la résolution de nombreux problèmes en beaucoup moins, de temps

IV.3. traitement et analyse des données statistiques du trafic:

Les données utilisées dans cette analyse sont tirées d'une base de données fournie par l'ENNA. Cette base de données contient tous les plans des vols effectués en 2019 sous forme des tables classées selon les mois de l'année, les enregistrements dans ces tables contiennent les informations présentes dans un plan de vol : date de vol, provenance, destination, numéro de ligne, type et immatriculation d'aéronefs, les points de route survolées avec le niveau et l'heure de survol et l'heure de début et du fin de contact.

Dans cette étude nous allons traiter le trafic aérien dans le secteur Nord-Centre géré par le CCR, et nous avons choisi le mois de juillet car il est le mois le plus chargé avec un nombre de 26154 vols.

- Le trafic horaire:

Le mois de juillet 2019 a vu une évolution remarquable du trafic aérien dans le secteur nord centre chaque heure, pendant chaque jour voir (la table IV.1) ci-dessous ;

Tableau IV.1 : Le trafic horaire en mois de juillet 2019 dans le secteur nord centre

Date/heure	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01072019	12	15	10	13	24	16	29	32	56	59	55	47	50	57	59	55	54	52	34	29	28	32	39	19
02072019	14	12	11	15	21	20	30	32	44	59	50	48	54	31	56	53	52	57	34	28	25	41	34	21
03072019	12	9	6	12	21	20	34	35	53	69	53	44	40	44	41	53	55	51	38	30	21	29	19	9
04072019	7	8	7	13	15	20	32	39	33	53	41	45	49	46	47	53	51	46	40	30	31	29	17	12
05072019	14	12	19	10	17	22	40	29	33	62	52	50	49	52	44	46	49	44	31	35	32	22	23	18
06072019	10	11	10	7	19	9	31	22	48	38	49	49	51	32	46	53	65	47	43	29	22	34	38	7
07072019	14	13	19	17	21	16	26	37	45	58	48	51	58	44	47	43	52	44	35	34	22	39	41	43
08072019	13	17	19	12	22	22	26	33	53	55	62	44	47	50	55	46	53	42	42	32	29	42	41	21
09072019	10	10	15	13	9	27	28	34	40	54	51	43	49	43	51	41	49	48	24	25	17	39	20	11
10072019	10	11	9	12	23	19	38	34	47	65	54	43	47	42	29	55	42	62	32	29	28	35	16	10
11072019	9	18	9	13	17	7	37	33	42	56	46	41	54	42	40	54	46	60	33	25	36	28	31	21
12072019	11	24	13	13	26	18	39	23	41	62	49	51	47	46	28	57	57	44	33	39	19	32	27	13
13072019	5	11	12	10	16	20	32	23	53	49	46	50	53	31	55	56	50	57	41	21	30	44	39	25
14072019	14	31	11	17	22	13	39	33	43	69	50	37	60	47	48	53	49	43	45	30	22	31	29	23
15072019	17	18	16	11	20	12	29	36	52	75	37	53	45	52	47	57	67	62	41	33	28	41	29	21
16072019	13	11	12	10	18	21	41	33	50	57	53	47	47	42	55	51	51	60	28	20	20	38	23	12
17072019	10	10	11	11	18	22	32	32	49	63	50	49	51	33	37	40	57	50	44	22	31	37	27	11
18072019	12	9	20	12	19	20	37	48	46	61	39	38	60	48	64	37	62	54	45	26	22	45	29	9
19072019	20	22	21	16	23	21	42	24	39	68	52	50	61	40	41	47	52	34	31	35	29	27	35	28
20072019	12	14	10	11	18	22	40	30	49	60	42	55	50	39	41	39	73	40	50	35	40	28	28	23
21072019	16	27	14	24	24	15	43	25	51	63	53	52	61	46	46	54	55	48	32	32	31	29	32	18
22072019	14	14	11	10	24	14	27	44	58	76	43	57	48	56	56	42	69	68	37	35	47	30	34	15
23072019	21	13	16	14	24	15	39	29	51	68	45	49	48	43	53	49	54	50	37	22	26	32	24	26
24072019	9	13	13	16	24	21	37	41	58	68	41	52	50	43	41	41	45	61	45	31	38	33	26	19
25072019	16	15	12	13	20	14	32	42	48	62	41	45	56	43	51	47	66	41	39	23	31	34	39	12
26072019	22	18	16	23	28	21	35	28	42	69	48	53	50	52	35	44	59	50	22	49	24	24	47	34
27072019	22	10	12	7	19	13	35	35	42	47	46	45	42	50	38	63	57	54	32	35	37	38	47	34
28072019	20	30	19	22	20	17	32	27	45	64	44	54	53	53	53	50	61	52	34	29	26	30	27	18
29072019	27	13	14	17	28	15	35	25	50	61	46	48	54	41	43	57	63	55	32	34	46	24	30	15
30072019	19	14	18	18	26	25	37	36	45	61	53	45	62	37	57	47	47	39	36	21	20	41	40	20
31072019	16	11	14	20	16	29	38	27	51	53	57	48	59	49	30	60	57	62	34	26	37	34	37	24
Moyenne	14	15	14	14	21	18	35	32	47	60,8	48	48	52	44	46	50	55	51	36	30	29	34	31	19

