



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

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA-1-

Institut d'Aeronautique Et Des Etudes Spatiales

Département Navigation Aérienne

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme master en Aéronautique
Option : Opérations Aériennes

Thème

*Etude et conception d'une application pour calculer la
charge de contrôle*

Réalisé par :

M^{lle} ARAB Yamina

M^{lle} KHENCHOUCH Zohra

Promoteur:

KOUIDER ELOUAHED

Boulenuar

Promotion: 2018

Remerciements

Tout d'abord, louange à ALLAH, notre créateur de nous avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Je tiens ensuite à remercier mes parents pour le soutien inconditionnel dont ils ont fait preuve depuis que mon projet professionnel est défini. Merci pour le soutien financier, moral, psychologique et matériel. Si je suis ici aujourd'hui, c'est grâce à vous.

Je tiens à remercier vivement notre promoteur Mr.KOUIDER ABD ELOUAHED Boulenouar, enseignant à l'institut d'aéronautique et des études spatiales pour son aide et ses orientations efficaces, je lui exprimer toute ma gratitude.

Je remercie cardinalement les membres de jury qui ont consacré de leurs temps pour examiner notre travail et juger notre comportement.

Dédicace

✿ Je dédie ce travail à ... ✍

A ma très chère mère Fatima

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A mon très cher Père l'haj'Kaddour

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A ma très chère sœur khadidja

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous. Malgré la distance, vous êtes toujours dans mon cœur. Je vous remercie pour votre hospitalité sans égal et votre affection si sincère. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A mes très chers frères Lakhdar, Ahmed, Abd El Kader

Mes chers frères, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A mon très cher frère Adda

Mon cher petit frère présent dans tous mes moments d'examens par son soutien moral et ses belles surprises sucrées. Je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Je t'exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

Dédicace

Je dédie ce travail à ;

*Mes très chers parents mon père **KHENCHOUCH** boumendjel et ma chère mère **khadidja** pour m'avoir encouragé et permis d'entreprendre la formation aéronautique, pour leur soutien et tous les efforts Qu'on m'a donnée le long de mon parcours et je leurs souhaite bonne santé et Longue vie. Sans eux, je n'en serais pas là.*

*Un grand merci à Mon promoteur **Mr.KOUIDER EL OUAHED BOULENOUAR** d'avoir accepté de diriger mon travail de Master.*

*Mon frères **ISSAM**, mes sœurs **MERJEM** et **AMEL** en particulier, et à tous ma grande famille en générale*

*Mes proches amies **YAMINA mechri**, **WAHIBA hadjissi**, et **ZEYNEB gahama** m'ont toujours étant encouragé et soutenus.*

A tous ceux qui m'ont aidé de prêt et de loin.

ZOHRRA khenchouch.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
DEFINITIONS	3
CHAPITRE I : LA GESTION DU TRAFIC AERIEN.....	6
I.1 Introduction	7
I.2 La division de l'espace aérien	7
I.2.1 Zones à statut particulier	8
I.2.2 Classification des espaces aériens.....	8
I.2.3 Division de l'espace aérien Algérien	8
I.3 Routes Aériennes.....	11
I.4 Subdivision des services de la circulation aérienne.....	12
I.4.1 Le service de contrôle	13
I.4.2 Le service d'information de vol (FIS : Flight Information Service).....	14
I.4.3 Le service d'alerte.....	14
I.5 Conclusion.....	14
CHAPITRE II : LE CONTROLE AERIEN	15
II.1 Introduction	16
II.2 Le contrôle en route	16
II.2.1 Techniques de contrôle pour le contrôle en route.....	17
II.2.2 Les types de contrôle	17
a) Le Contrôle radar.....	17
b)-Le contrôle aux procédures (classique).....	18
II.2.3 Le binôme de contrôle en route	18
II.3 Outils de travail de contrôleurs	19
II.4 Les phases de traitement de vol au sein d'un secteur.....	21
II.5 Les missions confiées au contrôle aérien	22
II.6 Les limitations humaines.....	23
II.6.1 La fatigue.....	23
II.6.2 Stress.....	23

II.7 La charge de travail et le stress	24
II.8 Conclusion.....	25
CHAPITRE III : CONTRAINTES POUR LA GESTION DE L'ESPACE AERIEN ...	26
III.1 Introduction.....	27
III.2 Sectorisation.....	27
III.2.1 Problème de sectorisation de l'espace aérien	27
III.2.2 Capacité de secteur et saturation	30
III.3 Congestion des secteurs de contrôle	33
III.3.1 Types de congestion	33
III.3.2 L'impact de la congestion aérienne.....	34
III.3.3 Les solutions au problème de congestion :.....	34
III.3.4 Les phases d'exécution des opérations d'ATFCM	36
III.3.5 Décongestion des secteurs de contrôle en route par le processus « d'Allocation des Créneaux aux Départ ».....	37
III.4 Conflit	37
III.4.1 La résolution de conflit	38
III.4.2 Type de manœuvres utilisées	40
III.4.3 Méthode de résolution de conflit.....	41
III.5 Conclusion sur le système actuel	42
CHAPITRE IV : CHARGE DE CONTROLE DANS UN SECTEUR	43
IV.1 Introduction	44
IV.2 Caractérisation de la tâche de contrôle	44
IV.3 Les facteurs de La charge de travail des contrôleurs.....	45
IV.4 Nécessité de l'automatisation	46
IV.5 La modélisation de la charge du contrôle	48
IV.5.1 Charge de résolution des conflits	48
IV.5.2 Charge de coordination	52
IV.5.3 Charge de monitoring.....	53
IV.5.4 Modélisation mathématique de la charge de contrôle.....	54
IV.6 Conclusion	54
CHAPITRE V : LA REALISATION DE L'APPLICATION.....	56
V.1 Introduction.....	57

V.2 Environnement de développement.....	57
V.2.1 L'environnement matériel	57
V.2.2 L'environnement logiciel	57
V.3 Déroulement de notre application	61
V.3.1Présentation du programme suivi	61
V.3.2 Page d'accueil.....	62
V.3.3 Menu principal	62
V.3.4 Lancement de la simulation (2D)	64
V.4 Conclusion	68
CONCLUSION GENERALE	69
BIBLIOGRAPHIE	70

ملخص

قد تواجه وحدة التحكم في الهواء مواقف صعبة خارج قدرات دماغه لإدارة المجال الجوي. الذي يدفع لاتخاذ تدابير قديمة.

يمكن تقسيم هذا الحمل إلى ثلاث فئات: المراقبة، والتنازع والتنسيق، حتى الآن، لا يوجد قرار جدي لأتمته إدارة المجال الجوي. البحث والعمل الذي تم إنجازه لهذا الأمر وقبل كل شيء بعد إضراب التحكم في الولايات المتحدة الأمريكية.

تشتمل أتمته إدارة المجال الجوي على ثلاثة محاور رئيسية:

• القطاع الديناميكي

• ازدحام الفضاء الجوي.

• حل النزاعات ؛

لإثبات أهمية هذا الأخير، يجب علينا دراسة عبء العمل في وحدة تحكم في وقتمعينوفقا لثلاث معايير:

• الصراع؛

• المراقبة ؛

• التنسيق.

الكلمات المفتاحية :

ازدحام؛ الصراع؛ عبء العمل..

RESUME

Le Contrôleur Aérien peut rencontrer des situations délicates qui dépassent les capacités de son cerveau pour gérer l'espace aérien. Ce qui induit de prendre des mesures archaïques.

Cette charge peut se diviser en trois classes : surveillance, conflit et coordination, jusqu'à ce moment, il n'y a pas de décision sérieuse pour automatiser la gestion de l'espace aérien. Les recherches et les travaux réalisés pour cela et surtout après la grève des contrôleurs aux USA.

L'automatisation pour la gestion de l'espace aérien fait appel à trois grands axes :

- La Sectorisation Dynamique ;
- La Congestion de l'espace aérien.
- la Résolution de conflit ;

Pour démontrer l'importance de ces dernières, il faut étudier la charge de travail chez le contrôleur à un instant (t) selon trois paramètres :

- Conflit ;
- Surveillance ;
- Coordination.

Les mots clés :

Gestion de l'espace aérien, congestion, conflit, charge de travail...

Abstract

The Air Controller may encounter tricky situations beyond the capabilities of his brain to manage airspace. Which induces to take archaic measures.

This load can be divided into three classes: monitoring, conflict and coordination, until now, there is no serious decision to automate the management of airspace. The research and the work done for this and above all after the strike of the controllers in the USA. Automation for airspace management has three main thrusts:

- Conflict resolution;
- Dynamic sectorization;
- Congestion of airspace.

To demonstrate the importance of the latter, it is necessary to study the workload at the controller at a time t according to three parameters:

- Conflict ;
- Surveillance ;
- Coordination.

Key words

Air space management, congestion, conflict, workload...

LISTE DES FIGURES

Figure II-1 Les points noirs sont des points de report réels, les points bleus sont des points de report fictifs.....	12
Figure II-2 plan de vol pour un vol entre Toulouse (LFBO) et Bordeaux (LFBD)	12
Figure II-3 Les trois types de contrôle aérien existants.....	14
Figure III-1: L'image radar ODS	20
Figure III-2 le stip papier et le tableau des strips	20
Figure III-3 les moyens de communication des contrôleurs.....	21
Figure IV-1 La contrainte de temps de passage minimum.....	28
Figure IV-2 Un point de croisement trop proche de la frontière	28
Figure IV-3 Le secteur A n'est pas convexe au sens des routes	29
Figure IV-4 Le secteur A n'est pas connexe	29
Figure IV-5 le découpage de l'espace aérien Algérie en secteur de contrôle.....	30
Figure IV-6: point tournant	41
Figure IV-7: offset.....	41
Figure : V-1 le cycle de la tâche de contrôle	45
Figure V-2 Techniques classiques de résolution	48
Figure V-3 Zone intrinsèque de conflit au croisement de deux routes aériennes.....	49
Figure V-4 Croisement à deux routes	50
Figure V-5 Exemple de secteur de contrôle	50
Figure V-6 Réseau contenant les trois cas possible de coordination.....	52
Figure VI-1 NetBeans.....	58
Figure VI-2: Exécution de JDK.....	59
Figure VI-3: Fin d'installation de JDK	59
Figure VI-4: début d'installation de NetBeans.....	60
Figure VI-5: l'organigramme de l'application.....	61
Figure VI-6: Page d'accueil de l'application.....	62
Figure VI-7: Menu principal de l'application.....	63
Figure VI-8: Menu principal de l'application (après la division de l'espace).....	63
Figure VI-9: flux généré	64
Figure VI-10: Quelques lignes (itinéraire) entre avions et secteurs.	64
Figure VI-11 Flux d'avion dans chaque secteur avant la simulation	65
Figure VI-12: Les avions en mouvements.....	65
Figure VI-13: Statistiques de chaque secteur à l'instant T_i de la simulation	66
Figure VI-14: Etats des avions en calculant les N_c	66
Figure VI-15: Nouvelle Statistique de chaque secteur à l'instant T_j de la simulation après avoir calculer les N_c	67
Figure VI-16: Matrice flux de convergence	67
Figure VI-17 le calcul de la charge de contrôle dans le secteur 1	68

LISTE DES EQUATIONS

Équation 1: la charge de résolution de conflit pour chaque nœud.....	51
Équation 2: la charge de résolution de conflit pour le secteur.....	51
Équation 3: la charge de coordination pour le secteur.....	53
Équation 4: la charge de monitoring pour le secteur	54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1 La classification de l'espace aérien en Algérie	9
--	---

LISTE DES ABREVIATIONS

ATFM: (En) Air Traffic Flow Management

ATM:(En) Air Traffic Management

CCR: (Fr) Centre De Contrôle Régional

CFMU:(En) Central Flow Management Unit

CNS: (En)Communication, Navigation And Surveillance

UIR : (En) UPPER Information Region

FIR: (En) Flight Information Region

FL: (En) FlightLevel

IFR:(En)Instrument Flight Rules

NM:(En) Nautical Miles

TWR: (En) TOWER

APP:(En)APPROACH

CCS : (Fr)Centre De Coordination De Sauvetage

ODS : (En)Operational Display Système

STCA : (En)Short Terme Conflit Alert

VOR: (En)VHFomnidirectional Radio Range

DME: (En) Distance MeasuringEquipment

NDB:(Fr)Balise Non Directionnelle

RVSM : (Fr)Minimum de séparation verticale réduit

VHF:(En)Very High Frequency

ATFCM : (En)Air Traffic Flow Management

ATS : (En) Air Traffic Services

TCAS : (En)Airborne Alert And Collision Avoidance System

ASM: (En)Air Space Management

TOS: (En) Traffic Orientation Scheme

OACI: (Fr) Organisation de L'aviation Civile Internationale

TMA: (En) Terminal Maneuvering Area

UTA: (En) Upper Control Area

SAR : (En) Search and Rescue

IFPS: (En) Initial Flight Plan Processing System IFR

INTRODUCTION GENERALE

Un secteur de contrôle est un domaine limité de l'espace traversé par des routes aériennes, pour lequel une équipe de contrôleurs assure la sécurité des vols qui y transitent en séparant les aéronefs entre eux. Plus le nombre d'avions dans un secteur est important, plus la charge de contrôle induite augmente (de façon non linéaire). Il existe une limite au delà de laquelle le contrôleur en charge du secteur ne peut plus accepter de nouveaux avions et oblige ces derniers à contourner le secteur en traversant des secteurs voisins moins chargés. En effet, lorsque le trafic ne peut être dévié, il est mis en attente dans les secteurs amonts faisant augmenter progressivement la charge de contrôle de ces derniers jusqu'à ce qu'ils soient saturés. Le seuil au delà duquel le secteur est saturé est très difficile à estimer car il dépend de la géométrie des routes qui le traversent, de la géométrie du secteur lui-même, de la répartition des avions sur les routes, des performances de l'équipe de contrôle... etc. Un seuil généralement admis est de 3 conflits et 14 avions dans un secteur donné. Cette charge maximum ne doit pas perdurer plus de 10 minutes car elle provoque un fort stress des contrôleurs qui risquent alors de ne plus pouvoir assurer la gestion du trafic dans des conditions optimales de sécurité.

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

Les critères qualitatifs regroupent essentiellement les facteurs humains dont principal est le stress. Tous les contrôleurs ne réagissent pas de la même façon face à une situation de trafic difficile et il est donc délicat de fournir un modèle "mathématique" de stress applicable à tous les contrôleurs. On peut seulement préciser que le stress est directement lié aux critères quantitatifs suivants : Charge de conflit, Charge de coordination; et charge de monitoring.

Il existe d'autres charges de contrôle, facilement quantifiables mais leur impact sur l'ensemble de la charge secteur est négligeable par rapport aux trois précédentes.

Le but de notre travail est de préciser et quantifier chacune de ces trois charges de contrôle avant de fournir un modèle mathématique de la charge globale dans un secteur un secteur aérien. Ce mémoire est articulé de la façon suivante:

1. La gestion du trafic aérien:Ce chapitre présente les principes généraux du service de la circulation aérienne, l'organisation de l'espace aérien et les recommandations de l'OACI.
2. Le contrôle aérien: Dans ce chapitre nous présentons le système de contrôle aérien en route en mettant l'accent sur les facteurs influençant les performances de l'humain.
3. Contraintes pour la gestion de l'espace aérien: Ce chapitre traite la problématique de la capacité et explique la notion de la congestion en décrivant une situation conflictuelle et les différentes résolutions de conflit utilisées.
4. Charge de contrôle dans un secteur :ce chapitre est mis les points sur les trois types de la charge de contrôle avec la modélisation de chacune de ces trois charges on terminera par la modélisation de la charge globale
5. Application pour le calcul de la charge de contrôle: Ce chapitre est consacré à la description de l'application développée pour calculer la charge de contrôle ainsi que les résultats obtenus sur un échantillon du trafic .
6. Conclusion: nous terminons par une conclusion, après avoir fait le point sur la solution proposée dans ce mémoire.

DEFINITIONS

-Contrôle en route : il s'agit du contrôle à l'extérieur des zones entourant les aéroports (dans ces derniers on parle de contrôle d'approche).

-Secteur de contrôle : l'espace aérien est divisé en secteur de contrôle .chaque secteur est confié à un, ou plus souvent deux, contrôleurs, qui ont la charge d'assurer la séparation des aéronefs dans cette portion de l'espace. Le transfert d'un avion d'un secteur à un autre secteur fait l'objet d'une coordination entre les contrôleurs en charge de chacun des deux secteurs.

-séparation : on définit une distance horizontale exprimé en milles nautique (NM),la séparation horizontale est une distance vertical exprimé en pied (ft): le séparation verticale.On dit que deux avions sont séparés quand la distance qui sépare leurs projections sur un plan horizontale est supérieure à la séparation horizontale ou quand la différence de leurs altitudes est supérieure à la séparation verticale.

-Cluster : un cluster d'avions est une fermeture d'avions en conflits potentiels. Si l'avion A est en conflit potentiel avec l'avion B et si l'avion B est en conflit potentiel avec les avions C et D, alors on dit que les avions A, B, C et D appartiennent au même cluster. On trouvera par la suite l'expression conflit à n avions qui signifie en fait cluster à n avions.

-Un conflit aérien : est une situation spécifique, pendant laquelle deux avions ou plus sont en positions trop proches. On doit différencier les deux types de conflit aérien: local et opposite :

Un conflit local : paraît si deux avions ou plus volent à travers un point donné (presque toujours une ville) et si des conditions comme les suivantes sont données :

- La différence de temps est 4 minutes ou moins au passage en un même point.

- La distance horizontale est 30 unités de longueur ou moins.

Un conflit opposite : paraît lors de la présence des conditions suivantes :

Au moins deux avions se rencontrent.

-Pendant le vol, la différence de temps est 4 minutes ou moins au passage en un même point.

-Pendant le vol, la distance horizontale est 30 unités de longueur ou moins.

-Un secteur aérien : est une portion de l'espace aérien dans laquelle un poste de contrôle aérien gère les flux d'avions entrants et sortants, on le définit formellement comme l'association de :

- un contour géographique (ensemble de points latitude/longitude) ;
- une altitude minimum ;
- une altitude maximum.

Formant alors ce que l'on appelle un secteur élémentaire. Des secteurs élémentaires peuvent être regroupés formant alors un secteur de contrôle.

-Capacité d'un secteur : le nombre d'avions pouvant traverser ce secteur par heure.

-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.

-Espace aérien non contrôlé : Espace de trafic moindre, où l'intervention des services de la circulation aérienne est limitée à l'information et l'Alerte.

-Gestion des courants de trafic aérien (ATFM) : Service destiné à contribuer à la sécurité, à l'ordre et à la rapidité de l'écoulement de la circulation aérienne en faisant ensorte que la capacité ATC soit utilisée au maximum et que le volume de trafic soit compatible avec les capacités déclarées par l'autorité ATS compétente.

-Plan de vol : Ensemble de renseignements spécifiés au sujet d'un vol projeté ou d'une partie d'un vol, transmis aux organismes des services de la circulation aérienne.

-TCAS : abréviation de 'Traffic-alert and Collision Avoidance System' est un système de surveillance indépendant. TCAS est un système d'assistance 'advisory system' désigné pour

alerter l'équipage d'un vol donné d'un conflit potentiel avec d'autres avions 'intrus' équipée du même transpondeur et évoluant dans le même espace aérien.

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

-Route ATS : Route déterminée destinée à canaliser la circulation pour permettre d'assurer les services de la circulation aérienne

-Niveaux de croisière : Les niveaux de croisière auxquels doit être effectué un vol ou une partie d'un vol seront exprimés :

a) en niveaux de vol, pour les vols effectués à un niveau égal ou supérieur au niveau de vol le plus bas utilisable ou, le cas échéant, à un niveau supérieur à l'altitude de transition

b) en altitudes, pour les vols effectués à une altitude inférieure au niveau de vol le plus bas utilisable.

-Un créneau : un créneau est défini comme « la période considérée d'un jour et d'une heure pendant laquelle un aéronef doit arriver à un aéroport ou en partir ».

