

REPEBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des sciences de l'ingénieur
Département d'Aéronautique

PROJET DE FIN D'ÉTUDE
EN VUE DE L'OBTENTION DE DIPLOME D'INGENIEUR
D'ETAT EN AERONAUTIQUE

Option : Opérations Aériennes

SUJET

Le CFMU et la Congestion
du Trafic Aérien

Encadré par :

Mr DRIOUCHE Mouloud

Présenté par :

DERRICHE Redouane

Année Universitaire 2006/2007

Dédicaces

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail à :

** A la mémoire de mon père.*

** A ceux qui m'ont élevé, veillé sur moi, Aimé, entouré
d'affection et de tendresse, et qui m'ont soutenu durant mes
années d'études :*

Ma chère mère et ma très chère grande mère

** A la lumière de mes yeux... ma soeur*

** A toutes les familles DERRICHE, DERRAS et BELEMOU.*

** A une personne qui est toujours à mes côtés aux moments*

difficiles

C'est bien SID AHMED et sa famille.

REDOUANE

REMERCIEMENTS

Je tien à remercier en premier lieu, ALLAH de m'avoir donner la foi et le courage à fin d'arriver à ce niveau d'étude.

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur DRIOUACHE MOULOUD, chef département Navigation Aérien à l'institut Aéronautique de BLIDA, qui assurer l'encadrement de cette thèse. La confiance qu'il m'a accordée et les nombreux conseils furent très précieux pour l'accomplissement de ce travail.

Ce travail ne serait rien sans le soutien permanent de Monsieur HADJERSSI CHAKIR, chef service dans ENNA, je lui exprime ma sincère reconnaissance pour sa disponibilité, ses conseils toujours judicieux et pour ses qualités scientifique, pédagogique et humaines.

Je tien à associer à ces remerciements, tous qui m'aider pour finaliser ce travail notamment Farid.

Introduction

Le problème critique de la congestion de l'espace aérien est géré par l'ATFM (Air Traffic Flow Management) en imposant des délais au décollage des avions. L'augmentation continue du trafic pousse ce système aux limites et le besoin d'alternatives de plus grande capacité se fait chaque jour plus pressant.

Par ailleurs, les opérateurs aériens sont généralement libres de choisir les routes et niveaux de croisière pour chacun de leurs vols. Leurs choix peuvent éventuellement être limités à un sous-ensemble de routes et de niveaux lorsqu'un schéma d'orientation du trafic est défini, mais en dehors de cette limitation, très peu de contraintes liées à la saturation de l'espace aérien pèsent sur les choix des opérateurs. En conséquence, on retrouve un nombre important de vols sur les mêmes trajets et aux mêmes niveaux de croisière.

Le problème de la définition d'un réseau de routes optimisé a été l'objet de nombreux travaux, cités dans, qui abordent en particulier la faisabilité d'un réseau de routes directes entre les points de départ et d'arrivée.

Dans le chapitre I on a représenté l'entreprise ENNA qui est chargée de la gestion de trafic aérien en Algérie, tout en précisant le but de travail.

Le chapitre II est réservé à la présentation de l'espace aérien avec ces différentes notions (Secteurs et routes).

Dans le chapitre III on trouve le contexte de la gestion du trafic aérien en expliquant le système ATFM existant, les évolutions possibles et les choix de contextes et des critères d'optimisation.

Dans le chapitre IV on a décrit le CFMU et analysé le flux origine destination en Europe.

On a terminé avec le chapitre V dont lequel on a basé notre étude sur l'espace aérien Algérien avec les statistiques de trafic dans les différentes phases en précisant l'importance de CFMU pour l'Algérie.

But de travail

Le trafic aérien est depuis longtemps et surtout durant les dernière années est en forte croissance, ces constatations ont amené à imaginer et explorer, avec plus ou moins de succès, plusieurs voies de recherche pour sortir de cette impasse :

- Améliorer le processus de régulation de trafic.
- Optimiser la structure et la gestion de l'espace aérienne, ainsi que l'organisation des flux de trafic à travers cet espace.
- Tenter d'imaginer des nouvelles façons de contrôler, ou plus généralement de gérer le trafic.
- De lier aux avions la détection et la résolution des conflits de trajectoire.

Le travail présenté dans cette thèse est centré sur ces derniers points : on cherchera à améliorer l'écoulement des flux aériens sans réguler la demande de trafic.