Chapitre IV. Traitement des données de trafic et développement d'une application de calcul de capacité du secteur

La table (IV.1) nous montre le nombre de trafic par heure du début de juillet 2019 jusqu'à la fin du mois.

Nous remarquons que dans une journée le nombre de vol a connu une croissance irrégulière jusqu'au pic (la colonne verte), après il connait une baisse relative.

On remarque aussi que Le trafic est beaucoup plus dense dans la semaine du 22/07/2019 à 28/07/2019 avec un nombre de 6118 vols durant cette semaine seulement.

- L'heure de pointe:

Le pic où le nombre de vol est maximale pendant ce mois, se produire à 9H d'après les calculs du nombre moyen de vol durant le mois de juillet donc la plage horaire où le trafic se maximalise va de 9h00 jusqu'à 9h59. (Voir figure IV.1)

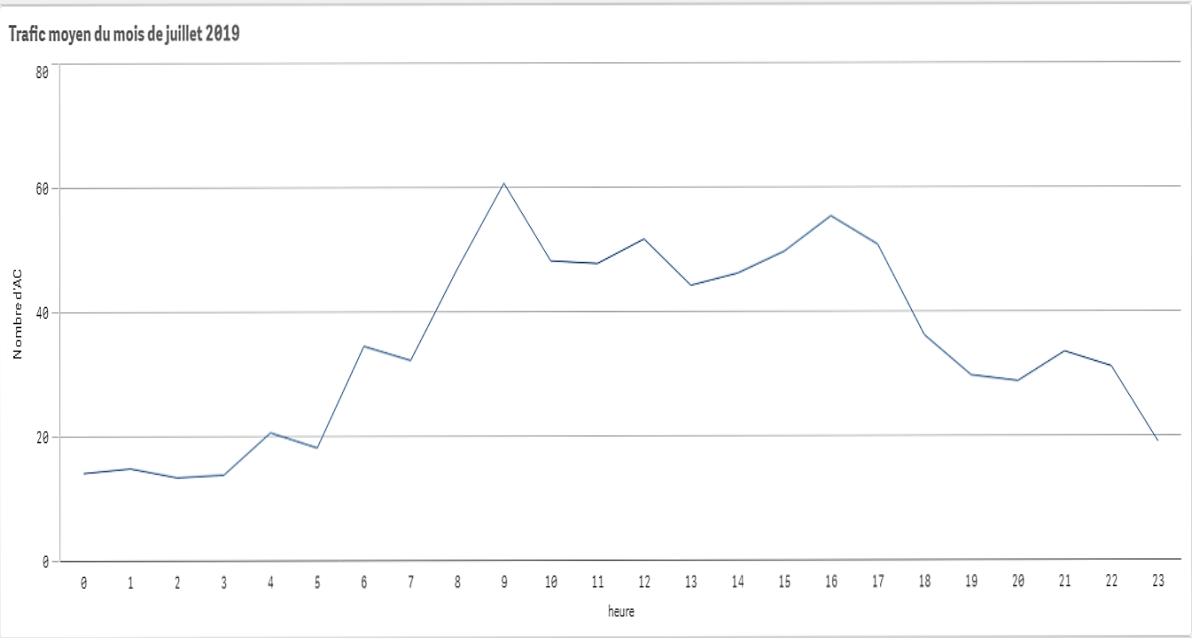


Figure IV.1 : Trafic moyen de juillet 2019 dans le secteur Nord-Centre

- Temps d'occupation du secteur :

Pour pouvoir déterminer la durée moyenne d'occupation du secteur, nous avons étudié le trafic passant par les routes les plus denses dans le secteur Nord-Centre :

- Route 1 (DAHRA – BABOR) : de l'ouest à l'est
- Route 2 (MOGIL – ZEM – CHLAL) : de Nord au Sud-sud-est
- Route 3 (PECES – ALR – CHIGA) : de Nord-nord-est au Sud-sud-ouest
- Route 4 (BOURI – ALR – CHIGA) : de Nord-nord-est au Sud-sud-ouest

Nous avons déterminé la durée moyenne d'occupation de secteur à travers le temps passé par tous les avions passant par ces routes à l'intérieur du secteur (durée entre l'heure de passage par le point d'entrée et l'heure de passage par le point de sortie), pendant la semaine de 22- 28/07/2019. Les résultats figurent dans le tableau (IV.2).