Chapitre I : LA GESTION DU TRAFIC AERIEN

I.1 Introduction

Nous allons étudier dans ce chapitre, les services de la circulation aérienne selon les recommandations de l'annexe 11 de l'organisation de l'Aviation Civile International (OACI) qui porte sur la division de l'espace aérien en conformité avec la réglementation en vigueur, ainsi que les différentes classifications des espaces aériens.

I.2 La division de l'espace aérien

L'espace aérien n'est pas entièrement contrôlé, seules des portions d'espace le sont. En 1992, l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) a uniformisé l'appellation des différents espaces aériens (contrôlés ou non), maintenant répartis en différentes classes de A à G qui correspondent à différents niveaux de service rendu ainsi qu'à différentes conditions de respect des conditions VMC (Visual Meteorological Conditions) autorisant le vol VFR. Les classes de l'espace aérien peuvent être divisées en deux groupes :

Espaces contrôlés : les espaces aériens contrôlés correspondent aux classes A, B, C, D et E. Lorsqu'un vol est dit contrôlé, il bénéficie des services rendus par l'organisme chargé du contrôle de l'espace dans lequel il est entré. Pour les vols VFR, les conditions VMC en espace contrôlé changent selon que le vol s'effectue en-dessous ou au-dessus du niveau de vol FL1003. Un espace aérien n'est contrôlé que pendant les horaires de fonctionnement de l'organisme chargé d'y assurer le service de contrôle de la circulation aérienne. Aux heures de fermeture de l'organisme du contrôle, l'espace aérien est non contrôlé.

Espaces non contrôlés: les espaces aériens non contrôlés correspondent aux classes F et G. Le pilote peut évoluer librement dans le respect des règles de l'air et des exigences propres à l'espace dans lequel il se trouve. Il peut bénéficier de l'information de vol, si elle existe.[7]

L'espace aérien comporte deux étages bien distincts :

- L'espace aérien inférieur appelé FIR (Flight Information Region) : va de 450 mde la surface de la terre ou de l'eau au niveau de vol FL245 inclus.
- L'espace aérien supérieur appelé UIR (Upper Information Region) : il va du niveau FL245 à l'infini.

I.2.1 Zones à statut particulier

- Zone Interdite P (Prohibited) :Espace aérien de dimension définie, dans les limites du quel le vol des aéronefs est interdit.
- Zone Réglementée R (Reglemented) :Espace aérien de dimension définie à l'intérieur duquel les aéronefs en CAG sont subordonnés à des conditions spécifiées.
- Zone Dangereuse D (Dangerous) :Espace aérien de dimension définie à l'intérieur duquel se déroulent, pendant des périodes spécifiées, des activités qui peuvent être dangereuses pour les aéronefs. [11]

I.2.2 Classification des espaces aériens

Les espaces aériens ATS seront classés et désignés comme suit :

Classe A :seuls les IFR sont admis tous les aéronefs sont contrôlés, séparations assurées.

Classe B :les IFR et les VFR sont admis, tous les aéronefs sont contrôlés, séparations assurées.

Classe C :les IFR et les VFR sont admis tous les aéronefs sont contrôlés, séparations assurées.

Classe D :les IFR et les VFR sont admis, les aéronefs IFR sont contrôlés, séparations assurées entre IFR, informations de circulation à tous les vols.

Classe E :les IFR et les VFR sont admis les aéronefs IFR sont contrôlés, séparations assurées entre IFR informations de circulation à tous les vols dans la mesure du possible

Classe F :les IFR et les VFR sont admis les aéronefs IFR bénéficient du service consultatif, tous les aéronefs bénéficient du service d'information de vol à la demande, séparations assurées entre IFR dans la mesure du possible pas d'autorisation mais des suggestions de manœuvre aux IFR.

Classe G :les IFR et les VFR sont admis, tous les aéronefs bénéficient du service d'information de vol à la demande.[12]

I.2.3 Division de l'espace aérien Algérien

A l'intérieur de la FIR ALGER, l'espace aérien est divisé en quatre (04) Catégories : A, D, F et G plus au moins équivalentes aux catégories recommandées par l'OACI. Trois (03)

Catégories D, C, et E qui ont été adoptées par l'ALGERIE sont disponibles à des fins d'utilisation mais à l'heure actuelle aucune portion de l'espace aérien n'a été classée dans ces catégories.[14]

Les espaces aériens sont classés comme indiqués dans le tableau suivant :

Tableau I-1 La classification de l'espace aérien en Algérie [14]

Désignation	Limites latérales	Limite verticale Classification
1	2	3
TMA CENTRE ALGER Espace supérieur	Segments de droite joignant les points : 3729 N 00130 E – 3820 N 00345 E – 3900 N 00440 E – 3900 N 00500 E – 3540 N 00500 E – 3540 N 00130 E – 3729 N 00130 E.	FL 450 FL 245 Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus A
TMA CENTRE ALGER Espace inférieur	Segments de droite joignant les points : 3729 N 00130 E – 3820 N 00345 E – 3900 N 00440 E – 3900 N 00500 E – 3540 N 00500 E – 3540 N 00130 E – 3729 N 00130 E.	FL245 450MGND/MSL (1) Espace CVSM D
TMA NORD/EST	Segments de droite joignant les points : 3900 N 00800 E – 3656 N 00839 E – Point intersection de la frontière Algéro-Tunisienne avec la cote méditerranéenne – Puis Frontière Algéro-Tunisienne jusqu'à son intersection avec le parallèle 3448 N ensuite, segments de droite joignant les points : 3448 N 00500 E – 3900 N 00500 E – 3900 N 00800 E	FL450 450MGND/MSL (2) Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus D
TMA ORAN	Segments de droite joignant les points : 3729 N 00130 E – 3615 N 00130 W – 3550 N 00206 W - Point intersection de la frontière Algéro-Marocaine avec la cote méditerranéenne – Puis Frontière Algéro- Marocaine jusqu'à son intersection avec le parallèle 3300 N. Ensuite, le parallèle 3300 N	FL 450 (3) Espace RVSM entre FL290 et FL410 inc

	jusqu'au point 3300 N 00130 E Enfin, le méridien 00130 E jusqu'au point 3729 N 00130 E.	
SECTEUR SUD/CENTRE	Segments de droite joints les points : 3540N00130E-3540N00500E- 2830N00500E2830N00130E-3540N00130E.	FL 450 900MGND Espace RVSM entre FL290 et FL410 incl
SECTEUR SUD/EST	3448N00500E jusqu'au point intersection de la frontière Algéro/Tunisienne avec le parallèle 3448N, ensuite la frontière Algéro/Tunisienne, puis frontière Algéro/Libyenne jusqu'à l'intersection de parallèle 2600N avec la frontière Libyenne, puis le point 2600N00500E jusqu'a 3448N00500E.	FL 450 900MGND (4) Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus E
SECTEUR SUD/OUEST	3300N001300E jusqu'au point intersection de la frontière Algéro/Marocaine avec le parallèle 3300N, puis la frontière Algéro/Marocaine jusqu'au point 3026N00530W, ensuite 2915N00530W-2915N00130E-3300N00130E.	FL 450 900MGND Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus E
SECTEUR SUD/SUD	3026N00530W-2840N00840W- 2720N00840N, puis la frontière Algéro/Mauritanienne-frontière Algéro/Malienne et frontière Algero/Nigérienne jusqu'au point 233054N0115954E- puis la frontière Algéro/Libyenne jusqu'au point intersection de la frontière Algéro/Libyenne avec le parallèle 2600N.	FL 450 900MGND Espace RVSM entre FL290 et FL410 inclus E

(1) Sauf dans la zone de contrôle (CTR) d'Alger.

(2) Sauf dans les régions de contrôle (CTA) de Constantine et de Annaba.

(3) (a) à l'intérieur du cercle de 25 NM de rayon centré sur 353817 N 0003444 W. Limite inférieure 300 M GND/MSL.

(b) à l'extérieur du cercle limite inférieure FL 45 ou 300 M GND lorsque le FL 45 se trouve moins de 300 M/ GND.

(c) au-dessus des zones de contrôle incluses dans ses limites latérales, la limite inférieure de la TMA est fixée au plafond de ces zones.

(4) Sauf dans la zone de contrôle (CTR) de Hassi Messaoud.[14]

I.3 Routes Aériennes

Une route aérienne est une succession de segments dans le plan horizontal, dont les extrémités – les points de report ou waypoints – sont situées au-dessus des moyens de radionavigation au sol (e.g. balises VOR). Du fait de l'emplacement de ces moyens de radionavigation, qui nécessitent un terrain particulier pour leur installation et sont en nombre limité, le suivi de ces routes est contraignant et coûteux en termes de temps de parcours et de carburant consommé. La précision des moyens de radionavigation embarqués récents a permis la création d'un nouveau type de route : les points de report ne sont plus les balises elles-mêmes, mais des points fictifs qui peuvent être déduits des valeurs de relèvement des balises voisines. Ce mode de navigation est appelé Area Navigation (RNAV). La(figure I-1)montre une portion du réseau de routes aériennes tel qu'il existe actuellement et illustre les deux modes de navigation évoqués ci-dessus. Le mode RNAV offre des possibilités très intéressantes en ce qui concerne quel que soit le mode de navigation choisi, il est nécessaire pour planifier un vol IFR de déposer un plan de vol, c'est-à-dire d'informer les organismes de contrôle de la route que l'on souhaite emprunter. Le plan de vol consiste notamment en une série de points de report, ainsi qu'une heure prévue de décollage et un niveau de vol de croisière souhaité (voir figureI-2).[6]

Le dépôt de ce plan de vol doit se faire au minimum trois heures avant le décollage. Ce délai permet aux autorités de contrôle et de régulation de connaître les intentions de chaque avion, et ainsi de déterminer les volumes de l'espace aérien qu'ils prévoient de traverser.

Les plans de vol pour les vols réguliers assurés par des compagnies aériennes peuvent en outre être déposés automatiquement, le dépôt pouvant être fait un ou deux jours avant.[6]

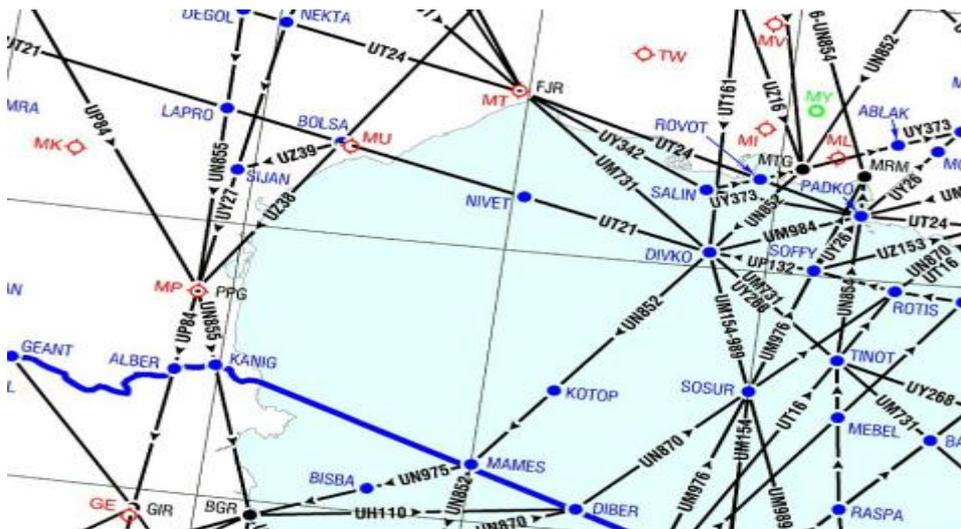


Figure I-1 Les points noirs sont des points de report réels, les points bleus sont des points de report fictifs

3 TYPE DE MESSAGE/ Message type << = (FPL	7 IDENTIFICATION DE L'AÉRONEF Aircraft identification — F I G T Y I	8 RÉGLE DE VOL Flight rules — I	TYPE DE VOL Type of flight G << =
9 NOMBRE/Number — 1	TYPE D'AÉRONEF/Type of aircraft T R I J N	CAT. DE TURBULENCE DE SILLAGE Wake turbulence cat. / L	10 ÉQUIPEMENT/Equipment — S D / S << =
13 AÉRODROME DE DÉPART/Departure aerodrome — L F B O	HEURE/Time 1 2 0 0 << =	15 VITESSE/Cruising speed — N 0 1 5 0	
NIVEAU/Level F 0 8 0 →		ROUTE/Road AGN R17 MIRBA	
16 AÉRODROME DE DESTINATION Destination aerodrome — L F B D	DURÉE TOTALE ESTIMÉE/Total est HR MIN 0 1 0 0	AÉRODROMES DE DÉGAGEMENT/altit aerodromes 1 ^{er} /First → L F B E → 2 ^e /2nd → << =	

Figure I-2 plan de vol pour un vol entre Toulouse (LFBO) et Bordeaux (LFBD)

I.4 Subdivision des services de la circulation aérienne

Au fur et à mesure de l'augmentation du trafic aérien, il s'est avéré nécessaire de mettre en place des structures pour assister les activités aéronautiques et pour régler le flux de la circulation aérienne.

Le contrôle de la circulation aérienne (ATC), le service d'information de vol et le service d'alerte, qui ensemble constituent les services de la circulation aérienne, figurent parmi les principaux organes auxiliaires au sol nécessaires à l'acheminement sûr et ordonné du trafic aérien dans le monde. [7]

I.4.1 Le service de contrôle

Le service du contrôle de la circulation aérienne consiste à assurer la séparation entre aéronefs et à les guider, dans des espaces contrôlés. Ce service est instauré dans le but :

- De prévenir les abordages entre les aéronefs ;
- De régler et d'accélérer la circulation aérienne ;
- De prévenir les collisions entre les aéronefs qui évoluent au sol et les obstacles.

Les organismes chargés du service du contrôle assurent également le service d'information de vol ainsi que le service d'alerte.

Le service de contrôle se subdivise en trois parties selon la phase du vol à laquelle il s'applique:

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

1. D'empêcher les collisions sur l'aire de manœuvre ;
2. D'assurer l'acheminement sûr, ordonné et rapide de la circulation aérienne.

- **Le contrôle d'approche (APP : Approach)** : Service du contrôle de la circulation aérienne pour les aéronefs en vol contrôlé, à l'arrivée et au départ. Il s'effectue par un bureau d'approche ou un centre de contrôle régional (CCR). La fonction de ce service est de prévenir les abordages entre aéronefs, ordonner la circulation aérienne sur les phases d'arrivée et de départ.

- **Le contrôle régional (CCR : Centre De Contrôle Régional)** : Assure la sécurité du trafic aérien en route et lorsque l'aéronef passe d'un aérodrome à un autre. Il prend en charge la montée en dehors des régions terminales, la croisière et le début de la descente jusqu'à la prise en charge par l'approche du terrain d'arrivée. Il est effectué par un centre de contrôle en route dont le but est de prévenir les abordages entre aéronefs, d'accélérer et régulariser la circulation aérienne. [7]

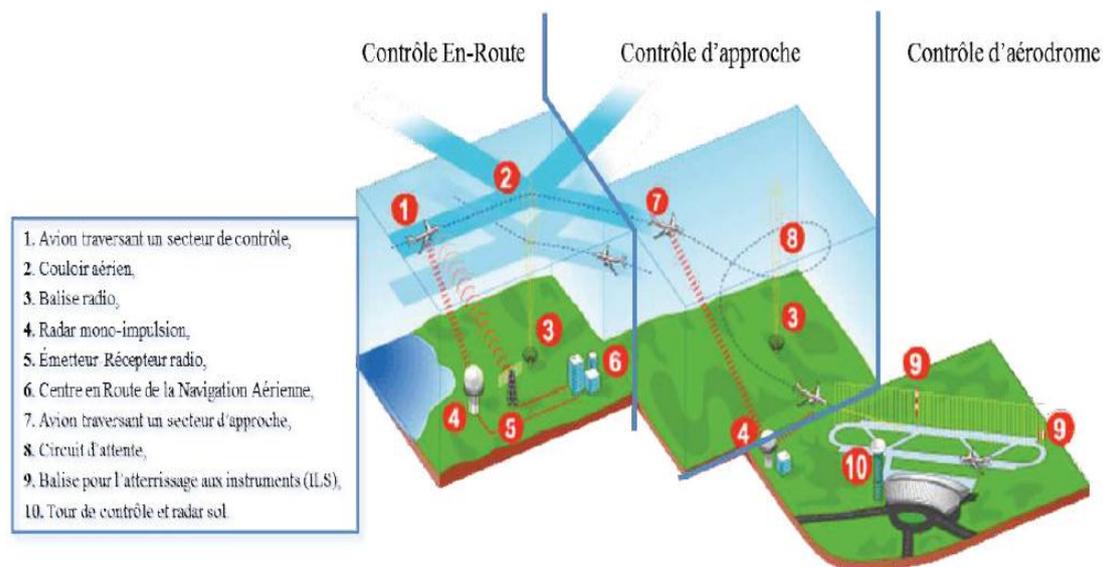


Figure I-3 Les trois types de contrôle aérien existants [10]

I.4.2 Le service d'information de vol (FIS : Flight Information Service)

Le rôle de ce service est de délivrer toute information utile à l'exécution sûre et efficace des vols. Il permet de disposer durant le vol de renseignements concernant les conditions météorologiques sur le parcours, l'état des aérodromes et des installations radioélectriques, sans oublier l'information de trafic qui pourrait être considérée en tant que situation conflictuelle. L'information de vol peut aller jusqu'à la transmission de suggestions de manœuvres pour éviter les abordages. Les organismes chargés du service d'information de vol assurent également le service d'alerte. [7]

I.4.3 Le service d'alerte

Ce service a pour rôle de déclencher l'alerte auprès des organismes de recherche et de sauvetage. Il est fourni par tous les organismes de la circulation aérienne (organismes de contrôle ou d'information) à tous les aéronefs qui se déclarent ou qui se trouvent en situation d'urgence. Ce service assuré par le SAR a comme courroie de transmission avec les organes de la circulation aérienne le CCS (Centre de Coordination et de Sauvetage). [7]

I.5 Conclusion

Comme nous l'avons vu dans ce chapitre, pour mieux gérer l trafic aérien, l'espace aérien est subdivisé en secteurs et affecté par une équipe de contrôleurs chargés d'assurer la séparation entre les aéronefs, tout cela et d'autres seront détaillés dans le chapitre suivant.

Chapitre II : Le contrôle aérien

II.1 Introduction

la congestion du ciel est en passe de devenir le facteur limitant de la croissance du trafic aérien, et la pression des compagnies aériennes se fait de plus en plus forte pour que la gestion du trafic soit à la fois plus souple et plus efficace.

Dans ce chapitre nous présentons le système de contrôle aérien en route en mettant l'accent sur les facteurs influençant les performances de l'humain.

II.2 Le contrôle en route

Le contrôle en route prend en charge tout le trafic (national et international) qui pénètre dans sa zone de responsabilité. Il concerne généralement les aéronefs en phase de croisière. En Algérie le centre de contrôle régional de CHRARBA est le seul qui assure les services de la CA pour tout la FIR d'Alger.

L'espace aérien est découpé en secteurs géographiques placés sous la responsabilité de contrôleurs aériens chargés d'éviter les collisions entre les aéronefs, et d'assurer une circulation fluide.

Le contrôle en route est assisté par un système de gestion de trafic automatisé nommé EUROCAT, ce dernier permet de fusionner les données radar, les données plan de vol, ainsi que les données de report de position des aéronefs (actualisation des profils de vol), chose qui permet de déterminer avec précision la position réelle de l'aéronef, afin de prévoir et identifier les éventuels conflits, et présenter aux contrôleurs l'alarme adéquate pour attirer leurs attention.

Grâce à ce système, le contrôleur dispose d'une image radar qui lui permet de visualiser la situation de contrôle du trafic, pour lui faciliter encore plus la tâche, la notion de couleur a été introduite afin de distinguer les différents vols.