Au-delà de cet objectif principal, nous serons amenés à nous poser plusieurs questions, et notamment :

- comment optimiser la structure de l'espace aérien ?
- comment organiser les flux de trafic dans cet espace ?
- peut-on éventuellement optimiser la gestion de ce système sur certains points comme l'Algérie ?

I.1 Présentation de l'ENNA :

L'Établissement National de la Navigation Aérienne, (E.N.N.A.) est un établissement qui assure le service public de la sécurité de la navigation aérienne pour le compte et au nom de l'état, placé sous la tutelle du Ministère des Transports et a pour mission principale la mise en œuvre de la politique nationale dans le domaine de la sécurité de la navigation aérienne en coordination avec les autorités concernées et les institutions intéressées. Il est chargé en outre du contrôle et du suivi des appareils en vol ainsi que de la sécurité aérienne.

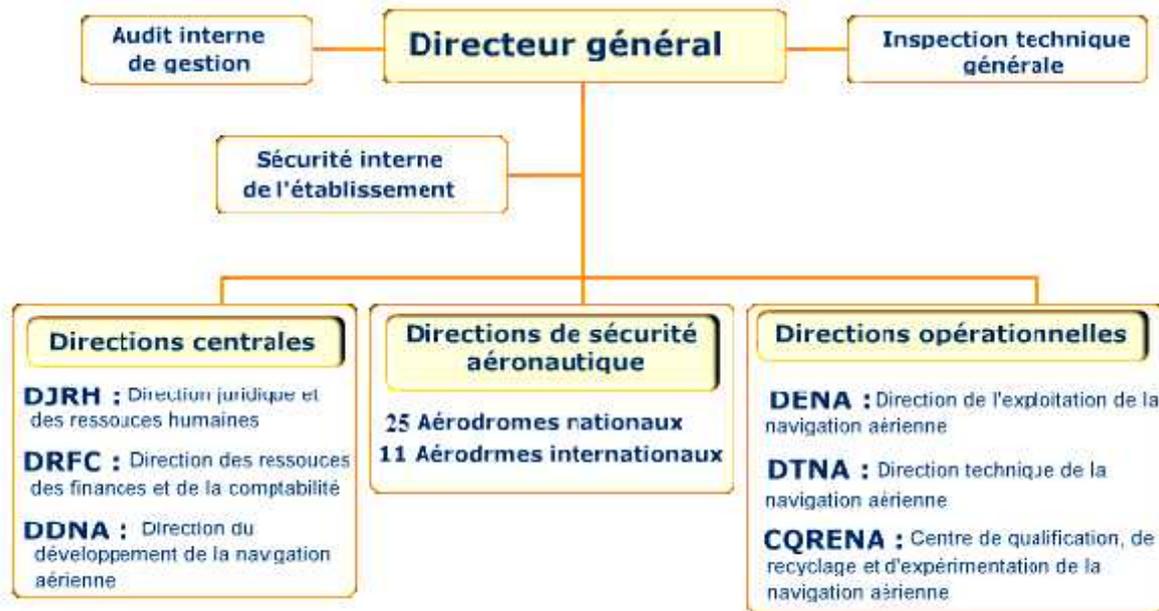
Dans le cadre du développement des projets liés à la navigation aérienne, l'E.N.N.A collabore avec des institutions nationales et internationales :

- ❖ Ministère du transport ;
- ❖ Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) ;
- ❖ AEFMP: organisation régionale réunissant l'Algérie, l'Espagne, la France, le Maroc et le Portugal ;
- ❖ ASECNA: Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar ;
- ❖ EUROCONTROL: Organisation européenne pour la Sécurité de la Navigation Aérienne ;
- ❖ Institut Aéronautique de Blida (IAB) ;
- ❖ Ecole Nationale de l'Aviation Civile à Toulouse (ENAC) ;
- ❖ Ministère de la défense ;

I.2 Les missions de l'ENNA :

Les principales missions de l'Etablissement :