Tableau IV.2 : durée moyenne d'occupation

La route	Durée moyenne d'occupation
Route 1	21 Sec
Route 2	24 min
Route 3	26 min
Route 4	30 min
Temps moyen d'occupation du secteur	25min 1sec (1515 sec)

Depuis ces résultats, on trouve qu'un aéronef reste à l'intérieur dans le secteur Nord-Centre pendant une durée moyenne de 25min 1sec.

IV.4. 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 aérien spécifié, et calculer la capacité horaire du secteur. L'obtention des résultats est faite par les étapes suivantes :

- ✓ Introduire les données du volume et hauteur du secteur, de séparations verticale et horizontale 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 (VI.2) présente l'organigramme de l'algorithme de notre application :

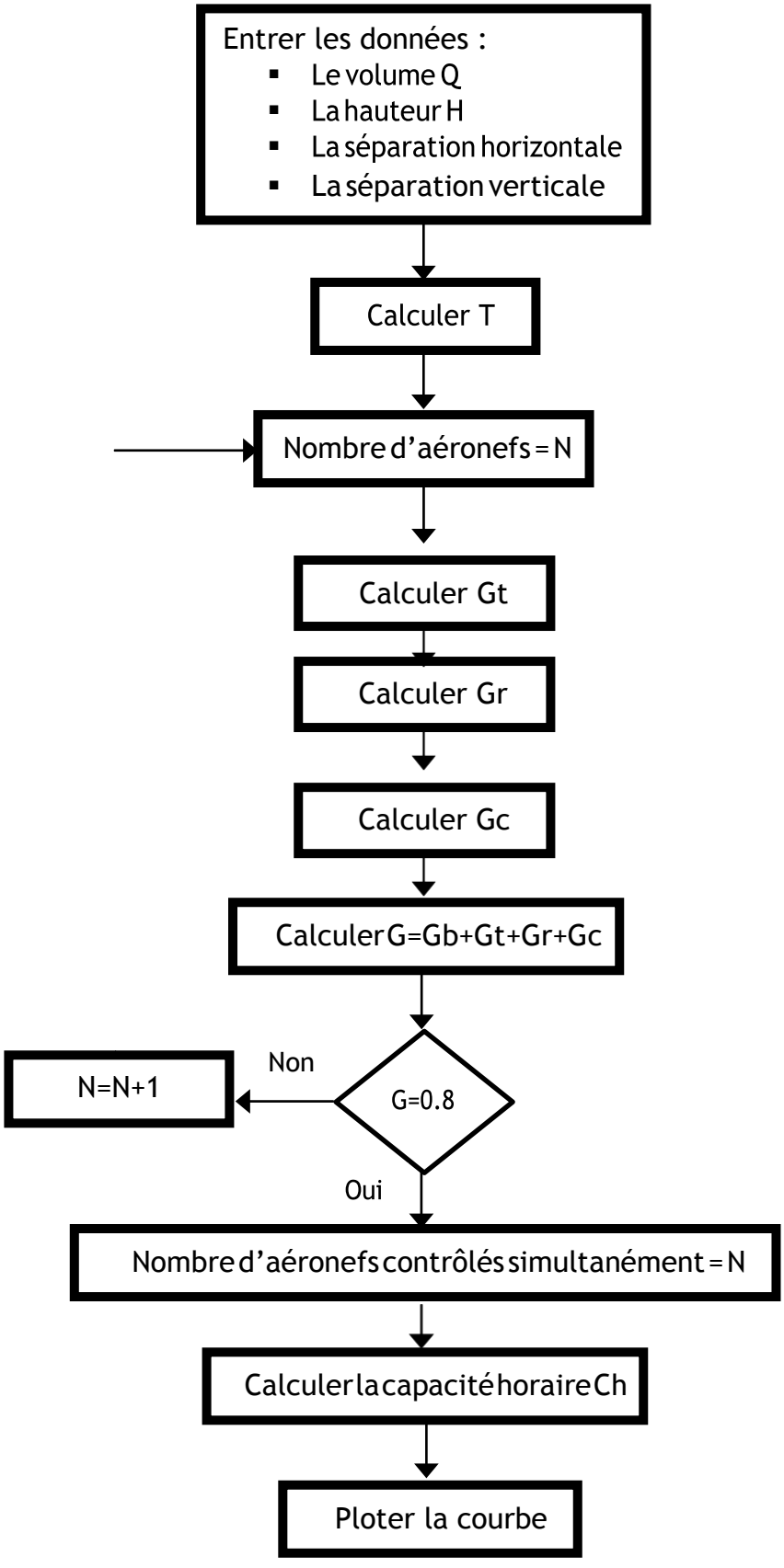


Figure IV.2 : Organigramme de l'application

IV.4.1. Les données utilisées :

Les données utilisées sont les caractéristiques des secteurs : Nord-Centre et Nord-Est.