Nous pouvons constater donc que l'acquisition de ce système a permis de réduire considérablement la charge de travail des contrôleurs, le passage au contrôle radar aurait permis aussi de diminuer les séparations entre aéronefs et par conséquent, augmenter les capacités des secteurs.[10]

II.2.1 Techniques de contrôle pour le contrôle en route

À chaque secteur de contrôle est associée une position de contrôle. À l'intérieur, les contrôleurs maintiennent chaque avion séparé du reste du trafic en donnant aux pilotes des instructions. Chaque avion doit respecter une séparation horizontale et verticale avec les autres avions de façon à se protéger de tout risque de collision ou de perturbation aérodynamique. Lorsque cette norme de séparation est violée, le terme de conflit aérien est utilisé. Différentes mesures d'évitement peuvent être prises par le contrôleur radar. Les trois instructions données à un pilote peuvent être : une modification du niveau de vol, un changement de cap ou une modification de sa vitesse. Les avions évoluant de manière différente pour un contrôle en approche ou en-route, le choix de la mesure d'évitement à prendre diffère suivant le type de contrôle. étrer dans ce volume de protection. L'ordre donné aux avions durant la phase en-route est le plus souvent un changement de cap.

- **Un changement de niveau de vol** induit une hausse significative de la consommation et n'est pas toujours possible pour respecter les contraintes aérodynamiques (poids de l'avion, vitesse).
- **Un changement de vitesse** peut être difficile à visualiser pour le contrôleur puisque celui-ci doit être très faible. Le contrôleur ne peut pas visualiser directement sur le radar si le pilote a bien effectué l'ordre qu'il lui a été demandé, un changement de vitesse n'étant pas immédiat.
- **Le changement de cap** est quant à lui immédiat et permet au contrôleur de visualiser facilement la modification.

II.2.2 Les types 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 un écran radar.

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

- **Assistance radar** : fournit aux aéronefs des informations relatives à leur position et aux écarts par rapport à leur route.
- **Surveillance radar** : utilise le radar pour mieux connaître la position des aéronefs.
- **Guidage radar** : donne des caps aux aéronefs afin de leur faire suivre une trajectoire spécifiée.[10]

b)-Le contrôle aux procédures (classique)

Qui est effectif en Algérie. Il consiste à la gestion des flux aériens, où le positionnement d'un appareil se fait 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 s'assure les séparations en conformité avec les standards OACI conformément aux aides à la navigation utilisées.

II.2.3 Le binôme de contrôle en route

En contrôle en route, les contrôleurs aériens travaillent en binôme. Chaque binôme gère le trafic aérien s'écoulant sur un secteur de contrôle. Au sein du binôme, on distingue :

- **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 dont le binôme a la charge (une dizaine de minutes avant leur arrivée) ;

-La deuxième est d'analyser le devenir de la situation pour en détecter les risques de conflit susceptibles de se produire en entrée et en sortie du secteur ;

-La troisième est de résoudre, si possible, ces conflits par la demande d'intervention (modification de trajectoires d'avions(s)) du binôme de contrôleur adjacent 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 l'état de la situation à l'instant t (quantité de trafic, complexité du

trafic géré, profils des avions en conflits...), l'organique peut être amené à avertir son binôme pour celui-ci puisse agir sur la situation.[5]

- **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. Au minimum le contrôleur a deux échanges vocaux avec chacun des pilotes : le message « bonjour » quand l'avion rentre dans le secteur, le message « au revoir » quand l'avion s'oriente vers un autre secteur.

Le radariste a pour rôle principal de superviser la situation de trafic aérien d'y détecter et résoudre les conflits susceptibles de se produire. Pour cela, le radariste se crée une représentation mental de la situation de trafic qu'il supervise ; il anticipe la position future des avions afin de détecter le conflit susceptibles de se produire. En fin, pour les conflits dont le risque est avéré, il va définir une solution permettant d'écartier les avions impliqués. Pour rendre effective cette solution, le contrôleur va communiquer aux pilotes concerné là où les modifications des trajectoires à effectuer, que l'on appelle ordre pilotage ou encore clairance.[5]

II.3 Outils de travail de contrôleurs

Les binômes de contrôleurs En-Route travaillent sur une position constituant un module de contrôle appelé GEODE. On distingue trois principaux outils au sein de la position de travail des contrôleurs:

- **L'image radar**

L'image radar utilisée (figure III.1) s'appelle ODS (Operational Display System). Cet outil constitue une représentation graphique de la situation de trafic que les contrôleurs doivent gérer. Le contenu de l'image radar, est donc la position des avions, s'actualise toutes les 8 secondes en fonction des données communiquées par les radars au sol. L'image radar a pour arrière-plan la géographie du secteur avec les différentes routes aériennes qui le composent.

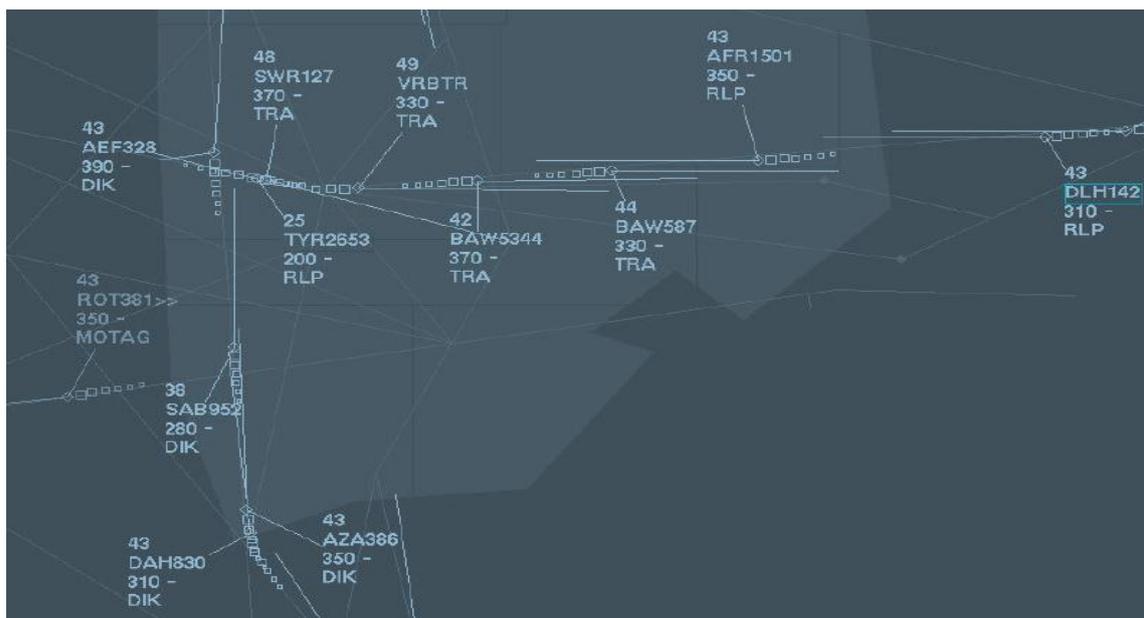


Figure II-1: L'image radar ODS

- **Le strip papier**

Il constitue, comme son nom l'indique, une bande de papier. Elle est destinée à matérialiser un vol. En contrôle En-Route, un strippapier est imprimé sur la position de contrôle, dix minutes avant l'entrée d'un volsur le secteur associé. Les strips imprimés relatifs au secteur sont disposés par le contrôleur organique et à destination du contrôleur radariste sur un tableau de strips (Figure II.2). Le contrôleur radariste va répartir les strips en fonction de la nature de la situation supervisée.

Le strip est composé de trois parties principales, avec de gauche à droite : la case « informations générales » (identification du vol) ; la case « coordination et niveaux » (étapes de vol dans le secteur) ; la case « route et archive » (itinéraire détaillé du vol).

Le strip fait office de « pense-bête » pour le contrôleur.

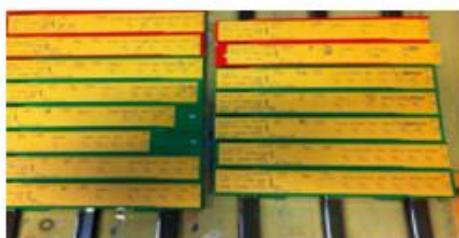


Figure II-2 le strip papier et le tableau des strips

- **La radiotéléphonie**

Enfin le dernier outil utilisé par les contrôleurs est le système de communication. Pour le contrôleur organique ce système prend la forme d'un téléphone lui permettant d'être contacté et de contacter les contrôleurs des secteurs adjacents. Pour le contrôleur radariste, ce système constitue un système de radio appelé « phonie » (Figure II.3), et qui par le biais de fréquences (une fréquence radio attribuée à chacun des secteurs) permet d'être contacté par les avions du secteur. A bord des avions, le numéro de fréquence radio est rentré dans le système de radio de bord pour contacter les contrôleurs. Le numéro de fréquence sur laquelle l'avion doit se trouver est communiqué par les contrôleurs (chaque contrôleur annonce lors du message « au revoir », la fréquence à laquelle l'avion doit appeler le secteur suivant).[5]



Figure II-3 les moyens de communication des contrôleurs [5]

II.4 Les phases de traitement de vol au sein d'un secteur

On distingue trois phases de traitement d'un vol dans un secteur : son acceptation par le contrôleur , sa traversée en toute sécurité vis-à-vis des autres aéronefs et transfert vers le secteur suivant.

a. La coordination en entrée

Dix minutes au minimum avant son entrée dans un secteur. Les éléments du vol suivants sont transmis au contrôleur recevant.

- Indicatif ;
- Niveau de vol ;

- Point d'entrée et heure estimée à ce point.

b. Le contrôle dans le secteur

La responsabilité du contrôleur dans un secteur est d'assurer la prévention des abordages selon les normes de séparation réglementaire :

- Espacement vertical, la norme réglementaire est de 1000ft ou 2000ft selon l'instruction de contrôleur.
- Espacement latéral (norme radar) ou à l'aide de la séparation stratégique (réseau de route).
- Réduction de la vitesse pour éviter un rattrapage.

c. La coordination en sorti

Environ 10 minutes avant la sortie du secteur. Les éléments du vol suivants sont transmis au contrôleur recevant

- Indicatif ;
- Niveau de vol ;
- Point de sortie, et heure estimée à ce point.[10]

II.5 Les missions confiées au contrôle aérien

Le contrôle aérien est avant tout un service rendu aux compagnies aériennes qui le financent sous la forme de redevances. Il vise à garantir le fait que leurs appareils se déplacent en toute sécurité dans l'espace aérien et ce en respectant les horaires de départ et d'arrivée des vols préalablement établis, afin d'optimiser la satisfaction de leurs clients.

Au niveau mondial, trois différentes missions sont confiées au contrôle aérien, étant, par ordre de priorité (Cf. RCA, Réglementation de la Circulation Aérienne, 2008) :

- **Une mission de sécurité** : Elle consiste à assurer l'espacement entre les différents aéronefs circulant dans l'espace contrôlé, et cela en respectant des normes de séparation. En contrôle En-Route, les avions doivent être séparés les uns par rapport aux autres d'un minimum de 5 NM (Nautical Miles, Miles Nautiques) sur le plan horizontal et de 1000 FT (Feet, Pieds) sur le plan vertical.
- **Une mission de respect de l'environnement** : visant à optimiser les trajectoires des avions, « éviter les détours » en somme, pour limiter au maximum la consommation de

kérosène.

• **Une mission d'information** : Cette dernière mission consiste à informer les pilotes des avions quant à d'éventuels événements météorologiques qu'ils seraient susceptibles de rencontrer (zone d'orage).

Pour résumer le contrôle aérien va s'assurer du bon suivi des routes empruntées par les avions, les optimiser, les raccourcir quand cela est possible et au contraire les modifier dans certaines situations où leur sécurité est remise en cause.

II.6 Les limitations humaines

II.6.1 La fatigue

La fatigue est le résultat d'une consommation des ressources physiques (fatigue physique) et/ou ressources mentales (fatigue mentale). La fatigue se cumule dans le temps.

II.6.1.1 Manifestations de la fatigue:

- Sensation de fatigue ;
- Chute de performance.

II.6.1.2 Causes de la fatigue

Fatigue physique

- Manque de sommeil : Sommeil de 8 heures = Potentiel de 16 heures du travail ;
- Maladie ;
- Mauvaise alimentation ;
- Manque de repos ;

Fatigue mentale

- Les tâches difficiles génèrent une forte charge de travail, une grande concentration et traitement de l'information rapide et complexe ;
- Travail prolongé : principalement les activités demandant un fort niveau d'attention ;
- Stress excessif.

II.6.2 Stress

Un état de stress 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. Le stress peut être physique (douleur, hémorragie) ou psychologique (émotions).[13]

II.6.2.1 Sources de stress dans l'ATC

Le stress dans l'ATC peut être généré par les conditions du travail, l'organisation du travail et les relations humaines. Les principales sources de stress pour le personnel ATC sont les suivantes :

- **Les procédures d'exploitation**
 - Non-respect des règles ;
 - Sentiment de perte de contrôle ;
 - Périodes de service continues ;
 - Le travail de nuit.
 - Outils de travail
 - Limitation et la fiabilité des équipements ;
 - La qualité des moyens de communication (téléphonique et radio) ;
 - Implantation de l'équipement.
 - Environnement de travail
 - Eclairage et bruit ;
 - Climat du travail ;
 - Mauvaise conception des équipements ;
 - Manque de moyens de repos ;
 - Mauvaise nourriture.
 - **L'organisation du travail:**
 - Ambiguïté de rôle ;
 - Relations avec les superviseurs et les collègues ;
 - Manque de contrôle sur le processus de travail.[13]

II.7 La charge de travail et le stress

Dans le contrôle du trafic aérien, un certain niveau de charge de travail peut entraîner un niveau de stress plus élevé chez un contrôleur de la circulation aérienne; le niveau de stress dépend du niveau de charge de travail. Dans le cadre de l'étude suivante, le niveau de charge de travail est considéré comme une réaction de stress entraîne généralement des changements mesurables ou d'autres signaux mesurables du corps humain, tels qu'une

fréquence cardiaque élevée, une tension artérielle, une conductivité cutanée, une activité oculaire, etc. Des études antérieures utilisaient des signaux de stress physiologiques comme indicateurs de la charge de travail.

II.8 Conclusion

Ce chapitre décrit le fonctionnement de contrôle aérien et les problèmes associés., on est dans le besoin de connaître la limite où le contrôleur peut gérer son trafic de manière sûre et efficace pour réduire la congestion et mieux réagir face aux situations conflictuelles dont nous allons citer dans le chapitre suivant.

**Chapitre III : CONTRAINTES POUR
 LA GESTION DE
 L'ESPACE AERIEN**

III.1 Introduction

Compte tenu des situations actuelles, l'espace aérien ne sera plus en mesure de satisfaire la demande de trafic aérien au cours des prochaines années. Il subsiste cependant le problème des retards dus à la congestion de l'espace aérien et une pénurie chronique de capacité. Ainsi, de nombreuses solutions ont été envisagées pour parer à ce problème, notamment en cherchant à augmenter les capacités disponibles et/ou adapter le trafic à celui-ci.

III.2 Sectorisation

Étant donné le volume de trafic sur un territoire comme celui de l'Algérie, il n'est pas envisageable pour un opérateur humain de contrôler l'ensemble des avions sur un unique poste de contrôle. L'espace aérien est donc découpé en entités fonctionnelles, ce qui permet de répartir la charge de travail sur plusieurs postes mais nécessite de la coordination entre les postes.

Cependant, la classification présentée précédemment ne correspond pas directement au découpage fonctionnel de l'espace aérien. Celui-ci est découpé en entités appelées secteurs élémentaires. Un secteur élémentaire est un volume d'espace délimité par un contour géographique, un niveau de vol plancher et un niveau de vol plafond. Certains secteurs élémentaires peuvent être regroupés afin de créer un secteur de contrôle, c'est-à-dire une portion de l'espace dont un binôme de contrôleurs a la charge.[6]

III.2.1 Problème de sectorisation de l'espace aérien

Dans la plupart des projets cherchant à augmenter la capacité du réseau du trafic aérien, que ce soit en modifiant le système ou en optimisant l'utilisation du système, on propose un réseau de routes aériennes sur lequel on pré-affecte des demandes de Ce trafic affecté induit des charges de travail aux contrôleurs. Il faut alors une méthode de sectorisation globale de ce réseau de telle façon que la charge de travail des contrôleurs soit équilibrée entre les secteurs et que la charge de travail globale soit minimisée (principalement en minimisant la charge de coordination). En plus de cette contrainte d'équilibrage et l'objectif de minimisation de la charge de coordination, certaines contraintes spécifiques du contrôle du trafic aérien doivent être prises en compte :

- a) **Contrainte de temps de passage minimum** : cette contrainte exprime qu'un avion doit passer dans chaque secteur qu'il traverse une durée de temps minimum donnée,

afin que les contrôleurs aient suffisamment de temps (au moins le temps de coordination nécessaire à la transmission de l'avion depuis le secteur précédent vers le secteur suivant) pour gérer correctement l'ensemble des avions dans leur secteur voir Figure(IV.1).

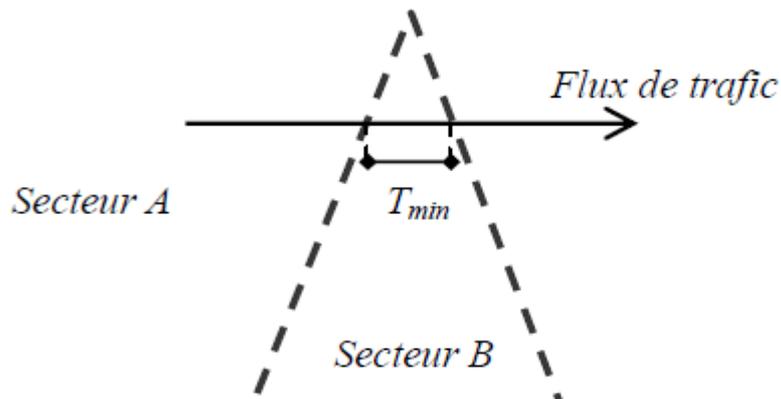


Figure III-1 La contrainte de temps de passage minimum

- b) **Contrainte de distance minimum (au sens des routes) :** cette contrainte a pour but d'assurer que la distance entre un point de croisement du réseau de transport aérien et la frontière du secteur doit être supérieure ou égale à une distance donnée. Notons qu'elle est seulement "au sens des routes" pour que les contrôleurs aient suffisamment de temps (à compter du moment où l'avion entre dans leur secteur) pour résoudre les conflits potentiels qui peuvent se produire en ce point (voir Figure IV.2)

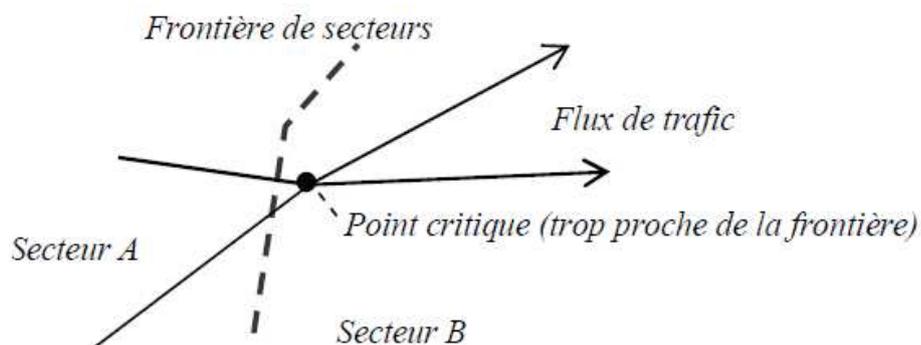


Figure III-2 Un point de croisement trop proche de la frontière [4]

- c) **Contrainte de convexité (au sens des routes) :** la convexité des secteurs au sens des routes permet d'assurer que, pendant un vol reliant un aéroport de départ et un aéroport de destination, l'avion passe une fois au maximum par secteur. Autrement dit, on veut éviter le cas illustré sur la Figure(III.3) où l'avion est sorti du secteur A,

puis y entre à nouveau.[4]

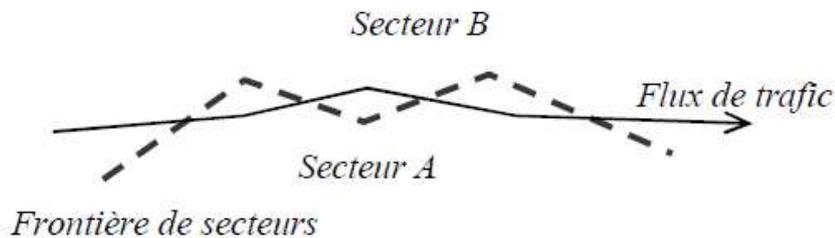


Figure III-3 Le secteur A n'est pas convexe au sens des routes [4]

Ces trois contraintes spécifiques ont été étudiées au dessus. Toutefois, il est nécessaire d'y ajouter la contrainte de connexité de secteur.

d) Contrainte de connexité de secteur : Elle permet d'éviter la fragmentation des secteurs, que les contrôleurs ne peuvent pas gérer correctement (voir Figure IV.4).