Les séparations horizontales sont de 10NM et les séparations verticales est de 1000ft (0.165 NM).

La méthode de calcul de capacité basée sur la charge de travail suggère une $\boldsymbol{\tau_c}$ moyenne de 50s d'activité agrée pour chaque évènement de conflit, un $\boldsymbol{\tau_t}$ de transition de 15s et un $\boldsymbol{\tau_r}$ de récurrence de 2s[9].

La vitesse de fermeture de rencontre moyenne **E[V]**=440kt est basé sur une hypothèse de deux courants de circulation opposés situé 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 *9+.

IV.4.2. Les fonctions utilisées :

Nous avons calculé le temps de transit moyen $\boldsymbol{T}$ suivant l'équation :

$$\boldsymbol{T} = ((\boldsymbol{E}.\boldsymbol{Q})/\boldsymbol{H})^{1/2}/\mathbf{550} \qquad \mathbf{(1)}$$

Avec :

$\boldsymbol{Q}$ est le volume du secteur ;

$\boldsymbol{H}$ est l'altitude moyenne du secteur ; et

$\boldsymbol{E}$ est un ratio de la longueur par rapport à la largeur est de (1:1) si le secteur est carré, (2:1) et (4:1) si le secteur est rectangulaire. Dans notre programme est calculé pour un secteur de volume $\boldsymbol{Q}$ de forme rectangulaire de ratio =2 [9].

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

$$\boldsymbol{Ch} = \mathbf{k}.\boldsymbol{Q}/\boldsymbol{T}$$

Où :

$\mathbf{k}$ est la densité du secteur (nombre d'aéronefs /NM^3),

Q est le volume du secteur ;

H est l'altitude moyenne du secteur [10].

IV.4.3. Présentation de l'interface:

La figure (IV.3) présente l'interface de notre application :

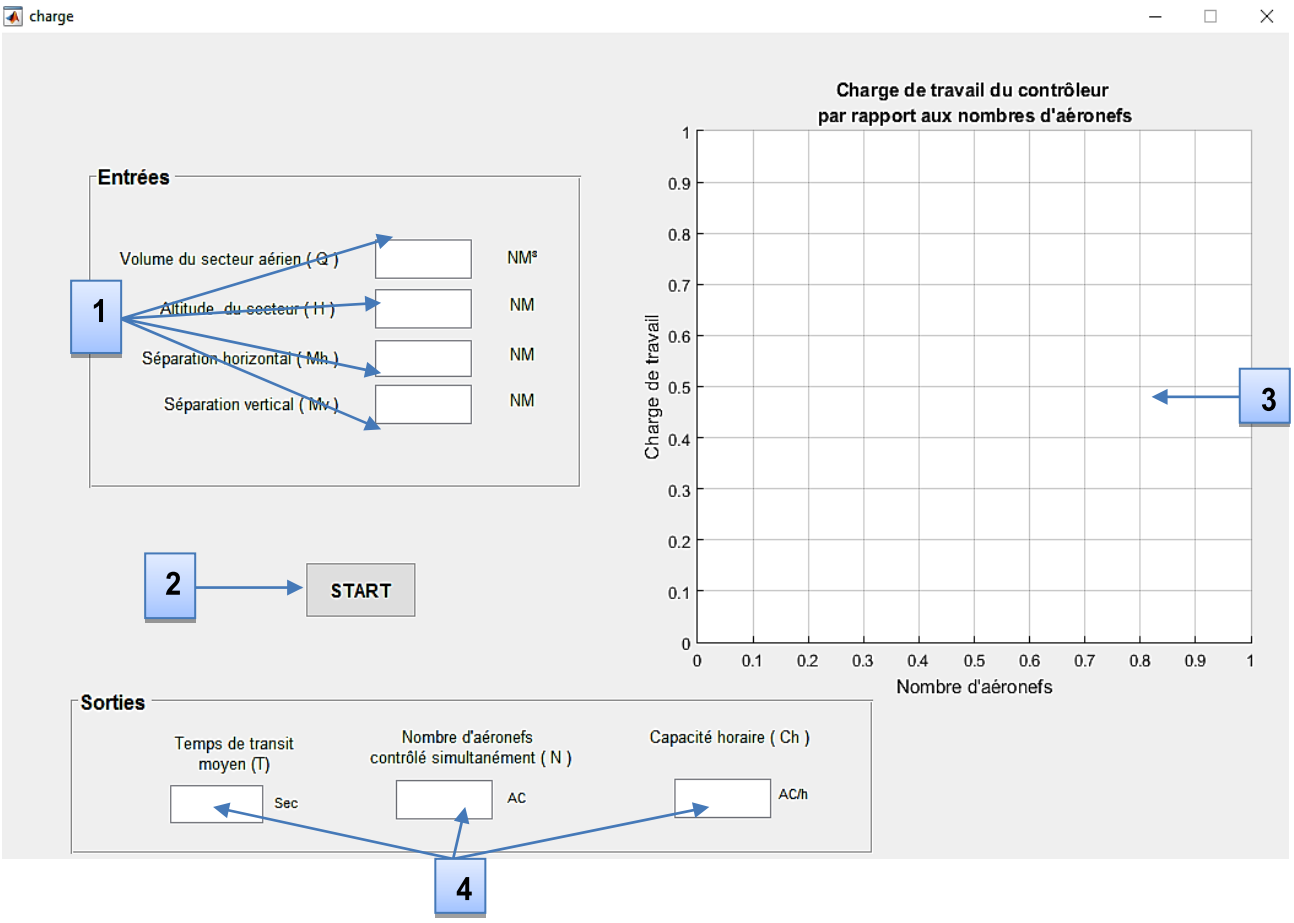


Figure IV.3 : Interface de l'application

- **1** : les entrées : volume du secteur, altitude du secteur et les séparations horizontale et verticale.
- **2** : le bouton « START » permet de lancer la simulation et les calculs de l'algorithme.
- **3** : zone d'affichage du graphe de la charge de travail du contrôleur par rapport aux nombre d'aéronefs.
- **4** : zone d'affichage de résultats obtenus de l'application.

IV.5. Présentation des résultats obtenus et interprétation :

Pour dérouler notre programme nous avons introduit les caractéristiques des deux secteurs Nord-Centre et Nord-Est de formes rectangulaires.

Les résultats que nous avons obtenus à l'aide de notre application, montrent le nombre d'aéronefsquipeuventêtrecontrôlésimultanémentparlecontrôleuretlacapacitéhoraire

- Secteur Nord-Centre :

Le secteur est de forme rectangulaire avec un volume de ***Q***=128524.379 NM^3, et une altitude de 30500ft(5.02NM),aprèsavoirentrénousavonsobtenulesrésultatsprésenterdans lafigure (IV.4).