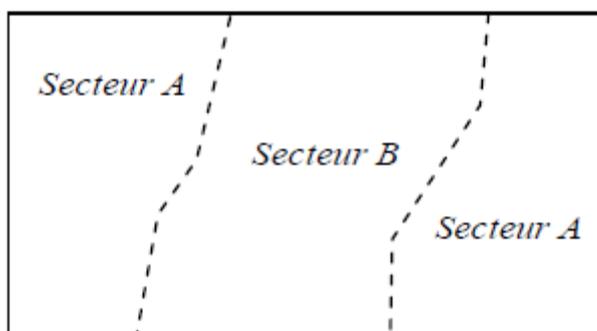


Figure III-4 Le secteur A n'est pas connexe [4]

Centres de contrôle : La gestion des secteurs de contrôle est répartie entre plusieurs centres de contrôle, qui ont pour mission de définir les secteurs de contrôle ouverts et d'affecter des contrôleurs à la gestion de chacun de ces secteurs. La figure (IV.5) montre le découpage de l'espace aérien Algérien en secteurs de contrôle.

À chaque secteur de contrôle est associée une certaine capacité qui ne doit jamais être dépassée et qui est attribuée par le centre de contrôle en charge du secteur.[6]

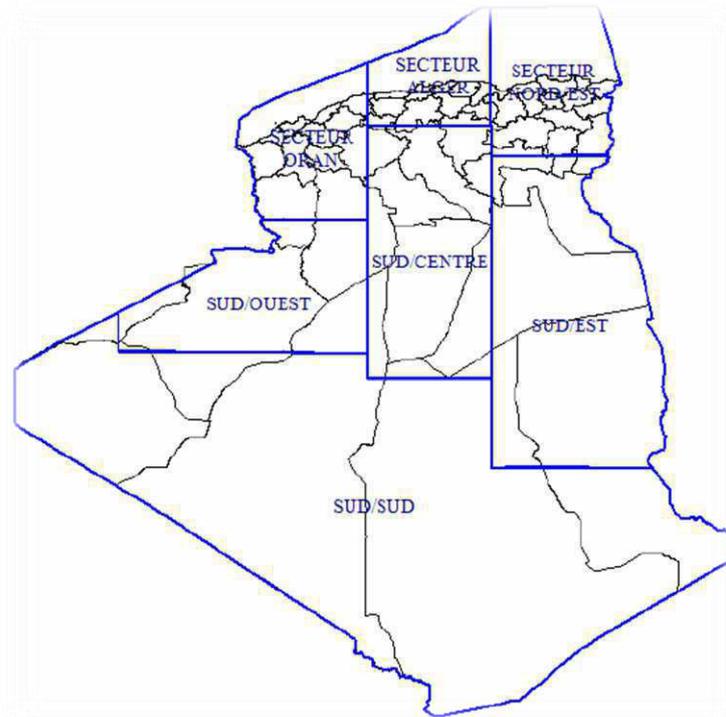


Figure III-5 le découpage de l'espace aérien Algérie en secteur de contrôle[7]

III.2.2 Capacité de secteur et saturation

Un secteur de contrôle est une portion de l'espace traversé par des routes aériennes, pour lequel une équipe de contrôleurs assure la sécurité des vols qui y transitent en séparant les aéronefs entre eux. Plus le nombre d'avions dans un secteur est important, plus la charge de contrôle induite augmente (de façon non linéaire). Il existe une limite au delà de laquelle le contrôleur en charge du secteur ne peut plus accepter de nouveaux avions et oblige ces derniers à contourner le secteur en traversant des secteurs voisins moins chargés. On dit alors que le secteur est saturé. Cet état critique doit être évité car il provoque un phénomène cumulatif de surcharge sur les secteurs en amont pouvant remonter jusqu'aux aéroports de départ, (c'est ce qui se pratique au niveau du CCR d'Alger, à travers sa position de FMP le reliant directement au centre de régulation de BRUXELLES) En effet, lorsque le trafic ne peut être dévié, il est mis en attente dans les secteurs en amont faisant augmenter progressivement la charge de contrôle de ces derniers jusqu'à ce qu'ils soient saturés.

Le seuil au delà duquel le secteur est saturé est très difficile à estimer car il dépend de la géométrie des routes qui le traversent, de la géométrie du secteur lui-même, de la répartition des avions sur les routes, des performances de l'équipe de contrôle etc. Un seuil généralement admis est de 3 conflits et 14 avions dans un secteur donné. Cette charge

maximum ne doit pas perdurer plus de 10 minutes car elle provoque un fort stress des contrôleurs qui risquent alors de ne plus pouvoir assurer la gestion du trafic dans des conditions optimales de sécurité.

III.2.2.1 Temps de prise en compte

La prise en compte d'un vol dans un secteur de contrôle commence dès sa prise en charge et se termine lorsque l'avion est transféré sur la fréquence du secteur suivant. Ce temps de présence dans le secteur est donc : la somme du temps de coordination en entrée et du temps de traversée jusqu'au transfert de contrôle. Pour les besoins du secteur suivant, le transfert en fréquence peut avoir lieu avant la limite du secteur. Le début de prise en compte correspond au moment où le strip arrive sur le secteur. Dans le cas de coordinations non automatique, le strip arrive environ 10mn avant la prise en compte par le secteur concerné. Le temps traversé dans ce secteur par l'avion plus les 10mn de sa prise en compte avant la limite effective a été pris par nos soins pour le calcul établi de la capacité d'un secteur.[7]

III.2.2.2 La capacité du secteur de contrôle

La capacité d'un secteur de contrôle est définie par le nombre maximum d'aéronefs qui peuvent être contrôlés dans une période d'une heure. La charge de travail ressentie par les contrôleurs dépend de la structure du secteur, de la précision de la navigation des aéronefs, des conditions météorologiques, du degré de qualification des contrôleurs, du type et de la disponibilité des moyens de communication de navigation et de surveillance utilisés ... [7]

La capacité peut être évaluée par plusieurs facteurs de charge comme :

- Taille du secteur considéré;
- Nombre d'avions traités ;
- Trafic mixte (lent et rapide) ;
- Complexité de conflits ;
- Nombre et configurations des routes (notion de proximité);
- Existence de zones militaires;
- Type de coordinations (manuels, automatiques, inter/secteur, disponibilité des moyens de communication ...) ;
- Saturation de la fréquence ;
- Brouillage ou mauvaise réception ;

- Type de séparation et moyens de radio navigation disponible (séparation radar ou en procédure, présence de moyens au sol ...)
- Mauvaise détection radar ;
- Tenue des strips;
- Perturbations météorologiques ;
- Dégradations techniques ;
- Contrôleur en instruction sur la position.

III.2.2.3 Problème posé et solution envisagée

Chaque compagnie décide elle-même des plans de vol de ses aéronefs et utilise les routes les plus directes, ce qui conduit à la concentration de ces vols dans certaine route de l'espace aérien contrôlé par un opérateur humain, il existe une limite, capacité secteur, au-delà de laquelle le contrôleur en charge du secteur ne peut plus accepter d'aéronefs, et oblige ces derniers à contourner son secteur en traversant des secteurs voisins moins chargés. On dit alors que le secteur est saturé, d'autres solutions d'ordre opérationnel comme la définition d'autoroutes aériennes, le RVSM, la réduction des espacements en fréquence VHF « 8.33KHZ »...etc, ont montrées l'incapacité de perdre toute la demande des opérateurs aériens.

Ainsi, les autorités de la navigation aérienne ont du mettre en place des mesures de régulation visant à « lisser » les pics de demande, en limitant le nombre d'aéronefs qui peuvent pénétrer dans un secteur donné pendant une durée donnée : ce mécanisme de régulation appelé ATFCM : la gestion des flux de trafic aérien et de la capacité ou Air Traffic Flow Capacity Managment (ATFCM).

L'ATFCM est un service complémentaire aux ATS. Il est destiné à contribuer à la sécurité, à l'ordre et à la rapidité de l'écoulement de la circulation aérienne en faisant en sorte que la capacité ATC soit utilisée au maximum et que le volume de trafic soit compatible avec les capacités déclarées par l'autorité ATS compétente. L'ATFCM cherche à assurer un écoulement sur du trafic aérien avec trois objectifs principaux : protection des contrôleurs contre les surcharges, lissage du trafic et minimisation des conséquences de la congestion pour les compagnies aériennes.

III.3 Congestion des secteurs de contrôle

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

En trafic aérien, les indicateurs de congestion se traduisent par la présence simultanée de plusieurs vols dans une même portion de l'espace aérien. Cette proximité peut influencer sur la sécurité des vols et nécessite de ce fait une surveillance en temps réel des positions et séparations entre vols. Pour ce faire, des normes de séparation verticale et horizontale ont été définies, ainsi qu'un découpage de l'espace aérien en secteurs de contrôle.

Il est donc nécessaire, aujourd'hui, d'optimiser la planification des vols de manière à optimiser l'utilisation des ressources de l'espace aérien et des aéroports.[10]

III.3.1 Types de congestion

La congestion aérienne se divise en plusieurs types :

a) 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 de 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 liées aux déplacements dus aux activités habituelles de la société (étude, travail, congés, loisirs...). Ce qui engendre « des heures de pointe ». Son traitement nécessite des améliorations opérationnelles et des mesures agissantes essentiellement sur la demande.

b) La congestion non récurrente

La congestion non récurrente appelée aussi la congestion incidents est due aux phénomènes aléatoires ou éventuellement, et est causée localement par un accident, la météo, les activités militaires, événements exceptionnels, événements sportifs...ect. Elle peut se produire à toute heure du jour, mais elle est particulièrement pénalisante lorsqu'elle s'ajoute à la congestion à la congestion récurrente. Elle est mieux maîtrisée par des améliorations opérationnelles en temps réel et la stratégie de la gestion des incidents.

c) La congestion inconnue

Lorsqu'un utilisateur envisage de choisir un chemin ou un horaire de départ qu'il n'a jamais expérimenté, ou dont ne souvient plus donc il risque de rencontrer ou de produire une congestion.[10]

III.3.2 L'impact de la congestion aérienne

La congestion aérienne se manifeste, aujourd'hui, principalement par des retards, mais elle risque, à plus long terme, de poser des problèmes de sécurité. Elle augmente les risques d'accident, réduit la mobilité et ralentit l'évolution économique. Elle est aussi une cause majeure des émissions polluantes (contribution de 2.5% du total des émissions polluantes), et compte tenu de la croissance du transport aérien, les prévisions à l'horizon 2050 porteraient la part de l'aérien à 3%.[10]

III.3.3 Les solutions au problème de congestion :

Pour faire face au problème de saturation de l'espace aérien, des mesures sont prises à différents niveaux. Les principales décisions à long terme portent sur l'organisation de l'espace aérien(ASM).pour une organisation de l'espace donné, il faut s'assurer que le trafic ne dépasse pas la capacité des secteurs .C'est le but de la gestion des flux de trafic(ATFM).Les deux directions d'étude pour décongestionner l'espace aérien sont donc [7]:

-Adapter la capacité à la demande (construction de nouveaux aéroports et d'infrastructure, nouvelle sectorisation).

-adapter la demande à la capacité (gestion des flux de trafic et meilleur partage des informations).

Pour mettre en adéquation la demande et la capacité, il paraît nécessaire que les différents acteurs du système coopèrent. Cela fait partie des grands projets d'amélioration de la gestion du trafic aérien.

- **Adapter la capacité à la demande :**

- **Aspects structurels**

Pour augmenter la capacité, les moyens couramment mis en œuvre reposent sur l'accroissement du nombre de secteurs et la réorganisation du réseau des routes aériennes.

Mais ce système présente des limites. D'une part, si les secteurs sont trop petits, la résolution des conflits par le contrôleur est rendue plus difficile. D'autre part, plus les routes sont entrelacées, plus la gestion du trafic dans le secteur se complique en raison du nombre important de croisements d'avions.

L'augmentation de la capacité passe par un meilleur partage de l'espace entre l'aviation civile et militaire. En effet, une activation des zones militaires en dehors des heures de pointe de trafic civil, comme cela se pratique déjà en Hongrie, offrirait une capacité d'espace bien supérieure et limiterait les retards de façon significative.

- **Aspects technologiques**

-Les progrès technologiques réalisés dans les domaines de l'équipement avionique contribuent à une meilleure exploitation de l'espace aérien.

-L'utilisation d'outils automatisés de plus en plus sophistiqués avec de meilleures interfaces homme/machine facilite le travail du contrôleur. Ils bénéficient ainsi d'une meilleure assistance dans leurs activités de prise de décision.

Les développements en technologie de l'information, grâce notamment à la technologie satellitaire, aux communications entre les mobiles et le sol par liaisons de données, améliorent l'efficacité du transport aérien.

- **Aspects organisationnels**

L'introduction de nouveaux outils nécessite une définition nouvelle des rôles de chaque acteur. Une répartition différente des tâches entre les contrôleurs, une plus grande autonomie des pilotes dans la prise de décision, par exemple, le transfert partiel, du contrôleur vers le pilote, de la responsabilité de la séparation, sont des modifications qui permettent une réduction de la charge de travail des contrôleurs et donc un accroissement de la capacité des secteurs.

Outre ces mesures visant à obtenir des gains de capacité, une autre manière de réduire la congestion serait d'adapter la demande à la capacité disponible.

- **Adapter la demande à la capacité**

Le fonctionnement opérationnel actuel pour éviter que la demande de passage dans un secteur dépasse la capacité du secteur, des mesures de régulation sont prises par l'unité de gestion des flux de trafic aérien et de la capacité ou Air Traffic Flow Capacity Management(ATFCM). [1]

III.3.4 Les phases d'exécution des opérations d'ATFCM

L'ATFCM, dont l'objectif est de prévenir les situations de surcharge en optimisant l'utilisation des capacités disponibles du système de contrôle s'organise en trois phases :

À long terme (plus de 6 mois), le trafic est organisé de façon macroscopique. Sont concernés par exemple les schémas d'orientation de trafic, les mesures du comité des horaires, ou encore les accords inter-centres et les accords avec les militaires, qui permettent aux civils d'utiliser leurs zones aériennes pour écouler les pointes de trafic du vendredi après-midi.

À plus court terme, on parle souvent de **pré-régulation** : elle consiste à organiser une journée de trafic, la veille ou l'avant-veille. À ce stade, on dispose d'une grosse partie des plans de vols, on connaît la capacité de contrôle que peut offrir chaque centre en fonction de ses effectifs, le débit maximal d'avions pouvant pénétrer dans un secteur, appelé capacité du secteur. C'est le rôle de la CFMU.

Le jour même : des ajustements sont réalisés en fonction des derniers événements. Le trafic transatlantique, par exemple, peut être pris en compte à ce stade, les avions supplémentaires se voient affecter leurs routes et heures de décollage, on peut également réallouer des créneaux horaires non utilisés et tenir compte de la météo du jour. Ce rôle est en général joué par les FMP2 dans chaque centre.

Le dernier filtre de la chaîne du contrôle aérien est :

Le filtre tactique : il s'agit du contrôle à l'intérieur d'un secteur. Le temps moyen passé par un avion dans un secteur est de l'ordre d'une quinzaine de minutes.

Le filtre d'urgence : n'est censé intervenir que lorsque le système de contrôle est absent ou a été défaillant : pour le contrôleur, le filet de sauvegarde prédit la trajectoire de chaque avion avec un horizon temporel de quelques minutes à l'aide des positions radar passée et d'algorithmes de poursuite et déclenche une alarme en cas de conflit. Il ne propose pas de solution aux conflits détectés.

À bord des avions, le TCAS3 a pour rôle d'éviter une collision présumée. La prédiction temporelle est inférieure à la minute et varie entre 25 et 40 secondes. Il est alors trop tard pour que le contrôleur intervienne puisque l'on estime qu'il lui faut entre 1 et 2 minutes pour analyser une situation, trouver une solution et la communiquer aux avions.

Actuellement, le TCAS détecte les avions environnants et donne un avis de résolution au pilote (pour le moment dans le plan vertical). Ce filtre doit résoudre les conflits non prévisibles comme, par exemple, un avion dépassant un niveau de vol donné par le contrôle, ou un accident technique qui dégraderait notablement les performances de l'avion.[3]

III.3.5 Décongestion des secteurs de contrôle en route par le processus

« d'Allocation des Créneaux aux Départ »

III.3.5.1 Allocation des créneaux au départ

Le processus de régulation par « Allocation des Créneaux aux Départ », consiste à retarder les horaires de décollages des vols impliqués dans les secteurs surchargés. ces délais sont imposés à un vol donné avant sa mise en route.[8]

III.3.5.2 Réguler les flux de trafic aérien

La régulation des flux de trafic est un filtre tactique destinée à homogénéiser les vols qui traversent l'espace aérien contrôlé: il s'agit de limiter le nombre d'aéronefs qui pénètrent dans un secteur donné pendant un intervalle de temps spécifié.[8]

III.4 Conflit

Lorsqu'un avion pénètre dans la zone de sécurité d'un autre avion, ces deux avions sont dits en conflit. La notion de conflit traduit une violation des distances de séparation standard définie ci-dessus. La relation « est en conflit avec » définit une relation d'équivalence et chaque classe d'équivalence associée est appelée cluster de conflits (voir la figure IV.6)..[9]

III.4.1 La résolution de conflit

Pour assurer la sécurité des avions durant leurs vols, il est nécessaire de contrôler en temps réel leurs agissements. C'est le rôle du contrôle du trafic aérien, qui fait partie intégrante de l'ATM. La notion de conflit est essentielle dans l'ATC.

Pour des raisons de sécurité, une zone de sécurité est définie autour de chaque avion. Cette zone est tridimensionnelle et répond non seulement à l'évitement de collision mais également aux espacements nécessaires pour éviter les turbulences créées par les avions environnants.

La norme de séparation standard horizontale entre deux avions est de 5Nm. La norme de séparation standard verticale, quant à elle, est fixée à 1000ft. Ces distances de séparation définissent ainsi une zone de sécurité autour des avions comme illustré dans la figure(III.7).

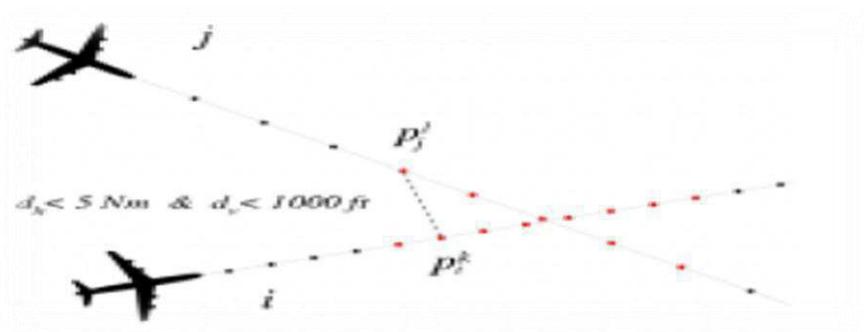


Figure IV-6 Exemple de deux avions en conflit

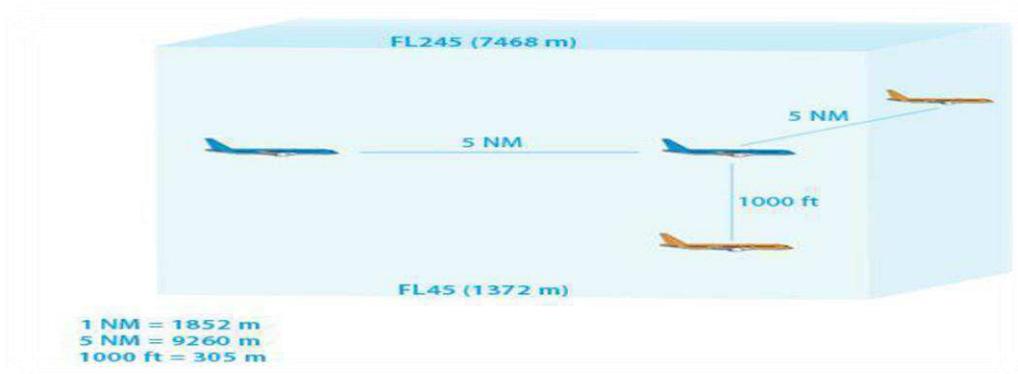


Figure IV-7 zone de sécurité d'un avion

La résolution de conflits, qui consiste à utiliser des manœuvres d'évitement pour assurer le respect des contraintes de séparation, est actuellement opérée par les contrôleurs aériens.