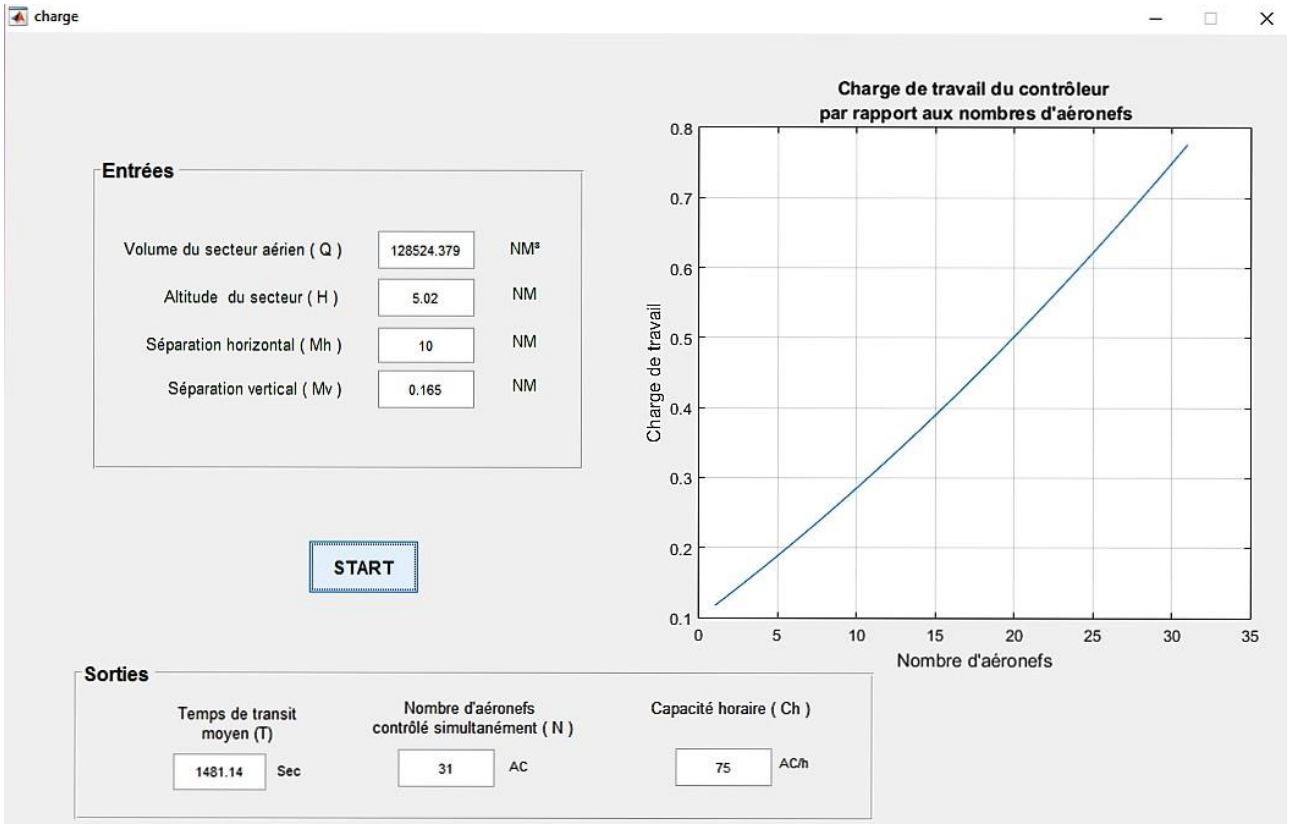


Figure IV.4 : Les résultats donnés par l'application pour le secteur Nord-Centre

Lesrésultatsnousmontrentquelecontrôleur,chargédusecteurNord-Centre,peutprendre en charge 31 aéronefs simultanément, et une capacité horaire de 75 aéronefs/h ; avec un temps de transit moyen de 1481.14sec.

❖ Secteur Nord-Est :

Le secteur (rectangulaire) Nord-Est est d'un volume de ***Q***=206932.066 NM^3, et une altitude de 30500ft (5.02 NM), nous avons obtenu les résultats par notre application comme le montre la figure (IV.5).