Cependant, du fait de l'augmentation du trafic, l'automatisation partielle ou totale de cette résolution est un problème très étudié pour fournir une aide à la décision au contrôleur. La résolution automatique de conflits devra donc assurer le respect des normes de séparation sur un horizon temporel choisi.

III.4.1.1 Les classes de résolution de conflits

Il existe de nombreuses méthodes de résolution automatiques de conflits. Différents critères permettent de les classer. Nous verrons dans cette partie les propriétés discriminantes qui nous permettront de placer les méthodes que nous présenterons plus loin dans ce panorama.

➤ Centralisée et décentralisée

Être en charge de la détection et de la résolution de conflits implique de grandes responsabilités. Il est donc nécessaire d'attribuer précisément cette responsabilité pour définir clairement qui est en charge de ces tâches. Partant de ce constat, il existe deux grandes classes de méthodes : les méthodes centralisées et les méthodes décentralisées.

- Dans les méthodes centralisées, la détection et la résolution sont opérés par un seul acteur qui donne les ordres de résolution aux avions. Elles centralisent donc la responsabilité. Par exemple, une méthode qui se calquerait sur l'action des contrôleurs aériens serait une méthode centralisée. Il est important de préciser que les méthodes centralisées sont généralement des méthodes appliquées au sol.
- Les méthodes décentralisées répartissent la responsabilité entre différents acteurs. Par exemple, dans l'approche autonome, les avions voisins communiquent entre eux et déterminent ainsi une stratégie commune de résolution. Ces méthodes de résolution sont implantées à bord de l'avion.

L'approche centralisée a l'avantage d'avoir une vision globale du trafic. En effet, il est difficile, pour l'approche autonome, de pouvoir considérer le contexte global du trafic aérien sans un contrôle au sol.[9]

III.4.1.2 Coopératives et non-coopératives

Un conflit implique plusieurs avions. Différentes stratégies de résolution sont possibles : coopératives et non-coopératives.

Dans les méthodes coopératives, les avions prennent en compte les manœuvres des autres avions impliqués pour déterminer leurs trajectoires.

Dans les méthodes non-coopératives, chaque avion décide de ses manœuvres sans considérer les autres avions ou du moins, en considérant comme fixes les trajectoires des autres avions (menant généralement à une approche séquentielle).

III.4.1.3 Prescrite et optimisée

Le problème de la résolution de conflits présente plusieurs facettes. En effet, le fait de résoudre un conflit assure seulement que la contrainte de séparation n'est plus violée, sans autre considération (l'optimalité de la résolution par rapport à certains critères de coût par exemple). C'est pourquoi il existe différentes approches de résolutions : prescrite, optimisée.

La résolution prescrite consiste à définir en amont un ensemble de manœuvres de résolution que l'opérateur applique en cas d'apparition de conflits. L'avantage d'appliquer des manœuvres prédéfinies est d'accélérer le temps de réponse de l'opérateur. L'inconvénient majeur de ce type de méthode est de ne pas être adaptable à la situation, et donc de ne pas nécessairement être optimale.

La résolution optimisée, elle cherche non seulement à résoudre le conflit, mais également à optimiser le coût de la résolution selon un critère donné (distance parcourue, consommation de carburant, etc...). Les manœuvres de résolution utilisées dans cette approche varient selon les auteurs.

III.4.2 Type de manœuvres utilisées

Actuellement, lorsque les avions sont en vol, il est de la responsabilité du contrôleur d'assurer le respect des normes de séparation entre avions à tout instant. Pour cela, il utilise généralement deux types de manœuvres : le point tournant et la mise en offset (présentées dans la figure III.8 et III.9). Ces deux manœuvres se font dans le plan horizontal.

Les manœuvres verticales sont utilisées uniquement dans les phases de montée ou de descente, par le biais de mise en pallier temporaire. Dans le trafic en-route, les manœuvres verticales ne sont utilisées par les contrôleurs qu'en dernier recours, de par leur coût élevé

en termes de carburant. Dans les méthodes automatiques de résolution de conflits, il existe deux approches pour modéliser les manoeuvres d'évitement. La première se conforme aux manoeuvres utilisées couramment, dites manoeuvres opérationnelles. La seconde ne se préoccupe pas de cet aspect et utilise des manoeuvres d'évitement non-opérationnelles. Dans ce cas, nous différencions les manoeuvres ne respectant pas les contraintes ATM (de vitesse ou de courbure) et celles les respectant.

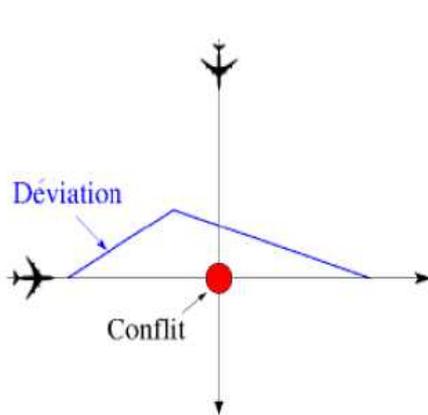


Figure III-6: point tournant

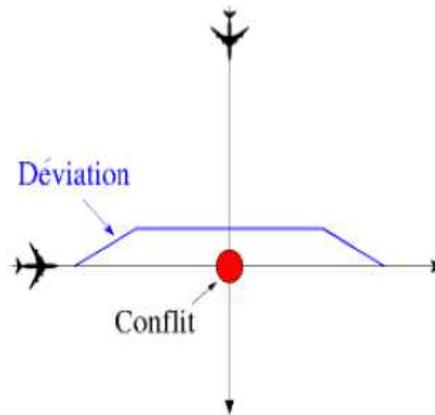


Figure III-7: offset

III.4.3 Méthode de résolution de conflit

Pour surveiller le trafic, les contrôleurs aériens disposent généralement d'un écran radar affichant l'ensemble des vols présents dans leur secteur ainsi que ceux qui sont à même d'y entrer dans un futur proche. La majorité des informations sont donc regroupées sur une interface interactive 2D, sur laquelle le contrôleur s'appuie pour anticiper et résoudre les conflits potentiels entre les aéronefs. Une grande partie du travail du contrôleur consiste donc à évaluer mentalement les différents scénarios possibles pour prendre les décisions adéquates afin de garantir la sécurité des vols. Avec l'augmentation du volume du trafic, la charge de travail potentielle des contrôleurs est susceptible d'augmenter. Ainsi une part considérable de la recherche dans la gestion du trafic aérien s'attache à proposer des solutions afin de faciliter leur tâche, ces méthodes sont connues sous le nom de détection et résolution de conflits aériens.

La détection et la résolution des conflits potentiels font partie intégrante du travail quotidien du contrôleur aérien. Le contrôleur aérien dispose de trois méthodes pour résoudre un conflit potentiel :

- le changement de niveau de vol;
- le changement de cap;
- le changement de vitesse.

ou une combinaison de ces trois méthodes. Dans la pratique, seules les deux premières méthodes sont fréquemment utilisées par les contrôleurs aériens. La régulation de vitesse seule est difficile à mettre en œuvre car elle ne modifie pas la trajectoire 3D des vols, contrairement aux deux autres méthodes. Pour le contrôleur cela représente une difficulté supplémentaire car visuellement, sur l'écran radar, la résolution du conflit n'apparaît que très progressivement. Ainsi, de façon globale, les contrôleurs préfèrent les clairances de réaffectation de niveau de vol ou de modification de cap et se focalisent sur ces méthodes de résolution de conflit.[9]

III.5 Conclusion sur le système actuel

Le coût des retards aériens est évalué entre 7 et 11 milliards d'euros par an par l'institut du transport aérien dont 60% est imputable au contrôle aérien selon [ITA 00]. Il paraît donc essentiel de les résorber. Comme on l'a vu, le système de gestion du trafic aérien met en jeu de nombreux processus et de nombreux acteurs qui n'ont pas tous les mêmes intérêts : les pilotes veulent utiliser le chemin le plus court possible, les contrôleurs doivent assurer la sécurité sans être maîtres du plan de vol initial, etc. Les investissements, pour son amélioration, sont considérables et toute nouvelle fonctionnalité se chiffre en centaines de millions d'euros.

De plus, il faut noter que par le passé, le système a toujours été capable de s'adapter pour faire face à l'augmentation du trafic aérien sans bouleversement majeur. Mais aujourd'hui une autre raison pousse le système vers le changement et elle est politique.

**Chapitre IV : la CHARGE DE
CONTROLE DANS UN
SECTEUR**

IV.1 Introduction

La mesure du niveau actuel de la charge de travail est l'un des indicateurs clés permettant d'évaluer les avantages des nouveaux outils de soutien ou des nouvelles procédures pour les contrôleurs de la circulation aérienne. En outre, il est bien connu que le niveau de stress actuel dépend du niveau actuel de la charge de travail et est en outre directement lié à la capacité de trafic actuelle du contrôle de la circulation aérienne.

IV.2 Caractérisation de la tâche de contrôle

La sécurité est indispensable dans le domaine de contrôle aérien. En effet, le moindre dysfonctionnement expose la situation à des risques d'une gravité élevée. De plus l'expertise humaine y est essentielle car l'opérateur est le moyen principal employé pour assurer la sécurité du système. Ces caractéristiques illustrent la nécessité, pour l'opérateur, de sécuriser la moindre action réalisée et agissant sur la situation de trafic par le biais d'une évaluation des risques. Elle permet d'assurer le maintien d'un niveau de sécurité élevé dans la situation, par le biais de stratégies efficaces.

Ici, la place centrale occupée par le « Conflit » et la mise en place de moyens de prévention par le contrôleur au sein de la tâche de contrôle est mise en exergue.

Pour synthétiser, la tâche de contrôle est directement liée à une évaluation subjective entourée d'incertitude omniprésente quant à la position des avions, potentiellement différentes de celles prescrites (plans de vol) en fonction des conditions météorologiques (Orientation et sens du vent) et des événements se produisant à bord (panne, retard, malaise, prise d'otage par exemple). Pour s'adapter à la dynamique de la situation, le contrôleur actualise la représentation initiale qu'il s'est construit en fonction des Événements qu'il s'y produit. Cette caractérisation de la tâche de contrôle est illustrée dans la figure ci-dessous illustrant les grandes étapes de la tâche de contrôle sous la forme d'un cycle.[9]

:

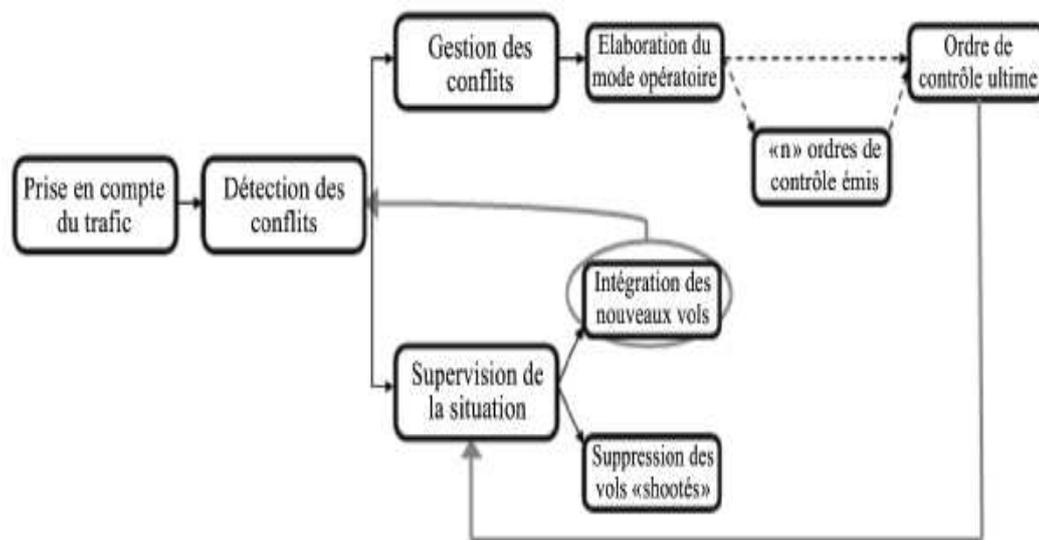


Figure : IV-1 le cycle de la tâche de contrôle

Nous allons citer ci-dessus entre autre quelque facteur de charge :

- Nombre de conflits élevés ;
- Complexité des conflits ;
- Trafic évolutif ;
- Trafic mixte ;
- Complexité du réseau de route et nombre de croisements ;
- Existence des zones militaires ;
- Perturbations météorologiques ;
- Le temps moyen de traversé le secteur ;
- Secteur de grande taille ;
- Brouillage ou mauvais réception.

Un seuil admis généralement admis est de 3 conflits et 14 avions dans un secteur donné.

Cette charge maximum ne doit pas perdurer plus de 10 minutes car elle provoque un fort stress aux contrôleurs qui risquent alors de ne plus pouvoir assurer la gestion du trafic dans des conditions optimales de sécurité.

Saturation : elle peut définie comme une charge mentale surabondante sur l'opérateur humaine lorsque celui-ci est soumis à un excès de sollicitations, ces performances se voient

fortement et brutalement dégradée. Les règles suivantes ne sont pas des limiteurs de capacité bien au contraire :

- Un contrôleur ne doit pas travailler de manière permanente à limite de sa capacité ;
- Il peut néanmoins atteindre cette limite, mais à condition de lui garantir que ce sera pendant un temps très court et avec une fréquence faible.

IV.4 Nécessité de l'automatisation

L'accroissement continu du trafic aérien entraîne une augmentation :

- De la charge de travail des contrôleurs (plus de coordination et de transferts de contrôle nécessaire entre secteurs).
- De la complexité du système ATC poussé aux limites de sa capacité.

L'automatisation du contrôle du trafic aérien se justifie s'il faut accroître encore l'efficacité :

- ✚ si la charge de certaines fonctions ou certains processus ATC devient trop lourde ou demande trop de temps pour être confiée à des opérateurs humains ;
- ✚ si l'on ne peut accroître sensiblement la régularité et la rapidité d'opérations recourant à d'autres moyens ;
- ✚ si l'automatisation permet d'obtenir un service plus sûr ou plus efficace

L'automatisation ATC génère de nombreux coûts :

- a) Élaboration d'un plan d'automatisation à long terme ;
- b) Bâtiments destinés à abriter l'équipement et les services techniques ;
- c) Équipement (ordinateur, visuels, périphérique, interface de saisie des données, pièce de rechange, etc.) ;
- d) Élaboration des programmes machine d'exploitation et de diagnostic ;
- e) Formation, documentation et financement d'équipes de techniciens, de programmeurs et du personnel ATC ;
- f) Essais opérationnels, évaluation (vérification en vol, intégrations des systèmes...etc.) ;

- g) Maintenance et modifications de l'équipement et des logiciels ;
- h) Besoin en communications ;
- i) Contrôle des performances du système.

L'automatisation ATC apporte la possibilité de réduire les coûts en :

- a. Rendant plus efficace l'utilisation de l'espace aérien ;
- b. Augmentant la capacité de cet espace ;
- c. Réduisant les retards du trafic aérien ;
- d. Acheminant un volume accru de circulation aérienne.

L'automatisation ATC présente un certain nombre d'avantages :

- **Amélioration de la sécurité**

Réduction des périodes de pointe à forte charge de travail sous tension ; réductions des erreurs humaines et détection rapide de ces erreurs; amélioration de la continuité de la surveillance, y compris données d'altitude SSR mode C ; amélioration des moyens de coordination et de transfert du contrôle ; avertissement automatique de conflit et d'altitude minimale de sécurité ; contrôle continue des performances du système et d'avertissement automatique des écarts .

- **Amélioration de la gestion ATC**

Amélioration de l'utilisation de l'espace aérien ; amélioration de la fourniture d'installation et de la dotation en personnel ; augmentation de la capacité du système ATC ; réduction des retards ; amélioration de la rentabilité ; amélioration de la gestion de la circulation aérienne.

- **Amélioration du service**

Actualisation automatique des données météorologiques, d'information aéronautiques, et de plan de vol, disponibles pour les contrôleurs, pilotes agents d'exploitation .

- **Disponibilité des données enregistrées**

Enquêtes sur accidents et incidents, administration des redevances (facturation) ; recherche et sauvetage, diagnostic et rectification des défaillances du matériel et de logiciel ; formation.[10]

IV.5 La modélisation de la charge du contrôle

IV.5.1 Charge de résolution des conflits

On dit que deux avions sont en conflit lorsque la distance qui les sépare risque de devenir inférieure à une valeur particulière appelée norme de séparation. Ayant modélisé le réseau aérien pour du trafic en route en croisière stabilisée, seuls les conflits plans seront envisagés. Dans ce cadre, il existe deux principaux types de conflits :

- rattrapage;
- routes sécantes.

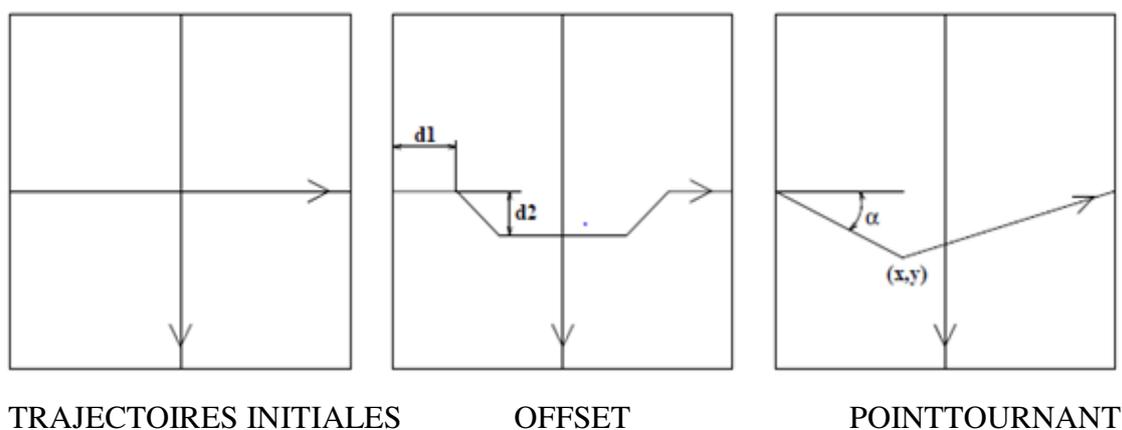


Figure IV-2 Techniques classiques de résolution

L'hypothèse faite sur l'homogénéité des vitesses avion exclut les conflits de rattrapage.

Notons que le cas des conflits de face à face n'a pas été envisagé car la règle semi-circulaire de séparation verticale empêche leur apparition dans la modélisation retenue pour le réseau aérien. Lorsque deux avions sont en conflit, le contrôleur doit modifier la route des avions afin d'assurer le respect des normes de séparation. On peut citer deux principes de résolution souvent utilisés par les contrôleurs (il en existe d'autres) :

- **résolution en offset** ; ce type de résolution consiste à modifier la trajectoire de l'avion parallèlement à sa trajectoire initiale.
- **résolution avec point tournant** ; dans ce cas on choisit un point proche de la zone de conflit que l'avion dérouté survole avant de rejoindre le point de sortie initial, (voir figureIV-2).