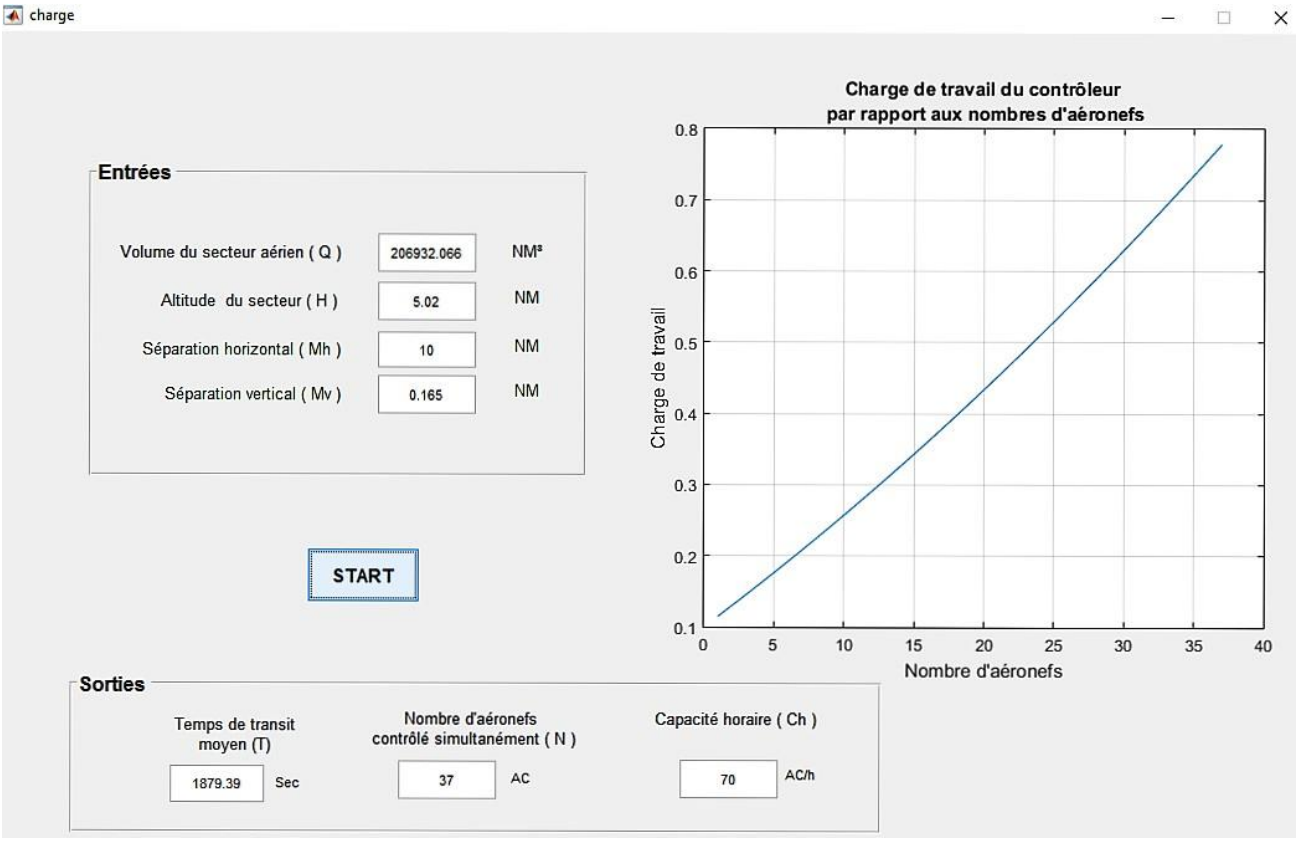


Figure IV.5 : Les résultats donnés par l'application pour le secteur Nord-Est

Nous remarquons que dans le secteur Nord-Est, le contrôleur peut gérer jusqu'à 37 aéronefs simultanément, avec un temps de transit moyen de 1879.39sec, et une capacité horaire de 70 aéronefs/h. Le grand temps de transit (31Min 19sec) implique que les aéronefs occupent le secteur pour une grande durée de temps ; plus l'aéronef reste dans le secteur plus la charge de transition diminue ce qui donne au contrôleur une possibilité de gérer plusieurs aéronefs simultanément, et, d'une autre part, empêche le contrôleur d'accepter plus d'aéronefs cela explique la baisse dans la capacité horaire par rapport au premier secteur.

Tableau IV.3: Présentation des résultats obtenus par l'application

Secteur	Volume (NM^3)	Temps de transit (sec)	Nb d'aéronefs contrôlés	Capacité horaire
Nord-Centre	Q=128524.379	T=24Min 41sec	31	75
Nord-Est	Q=206932.066	T=31Min 19sec	37	70

La lecture du tableau(IV.3) nous a beaucoup aidé à comprendre la relation entre la capacité du secteur avec le volume et le temps moyen de transit, et entre la charge de travail et 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 permet au contrôleur de gérer plus d'aéronefs simultanément.

Plus le contrôleur prend en charge un nombre élevé d'aéronefs simultanément 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 secteur est grand, plus le temps de transit moyen est grand, plus la capacité horaire diminue, cela est due au temps d'occupation du secteur. Les grands secteurs ne peuvent pas supporter des densités de trafic de pointe aussi élevées que les petits secteurs.

IV.6. Comparaison des résultats de l'application avec l'étude de trafic dans le secteur Nord-Centre :

On remarque que le temps de transit calculé depuis l'étude des données de trafic du secteur Nord-Centre (Tableau IV.2) qui est égale à 25Min 1sec est très proche de celui calculé par notre application (24Min 41sec), avec une erreur de 20sec, donc on peut appliquer la limite de la capacité horaire indiqué par l'application (75 Aéronefs/h) dans le secteur Nord-Centre.

En appliquant la capacité horaire précédemment mentionnée, et en comparant avec le trafic horaire en mois de juillet 2019 (Tableau IV.1), on trouve que :

- Le 15/07/2019 pendant l'heure de pointe (9h) avec 75 aéronefs/h, le trafic a atteint la limite des aéronefs qui peut être pris en charge en une heure,
- Le 22/07/2019 pendant l'heure de pointe avec 76 aéronefs/h. la capacité a été dépassée, et des complications (dégradation de qualité des services, conflit …etc.) auraient pu survenir à cause de ça.

Conclusion

Le travail présenté dans ce mémoire nous a permis d'étudier le problème du calcul de la capacité du secteur ATC qui se manifeste aujourd'hui par des retards, des problèmes de congestion et qui risque de poser des problèmes de sécurité à plus long terme. Nous avons fait une étude sur le trafic aérien de juillet 2019 dans le secteur nord centre.

Notre but étant d'étudier les différentes méthodes utilisées pour estimer la capacité d'un secteur. Pour développer les calculs, nous avons utilisé une application sous environnement Matlab (qui nous donne une estimation du nombre d'aéronefs pouvant être contrôlés par heure) basée sur la méthode de la charge de travail par ce que cette méthode regroupe tous les paramètres qui influent sur la capacité.

L'application nous a permet d'avoir une estimation de la capacité (nombre d'aéronefs par heure) des deux secteurs : Nord-Centre et Nord-Est, depuis ces estimations nous avons abouti à la conclusion suivante :

> « La charge de travail est inversement proportionnelle à la durée moyenne de transit à travers le secteur ».