La difficulté consiste à trouver les valeurs de d_1 , d_2 ou la position géographique du point tournant permettant d'assurer la résolution du conflit tout en minimisant le rallongement des routes des avions déviés. Suivant l'angle de croisement des routes aériennes les conflits sont plus ou moins faciles à résoudre car les avions sont plus ou moins longtemps en situation conflictuelle. En effet, en observant la figure (V-3) on remarque que le temps de mise en conflit est plus important dans le cas B que dans le cas A car la zone intrinsèque des conflits est plus étendue dans le cas B de par la fermeture de l'angle de croisement.

On ne dispose pas actuellement de modèle prouvé de la probabilité de collision entre N aéronefs à la verticale d'une balise de contrôle faute de statistiques car c'est un processus non observable et seuls des modèles inférentiels ont été développés. Si l'on disposait d'un tel modèle il serait plus facile de modéliser la charge de contrôle induite pour la résolution, en particulierisant les conflits par rapport au type de croisement. D'après une note du Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne le nombre moyen de conflits au croisement de deux routes aériennes (voir figure IV-3) peut être estimé à l'aide de la formule suivante :[2]

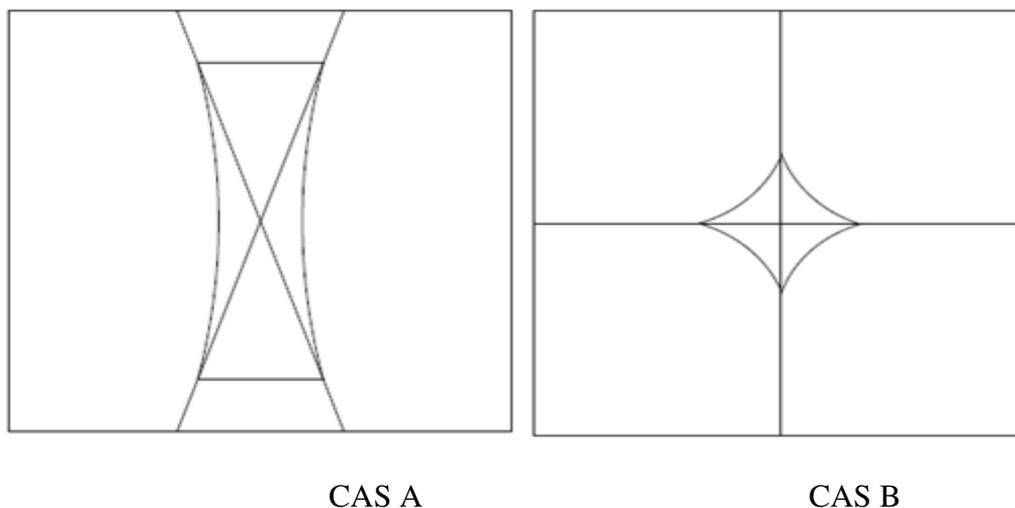


Figure IV-3 Zone intrinsèque de conflit au croisement de deux routes aériennes

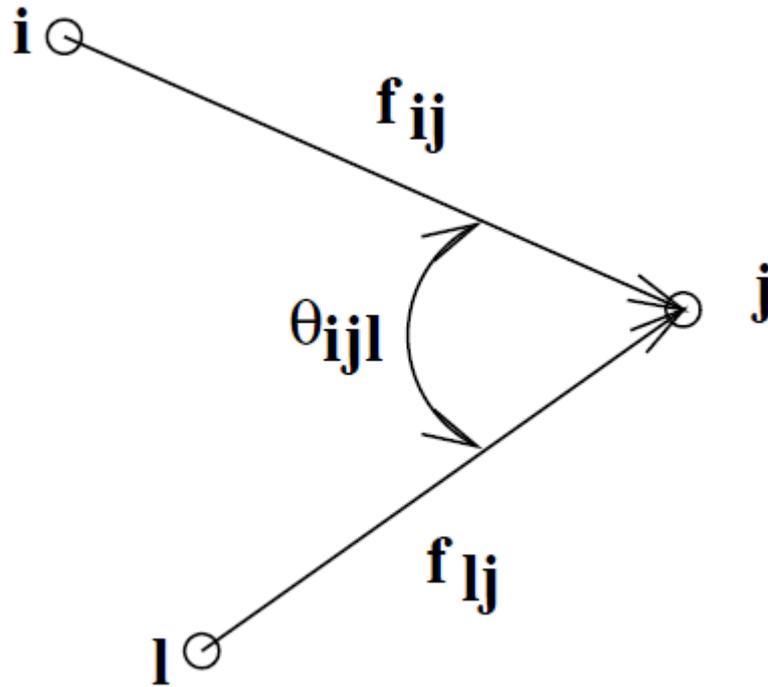


Figure IV-4 Croisement à deux routes

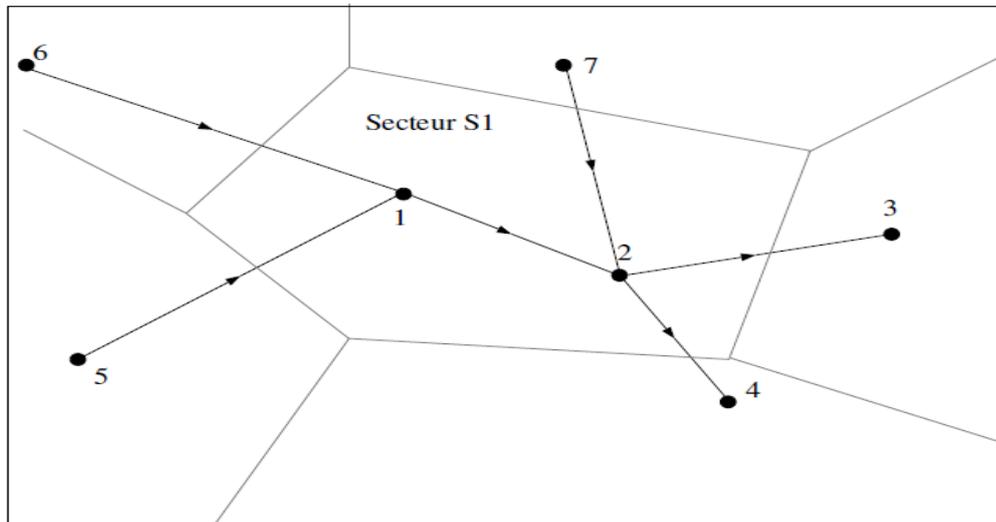


Figure IV-5 Exemple de secteur de contrôle

$$N_C = \frac{2N_S}{V} \frac{f_{ij}f_{lj}}{\cos \frac{\theta_{ijl}}{2}}$$

où N_S est la norme de séparation standard, f_{ij} , f_{lj} sont les flux convergents associés aux arcs (i,j) et (l,j), V est la vitesse moyenne des avions et θ_{ijl} représente l'angle formé par les arcs (i,j) et (l,j).

En supposant que la charge de contrôle à la verticale du croisement est proportionnelle au nombre de conflits générés, on a $C_{cf} = \alpha(\theta_{ijl})f_{ij}f_{lj}$ dans le cas d'un croisement à deux routes, où $\alpha(\theta_{ijl})$ est un coefficient de proportionnalité dépendant de l'angle de croisement entre les routes. Lorsque le croisement comporte plus de deux routes incidentes, la charge de conflit est la somme des charges induites par les arcs pris deux à deux. D'où l'expression de la charge de résolution des conflits au niveau du nœud j du réseau :

$$C_{cf}(j) = \frac{1}{2} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} \sum_{\substack{l \in N \\ l \neq i; l \neq j}} \left[\frac{\alpha_{ij}(\theta_{ijl}) + \alpha_{lj}(\theta_{ijl})}{2} f_{ij}f_{lj} \right]$$

Équation 1: la charge de résolution de conflit pour chaque nœud

La charge de conflit dans un secteur est alors la somme des charges de conflits sur chacun des nœuds contenus dans ce secteur :

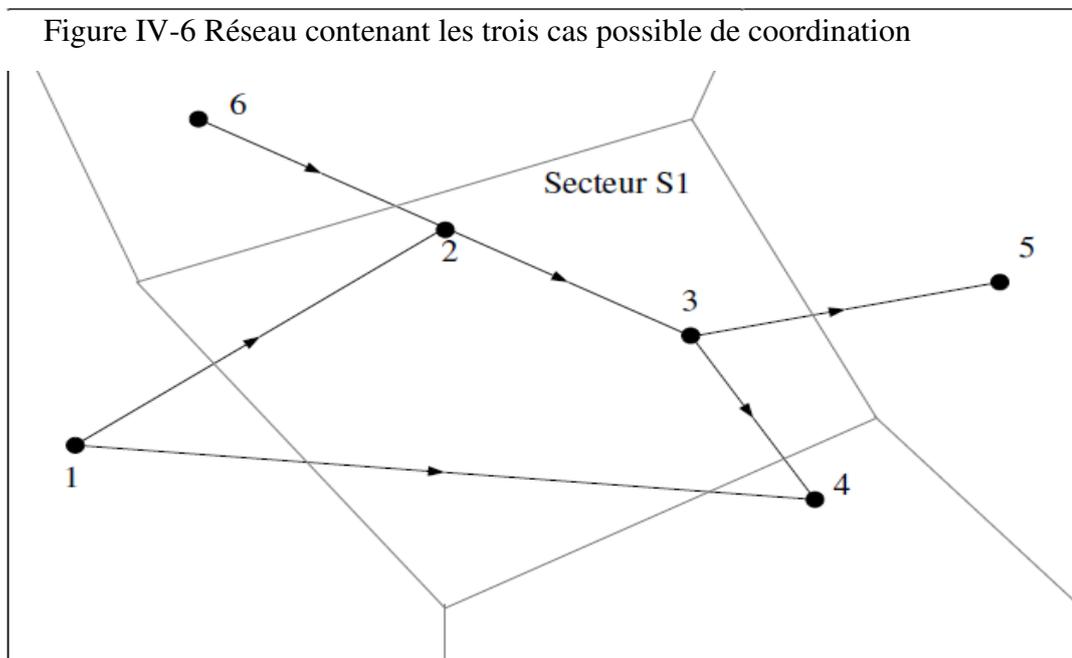
$$C_{cf}(S_k) = \frac{1}{2} \sum_{j \in N_k} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} \sum_{\substack{l \in N \\ l \neq i; l \neq j}} \left[\frac{\alpha_{ij}(\theta_{ijl}) + \alpha_{lj}(\theta_{ijl})}{2} f_{ij}f_{lj} \right]$$

Équation 2: la charge de résolution de conflit pour le secteur

N_k Représente le nombre de nœuds dans le secteur S_k

Dans l'exemple de la figure (IV.7), la charge de conflit du secteur S_1 est donnée par :

$$C_{cf}(S_k) = \frac{1}{2} \left[\frac{\alpha_{61}(\theta_{615}) + \alpha_{51}(\theta_{615})}{2} f_{61}f_{51} + \frac{\alpha_{12}(\theta_{127}) + \alpha_{72}(\theta_{127})}{2} f_{12}f_{72} \right]$$



Tous les avions qui sont dans un même secteur communiquent au moyen de la même fréquence avec le contrôleur en charge du secteur. Lorsqu'ils changent de secteur, ils doivent changer de fréquence et il s'opère alors un transfert de contrôle. Ce transfert doit avoir fait l'objet au préalable d'une négociation entre le contrôleur qui transfère et le contrôleur qui reçoit, pour assurer que celui-ci peut accepter l'avion et pour définir les modalités (niveau de vol, etc.) selon lesquelles l'opération a lieu. Un transfert nécessite un travail relativement important de la part des deux contrôleurs; de plus c'est une opération au cours de laquelle des incompréhensions ou des erreurs peuvent se produire causant des pertes accidentelles de séparation. Les charges de contrôle induites par ces transferts sont regroupées dans une charge unique appelée coordination. Dans un réseau de transport sectorisé la charge de coordination est proportionnelle aux flux coupés par les frontières des secteurs. En étudiant la charge de coordination générée par un arc (i,j) de route aérienne dont une partie ou la totalité appartient à un secteur S_k , on peut identifier trois cas de figure :[2]

1. Les deux extrémités de l'arc appartiennent au secteur $S_k \Rightarrow i \in N_k$ et $j \in N_k$; la totalité de l'arc se trouve donc dans le secteur par exemple l'arc (2,3) du réseau représenté, figure (IV.5)

$$C_{CO} = 0 ;$$

2. Une seule extrémité de l'arc appartient au secteur $S_k \Rightarrow i \in N_k$ ou (exclusif) $j \in N_k$; il existe donc une intersection entre l'arc (i,j) et la frontière du secteur par exemple l'arc (3,4) du réseau de la figure (IV.6). On peut alors représenter la charge de coordination

$$C_{CO} = \beta_{ij} f_{ij}$$

3. Les deux extrémités de l'arc sont extérieures au secteur $S_k \Rightarrow i \notin N_k$ ou (exclusif) $j \notin N_k$ est l'ensemble des arcs ayant un segment dans le secteur ; dans ce cas le flux est coupé deux fois, c'est le cas de l'arc (1,4) du réseau de la figure (IV.4). On peut alors modéliser la charge par :

$$C_{CO} = 2\beta_{ij} f_{ij}$$

En regroupant ces trois cas et en considérant l'ensemble des arcs en intersection avec le secteur S_k , on obtient la charge globale de coordination liée à un secteur :

$$C_{CO}(j) = \sum_{\substack{i \in N_k \\ \oplus j \in N_k}} \beta_{ij} f_{ij} + \sum_{\substack{i \notin N_k \\ j \notin N_k \\ (i,j) \in L_k}} 2\beta_{ij} f_{ij}$$

Équation 3: la charge de coordination pour le secteur

où \oplus représente la fonction logique "ou exclusif".

Dans notre exemple :

$$C_{CO}(S_1) = \beta_{12} f_{12} + \beta_{62} f_{62} + \beta_{35} f_{35} + \beta_{34} f_{34} + 2\beta_{14} f_{14}$$

IV.5.3 Charge de monitoring

Dans un secteur de contrôle les avions qui ne sont pas en conflit ou en transfert nécessitent une surveillance de la part du contrôleur qui vérifie le bon déroulement des plans de vol sur l'image radar et qui essaye de déterminer les risques potentiels de conflits

futurs induits par ces avions. Le monitoring est en fait la tâche de fond du contrôleur et représente une source importante de stress pour ce dernier. Cette charge de contrôle est directement liée au nombre d'avions présents dans le secteur de contrôle. Pour un secteur on peut la modéliser par : [2]

$$C_{mo}(S_k) = \eta \sum_{(i,j) \in L_k} p_{ij}(k) f_{ij}$$

Équation 4: la charge de monitoring pour le secteur

Avec :

- $p_{ij}(k)$: proportion de l'arc (i,j) contenue dans le secteur S_k
- η : Coefficient de proportionnalité.

IV.5.4 Modélisation mathématique de la charge de contrôle

La charge de contrôle dans un secteur est donc la somme de la charge de conflit, de la charge de coordination et de la charge de monitoring :

$$C(S_k) = C_{cf}(S_k) + C_{co}(S_k) + C_{mo}(S_k)$$

$$C_{cf}(S_k) = \left(\frac{1}{2} \sum_{j \in N_k} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} \sum_{\substack{l \in N \\ l \neq i; l \neq j}} \left| \frac{\alpha_{ij}(\theta_{ijl}) + \alpha_{lj}(\theta_{ijl})}{2} f_{ij} f_{lj} \right| \right)$$

$$+ \left(\sum_{\substack{i \in N_k \\ \ominus j \in N_k}} \beta_{ij} f_{ij} + \sum_{\substack{i \notin N_k \\ j \notin N_k \\ (i,j) \in L_k}} 2\beta_{ij} f_{ij} \right) + \left(\eta \sum_{(i,j) \in L_k} p_{ij}(k) f_{ij} \right)$$

IV.6 Conclusion

Plusieurs paramètres ont une influence sur le travail du contrôle aérien. Ces paramètres sont mis en forme mathématique pour calculer la charge de contrôle dans un secteur donné.

Nous n'avons retenu dans le modèle de la charge de contrôle que les principaux paramètres quantitatifs en négligeant les aspects qualitatifs liés au travail du contrôleur. (Sachant que ces derniers sont étroitement dépendants des précédent

Chapitre V : LA REALISATION DE L'APPLICATION

V.1 Introduction

Nous abordons dans ce chapitre notre partie implémentation, qui mettra en pratique la conception de notre système de la détection de la similarité des parties du fait web dans les multi-sources de données.

Pour ce faire nous présentons d'abord le langage de programmation et l'environnement de développement, puis nous verrons les différents API, les étapes à suivre pour son importation et ensuite nous enchaînons par la présentation de notre application et expliquer son fonctionnement.

V.2 Environnement de développement

V.2.1 L'environnement matériel

Notre application a été développée sur une machine HP avec une RAM de 8Go, sous le système d'exploitation Microsoft Windows 10.

V.2.2 L'environnement logiciel

L'implémentation de l'application a été réalisée avec le langage de programmation java sous la plateforme NetBeans IDE 8.0, à l'aide de différentes API que nous décrirons ultérieurement.

V.2.2.1 Le langage Java

Nous avons utilisé comme langage de programmation le langage objet « java ». Le choix de java se justifie par les avantages suivants :

- ✓ C'est un langage bien connu et largement répandu. Il existe de nombreuses bibliothèques qui facilitent le développement des applications.
- ✓ Les applications java s'exécutent en utilisant une machine virtuelle, ce qui les rend indépendantes du système d'exploitation.
- ✓ Des machines virtuelles java ont été développées pour la plupart des systèmes actuels, ce qui facilite la portabilité des applications java.
- ✓ Les compilateurs java sont gratuits.
- ✓ Java permet de définir facilement des interfaces graphiques agréables à utiliser.

V.2.2.2 Environnement Netbeans

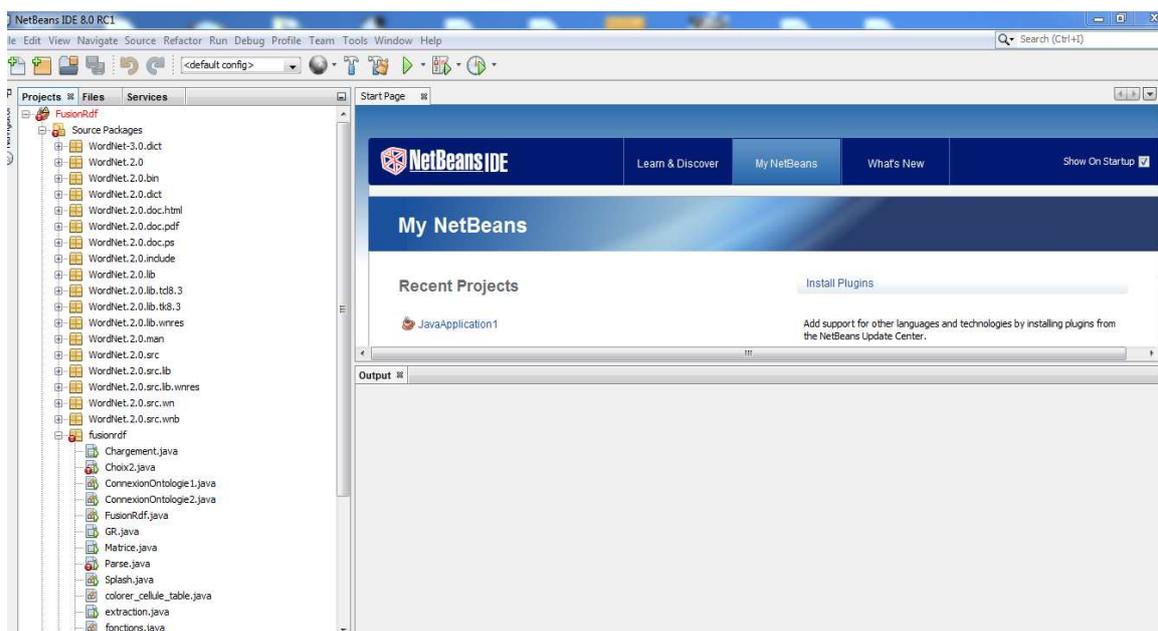


Figure V-1 NetBeans

NetBeans est un environnement de développement intégré (EDI), placé en open source par Sun en juin 2000 sous licence CDDL et GPLv2 (Common Développement and Distribution License). En plus de Java, NetBeans permet également de supporter différents autres langages, comme Python, C, C++, JavaScript, XML, Ruby, PHP et HTML. Il comprend toutes les caractéristiques d'un IDE moderne (éditeur en couleur, projets multi-langage, refactoring, éditeur graphique d'interfaces et de pages Web). Conçu en Java, NetBeans est disponible sous Windows, Linux, Solaris (sur x86 et SPARC), Mac OS X ou sous une version indépendante des systèmes d'exploitation (requérant une machine virtuelle Java). Un environnement Java Development Kit JDK est requis pour les développements en Java.

NetBeans constitue par ailleurs une plate-forme qui permet le développement d'applications spécifiques (bibliothèque Swing (Java)). L'IDE NetBeans s'appuie sur cette plate-forme.

V.2.2.3 Installation de NetBeans

La toute première étape consiste à installer JDK (Java Development Kit) qui désigne un ensemble de bibliothèques logicielles de base du langage de programmation Java, ainsi que les outils avec lesquels le code Java peut être compilé, transformé en bytecode destiné à la machine virtuelle Java.

A) Exécutez le fichier d'installation, par exemple "jdk-7u25-windows-i586".



Figure V-2: Exécution de JDK

- B) Sélectionnez les fonctions optionnelles.
- C) Attendre processus de copie de fichier.
- D) Spécifiez le dossier de destination.
- E) Configuration en cours.
- F) L'installation se fait.
- G) Vérifiez que vous avez installé correctement. Dans la fenêtre de commande, tapez "java -version".

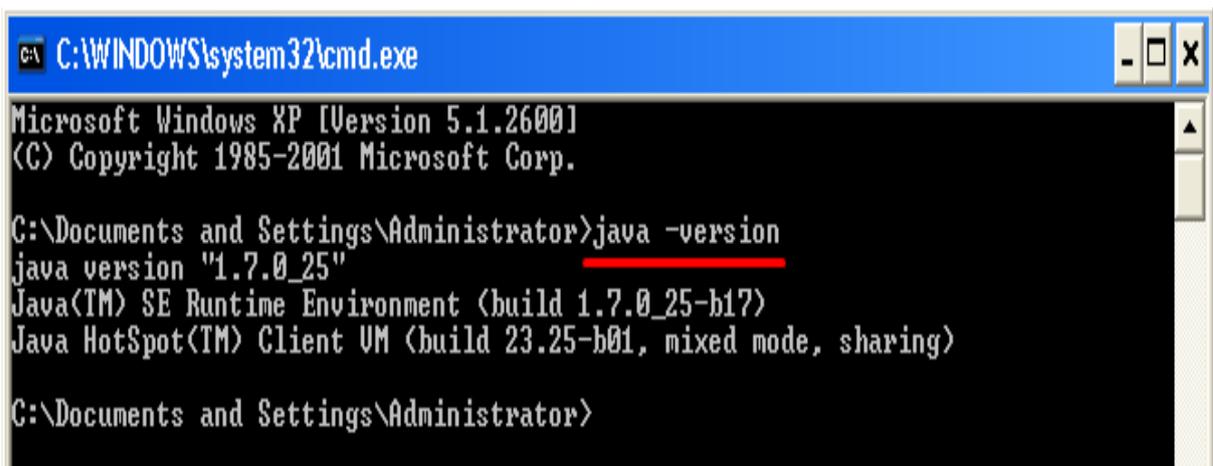


Figure V-3: Fin d'installation de JDK

Vu qu'on a installé JDK on peut passer maintenant à NETBEANS, en suivant les étapes suivantes :

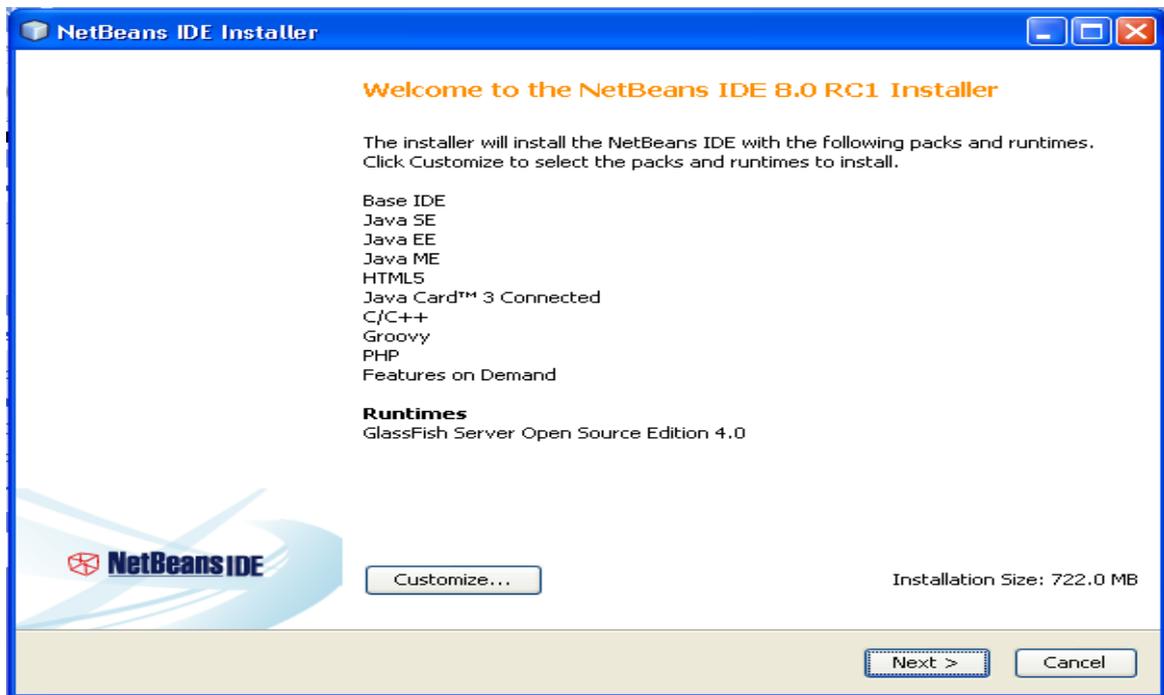


Figure V-4: début d'installation de NetBeans

- A) Exécutez le fichier d'installation. par exemple "netbeans-8.0rc1-windows".
- B) Acceptez les termes.
- C) Accepter JUnit Conditions (JUnit est nécessaire pour le code des fins de test).
- D) Indiquez le chemin d'installation cible pour NetBeans IDE.
- E) Indiquez le chemin d'installation cible pour GlassFish (Web Server).
- F) Confirmation de l'installation.
- G) L'installation se fait.

V.3 Déroulement de notre application

V.3.1 Présentation du programme suivi

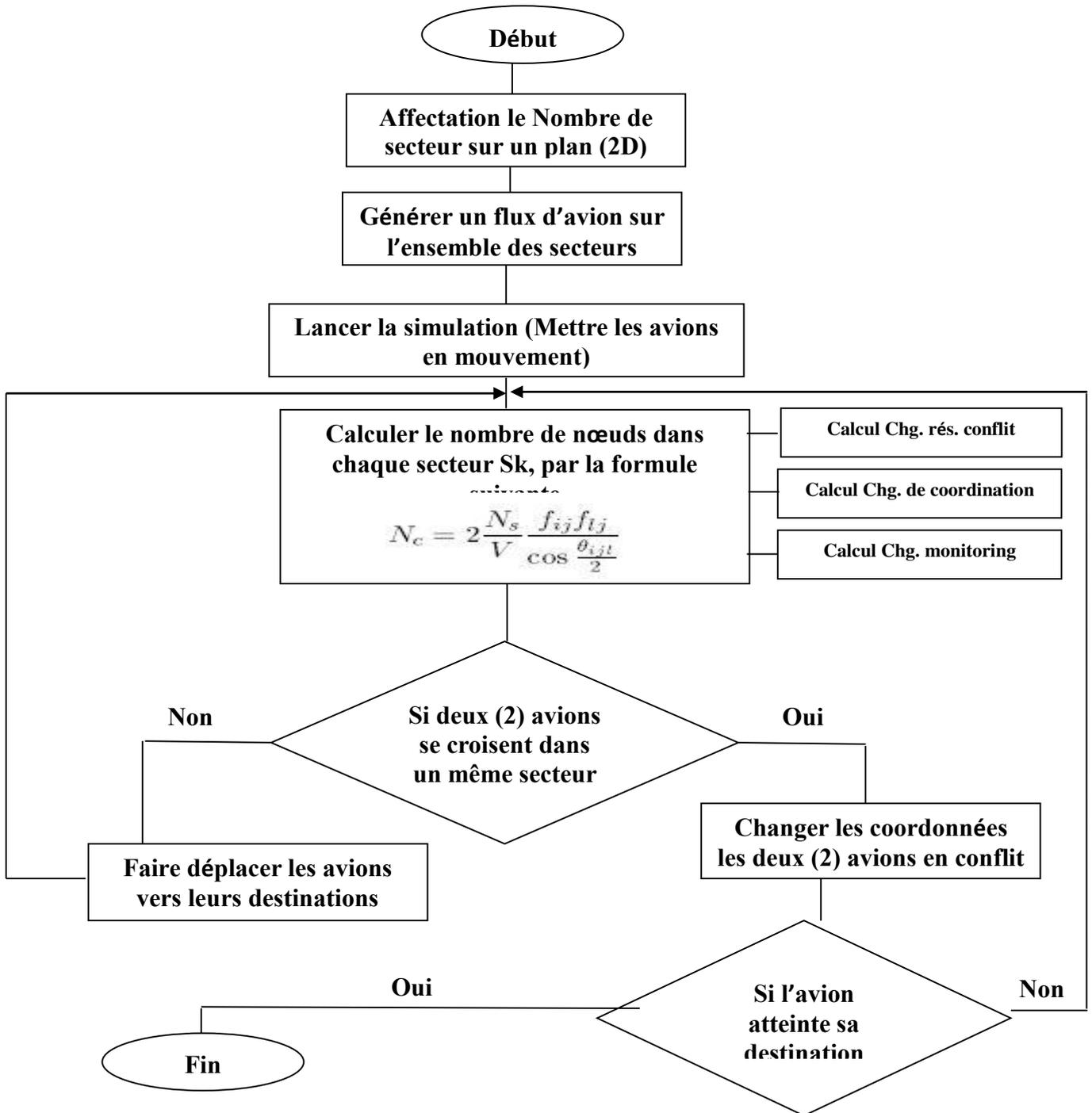


Figure V-5:7 l'organigramme de l'application

V.3.2 Page d'accueil

L'application commence par une page d'accueil qui représente notre sujet, elle contient deux boutons, un pour accéder au menu principal et l'autre pour quitter l'application.



Figure V-6: Page d'accueil de l'application

V.3.3 Menu principal

Notre application est composé d'un menu principal consiste a superviser l'ensemble de notre travail, paramétrage des données, déroulement des algorithmes, et affichage des entrées et sorties.

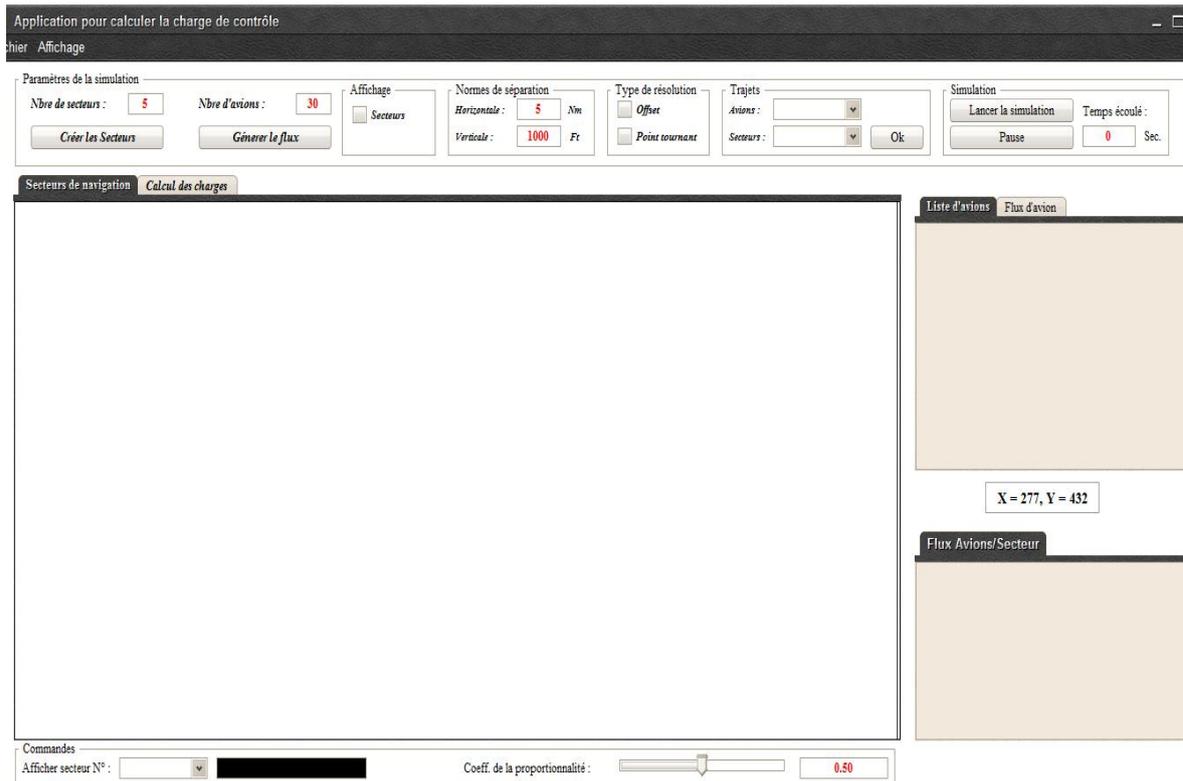


Figure V-7: Menu principal de l'application

Après avoir exécuté l'application nous devons remplir un nombre de secteur pour le visualiser (le nombre est limité à 10 secteurs due à la limitation des couleurs).

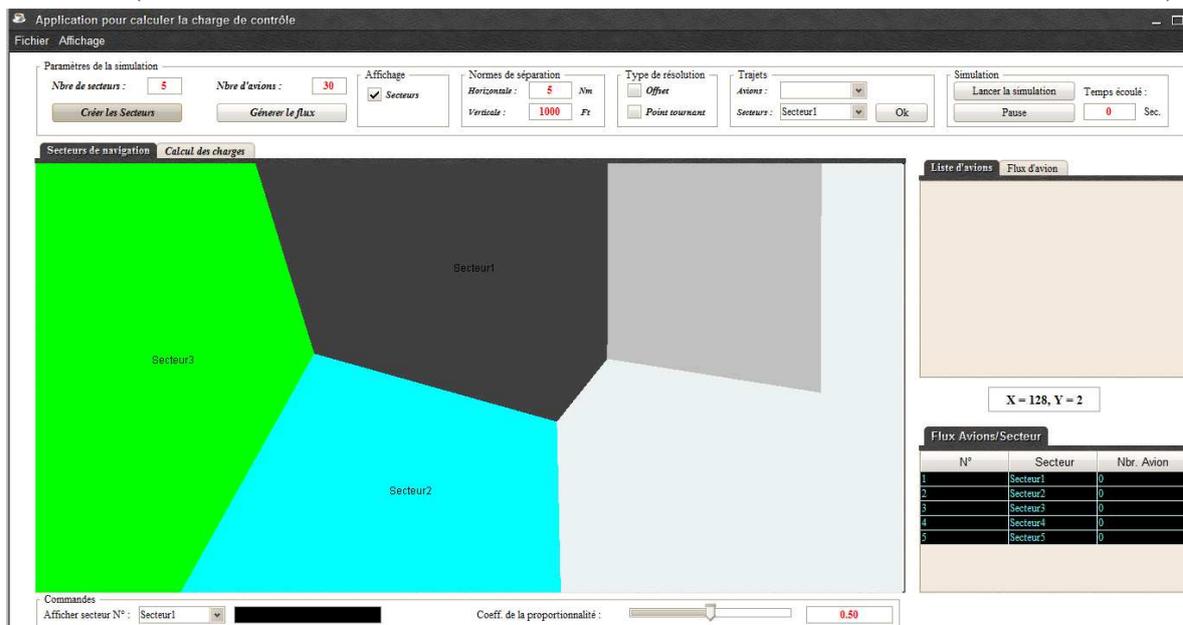


Figure V-8: Menu principal de l'application (après la division de l'espace)

Avec le Bouton «Générer le flux» dans le tableau à la droite de notre surface de simulation, s'affichera les flux d'avions qui circulent sur notre surface de navigation en définissant les secteurs de départs et les secteurs d'arrivées avec leurs positions à tous instant t.

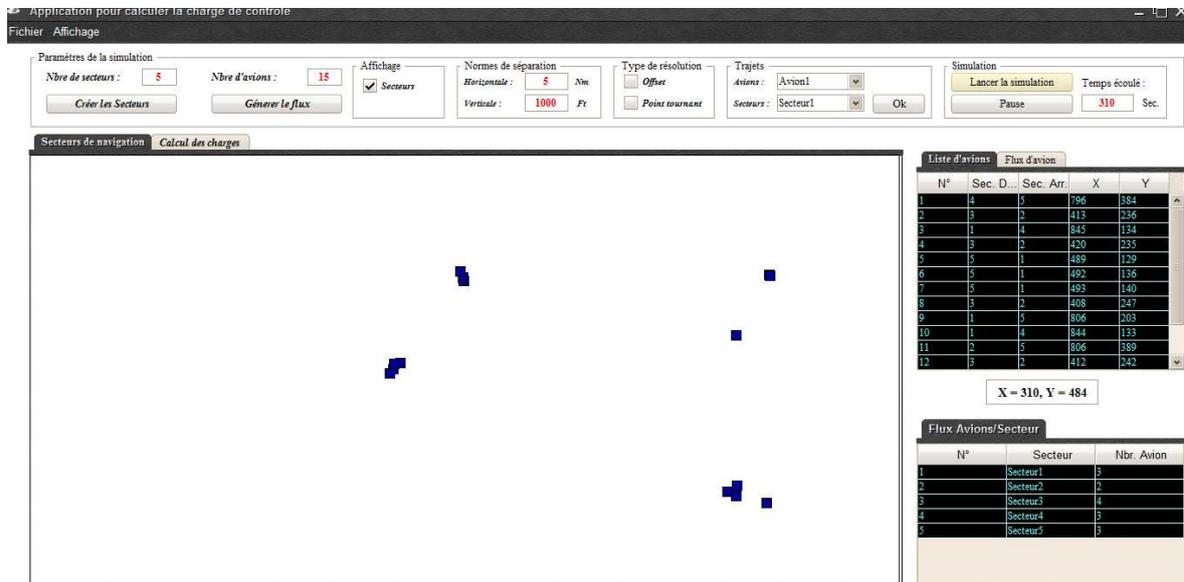


Figure V-9: flux généré

-Nous pouvons aussi visualiser les différentes trajectoires à partir de ce tableau et nous pouvons les afficher sur notre écran de simulation après sélection sur les différents avions et leurs secteurs d'arrivées, nous cliquons sur le Bouton «ok »et la fenêtre suivante s'affiche.