Enfin, les résultats obtenus par l'application ont été comparé avec celles des données de trafic aérien. Cette comparaison a montré l'exactitude des résultats obtenus de notre application.

ANNEXE A

DEFINITIONS

ANNEXE A

DEFINITIONS

Un secteur aérien : Est une portion de l'espace aérien de dimension définit dans laquelle un poste de contrôle aérien assure la sécurité des vols en séparent les aéronefs entre eux.

Les secteurs de contrôle sont généralement regroupés en zones géographiques, leur répartition se fait de manière différente suivant le pays.

Capacité d'un secteur ATC : Le nombre maximal d'aéronefs qui peuvent être acceptés au cours d'une période donnée dans le secteur de l'espace aérien.

Un conflit aérien : Est une situation spécifique, pendant lesquels deux aéronefs ou plus sont en positions trop proches, veut dire les distances horizontales et verticales entre eux sont inférieures à la distance minimale de séparation.

Route ATS : Projection à la surface de la terre de la trajectoire d'un aéronef, trajectoire dont l'orientation en un point quelconque est généralement exprimée en degrés par rapport au nord (vrai, magnétique).

Point de transfert de contrôle : Point défini situé le long de la trajectoire de vol d'un aéronef ou la responsabilité d'assurer les services du contrôle de la circulation aérienne à cet aéronef est transférée d'un organisme de contrôle ou d'un poste de contrôle à l'organisme ou au poste suivant.

Centre de contrôle régional : Organisme chargé d'assurer le service du contrôle de la circulation aérienne pour les vols contrôlés dans les régions de contrôle relevant de son autorité.

Espacement : Intervalle ménagé par un organisme du contrôle de la circulation aérienne entre les positions de deux aéronefs et exprimé en distance horizontale, en différence de niveau ou en temps de vol.

Clairance : Autorisation accordée à un aéronef de manœuvrer dans des conditions spécifiées par un organisme du contrôle de la circulation aérienne.

Pour plus de commodité, on emploie souvent la forme abrégée (autorisation) lorsque le contexte précise la nature de cette autorisation.

Cette forme abrégée (autorisation) peut être suivie des mots de circulation au sol, de décollage, de départ, en route, d'approche ou d'atterrissage pour indiquer la phase du vol à laquelle s'applique l'autorisation du contrôle de la circulation aérienne.

Flux de trafic : Le débit à laquelle les aéronefs traversent le secteur au cours d'une période de temps donnée.

Séparation : Distance entre deux aéronefs, deux niveaux, deux trajectoires.

Performances humaines : Capacités et limites de l'être humain qui ont une incidence sur la sécurité et l'efficacité des opérations aéronautiques.

REFERENCES

[1] Document OACI 4444, Procédures pour les services de navigation aérienne ; « Gestion du trafic aérien », quinzième édition -2007.

[2] Annexe11del'OACI,**«**Servicedelacirculationaérienne**»**,quinzièmeéditionjuillet2018.

[3] Document OACI 9426, **«** Manuel de planification des services de la circulation aérienne **»**, première édition-1984.

[4] PublicationdesinformationsaéronautiqueAlgérie(AIPALGERIE), ENR2-1-1**,**(25APR19).

[5] Caroline Martin, Thèse doctorat, « La gestion de la charge mentale des contrôleurs aérien en-route », Université Toulouse 2 Le Mirail (UT2 Le Mirail), Le Vendredi 06 Septembre 2013.

[6] BRUNILDE GIRARDET, Thèse doctorat, « Détermination optimale et globale des trajectoires d'avions en présence de vent », Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (INSA de Toulouse), Le 02 Décembre 2014.

[7] Peter Brooker, "Control workload, airspace capacity and future systems", Cranfield University, UK2003.

[8] Roberto Arca Jaurena, "Guide for the application of a common methodology to estimate airport and ATC sector capacity for the same region". Regional Project: ICAO RLA/06/901. Lima, Peru, 6 to 17 July 2009 Version 1.0.

[9] Jerry D. Welch, John W. Andrews, and Brian D. Martin "MACROSCOPIC WORKLOAD MODEL FOR ESTIMATINGENROUTESECTORCAPACITY"M.I.T.LincolnLaboratory,Lexington

[10] Andrews and Welch, "Workload Implications of Free Flight Concepts", 1st USA/EUROCONTROL ATM Seminar, Saclay, France, 1997.

[11] Roy, Sridhar, and Verghese, "An Aggregate Dynamic Stochastic Model for an Air Traffic System", 5th USA/Europe ATM Seminar, Budapest, Hungary, 2003.