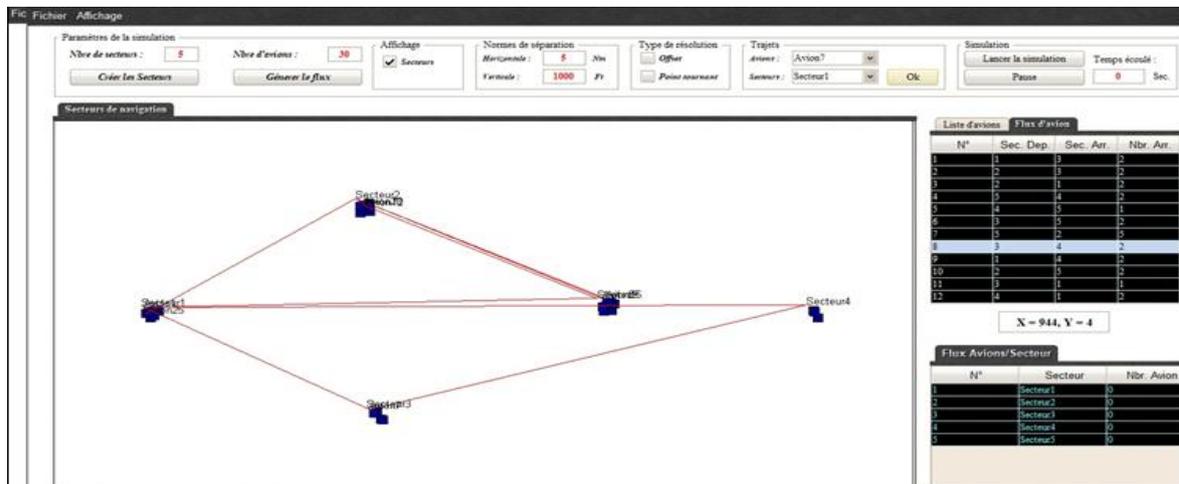


Figure V-10: Quelques lignes (itinéraire) entre avions et secteurs.

V.3.4 Lancement de la simulation (2D)

A partir de cette phase on commence à simuler les avions et on calcul au fur et à mesure les distance entre avion/secteur ainsi que les **Nc** de chaque flux, etc.... en cliquant sur le bouton lancer la simulation.

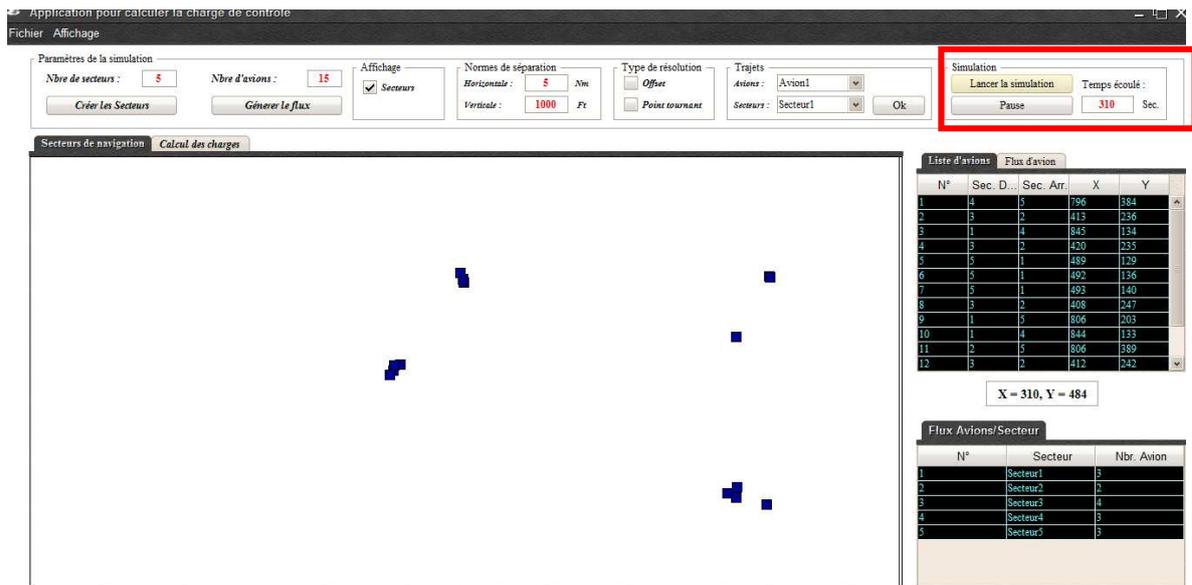


Figure V-11 Flux d'avion dans chaque secteur avant la simulation

Après lancer notre simulation les avions commence à se déplacer vers le secteur défini comme montre la figure ci-dessous.

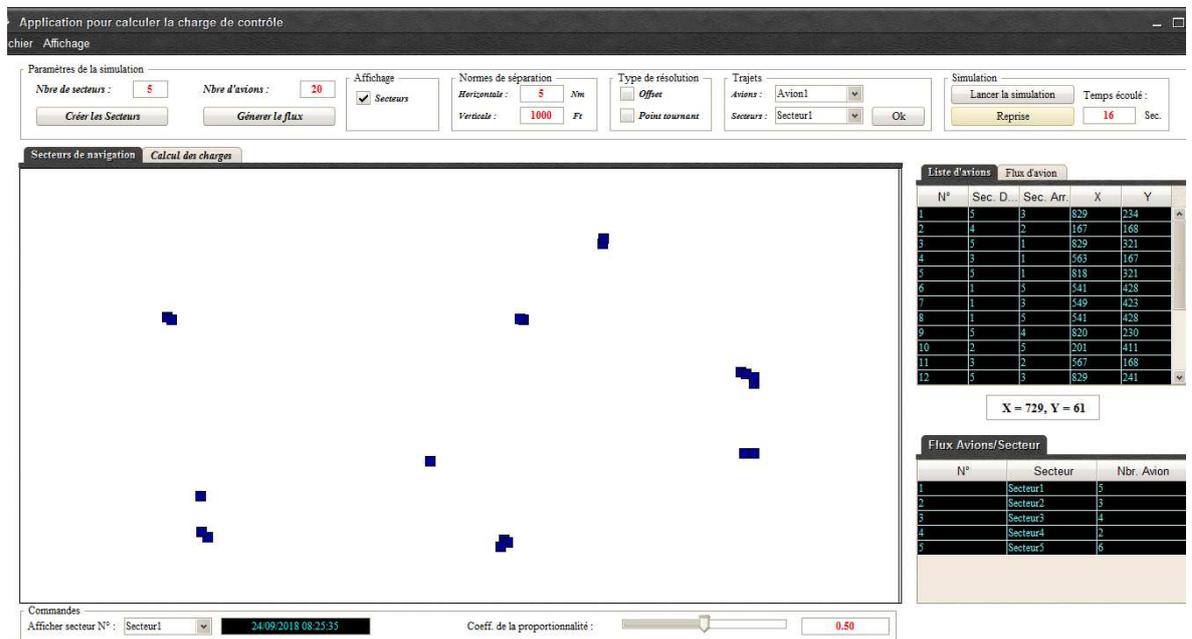


Figure V-12: Les avions en mouvements

Nous avons choisi quelques lignes itinéraires avec un nombre de secteur de 5 secteurs et un flux de 30 avions. Après nous avons étudié les statistiques de déplacement des avions entre les secteurs. En remarquant que le secteur n°02 est très dense en termes de trafic évolue.

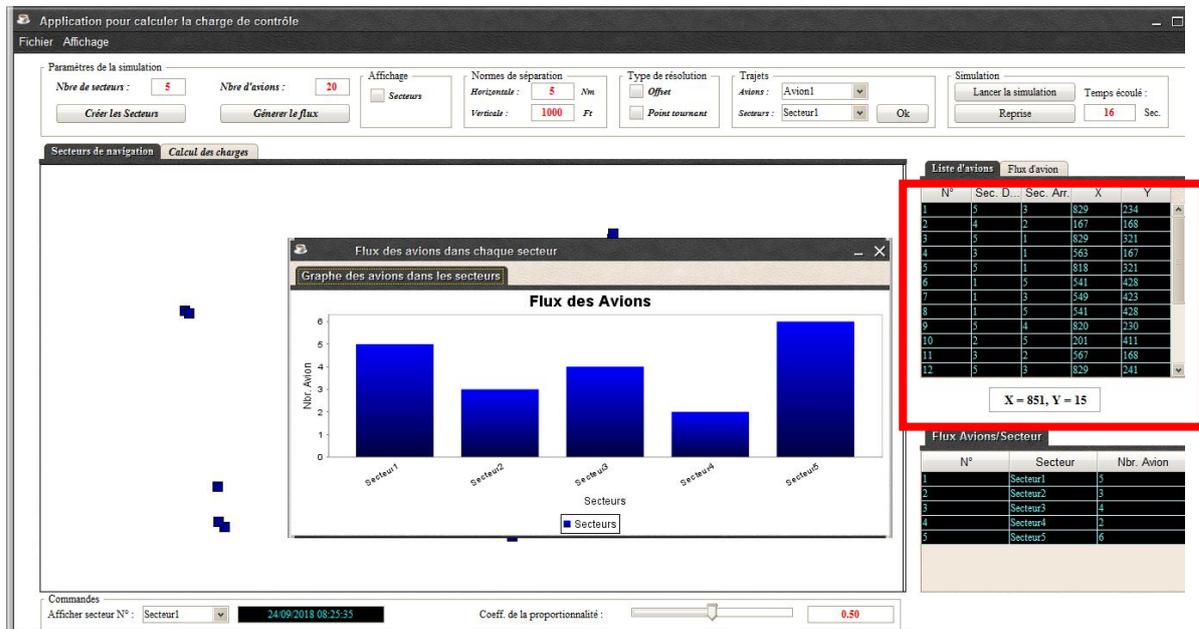


Figure V-13: Statistiques de chaque secteur à l'instant T_i de la simulation

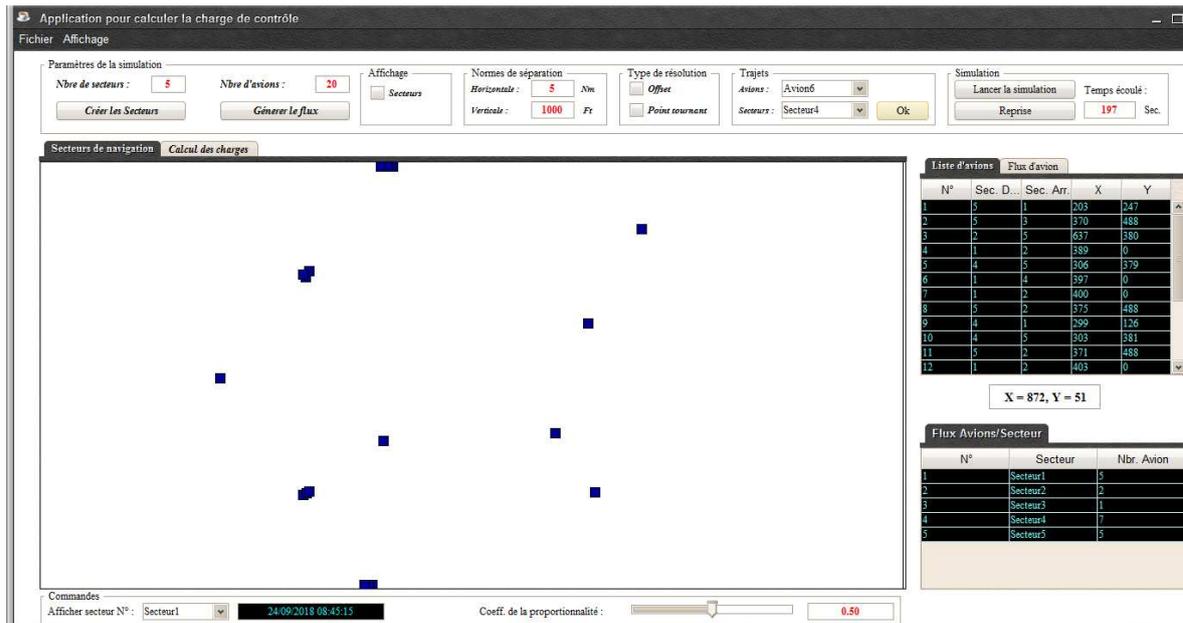


Figure V-14: Etats des avions en calculant les N_c .

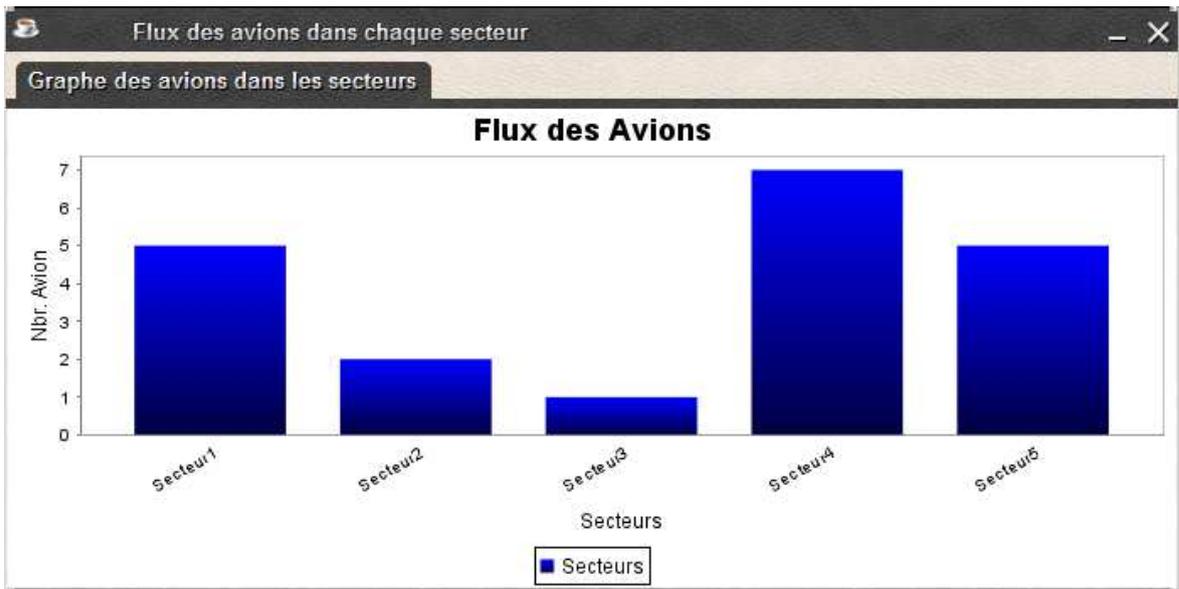


Figure V-15: Nouvel Statistique de chaque secteur à l'instant T_j de la simulation après avoir calculer les N_c

Nous pouvons aussi déterminer le flux convergeant à partir d'une matrice qui nous a permis de trouver le produit $f_{ij}f_{lj}$ comme la montre la figure ci-dessous.

➤ **Matrice flux convergents**

	Secteur1	Secteur2	Secteur3	Secteur4	Secteur5
Secteur1	0	3	1	1	0
Secteur2	1	0	0	0	1
Secteur3	0	0	0	0	1
Secteur4	3	1	0	0	3
Secteur5	1	3	1	0	0

Figure V-16: Matrice flux de convergence

Le calcul de la charge de contrôle

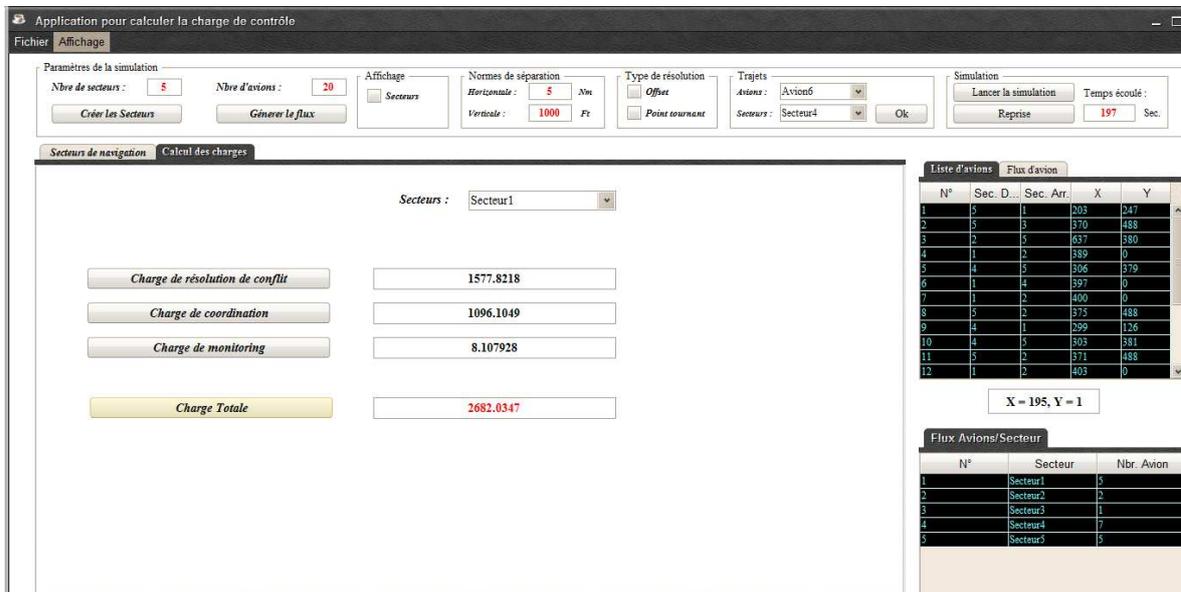


Figure V-17 le calcul de la charge de contrôle dans le secteur 1

V.4 Conclusion

Cette étude nous a permis de définir une valeur approchée de la charge de travail d'un contrôleur aérien et à partir de cette valeur on peut connaître la limite au delà de laquelle le contrôleur ne peut plus supporter de nouveaux aéronefs dans son secteur et donc on fait l'adapter selon le trafic existant.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail nous à permis d'identifier les différents facteurs influant sur le travail du contrôleur aérien en faisant augmenter la charge de travail de ce dernier.

Notre but étant de diviser l'espace aérien en secteur équilibrés en terme de charge de contrôle, il nous a fallu développer un modèle mathématique pour cette dernière. Cette charge de contrôle est très délicats à modéliser dans la mesure où elle fallait intervenir des éléments qualitatifs relevant du travail du contrôleur. Pour décrire notre modèle nous n'avons pris en compte que les paramètres quantitatifs (nombre de conflits, coordinations, densité de trafic...). Sachant que les autres (paramètres qualitatifs) en dépendent de façon directe.

La charge de travail est une construction, c'est-à-dire un processus ou expérience qui ne peut pas être vue directement, mais doit être déduite de ce qui peut être vu ou mesuré.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Karine DESCHINKE, Thèse doctorat « Régulation du trafic aérien par optimisation dynamique des prix d'utilisation du réseau », L'école Nationale Supérieure De L'aéronautique Et De L'espace, novembre 2001.
- [2] DELAHAYE, «Optimisation de la sectorisation de l'espace aérien par algorithmes génétiques», 1995.
- [3] Géraud Granger, «Détection et résolution de conflits aériens : modélisations et analyse», octobre 2002.
- [4] Huy-TRAN-DAC, «Sectorisation contrainte de l'espace aérien», Ecole Doctorale de l'Université de Technologie de Compiègne, mai 2004.
- [5] MARTIN Caroline, Thèse doctorat, «La gestion de la charge mentale des contrôleurs aériens En-Route : Apports de l'eye-tracking dans le cadre du projet européen SESAR», Université de Toulouse, Septembre 2013.
- [6] ALLIGNOL Cyril, Thèse doctorat «Planification des trajectoires pour l'optimisation du trafic aérien», Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse), Décembre 2011.
- [7] SACI Hajer, «Resectorisation de l'espace aérien Algérien», 2009.
- [8] DRARNI, Fatima Zahra, Thèse Magister, «Décongestion des secteurs de contrôle en route par le processus d'allocation des créneaux au départ», Institut d'Aéronautique de Blida, Novembre 2008.
- [9] ANAMMAS Jamal, « Autour de la résolution du conflit aérien », Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, (2015/2016).
- [10] BENLEKEHAL Sarah, Thèse de Master « Etude de la capacité du secteur nord-est au CCR d'Alger », Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales, Novembre 2015.
- [11] «cours ATM Master 01 Option: Opérations Aériennes », 2016.

- [12] «cours circulation aérienne L3 Option: Opérations Aériennes », 2015.
- [13] «La gestion du stress et de la fatigue dans l'ATC», Bulletin d'information de sécurité n°06/ Octobre 2015.
- [14] ENR, 1.-4.-4. (15 MAR 07). AIP ALGERIE.
- [15] «Présentation Tassili Airlines», (Novembre2016).