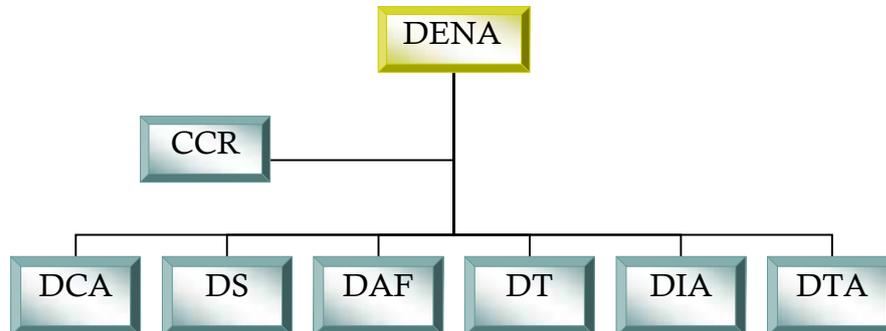
- ❖ Veille au respect de la réglementation des procédures et des normes techniques relatives à la circulation en vol et au sol des aéronefs et à l'implantation des aéroports et aux installations relevant de sa mission ;
- ❖ Participe à l'élaboration des schémas directeurs et aux plans d'urgence des aéroports, établit les plans, en coordination avec les autorités concernées, les plans de servitudes aéronautiques et radioélectriques et veille à leur application ;
- ❖ Assure l'installation et la maintenance des moyens de télécommunication, de radionavigation, l'aide à l'atterrissage, des aides visuelles et des équipements d'annexes ;
- ❖ Le contrôle de la circulation aérienne pour l'ensemble des aéronefs évoluant dans son espace aérien qu'ils soient en survol, à l'arrivée sur les aéroports, ou au départ de ces derniers ;
- ❖ La sécurité de la navigation aérienne dans l'espace aérien national ou relevant de la compétence de l'Algérie ainsi que sur et aux abords des aéroports ouverts à la CAP ;
- ❖ Assure l'information aéronautique en vol et au sol et la diffusion des informations météorologiques nécessaires à la navigation aérienne ;
- ❖ Assure le service de sauvetage et de lutte contre incendies sur les plates formes aéronautiques ;
- ❖ Contribue à l'effort du développement en matière de recherches appliquées dans les techniques de la navigation aérienne ;
- ❖ Concentration, diffusion ou retransmission au plan international des messages d'intérêt aéronautique ou météorologique ;
- ❖ Le calibrage des moyens de communication de radionavigation et de surveillance au moyen d'un avion laboratoire.

I.3 :L'organisation de L'ENNA :**I.3.1 Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne DENA :**

La Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne est chargée d'assurer la sécurité et la régularité de la navigation aérienne et, veiller à la bonne gestion technique au niveau des aérodrômes. Ses principales missions se résume comme suit :

- ❖ Gérer et contrôler l'espace aérien confié en route et au sol, par le centre de contrôle régional (CCR) et les différents départements de la circulation aérienne ;
- ❖ Mettre à disposition de tous les exploitants le service de l'information aéronautique en vol et au sol, ainsi que les informations météorologiques ;
- ❖ Gérer les services de la télécommunication aéronautique ;
- ❖ Assurer le service de sauvetage et de lutte contre incendies aux aérodrômes.

La Direction de l'Exploitation de la Navigation Aérienne contient six (06) départements et un centre de contrôle régional :



DCA : Département de la Circulation Aérienne

DS : Département Système

DAF : Département Administration et Finances

DT : Département Technique

DIA : Département Informations Aéronautiques

DT A : Département Télécommunications Aéronautiques

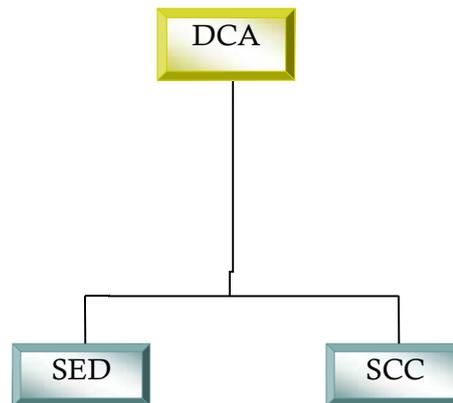
CCR : Centre de Contrôle Régional

a: Département de la Circulation Aérienne (DCA) :

Le Département de la Circulation Aérienne, est chargé du contrôle et de la coordination des différents aéroports et le Centre de Contrôle Régional d'Alger, ainsi que les études liées au développement de la navigation aérienne, basé évidemment sur les normes OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale). Au sein de ce département on trouve deux services :

SED : Service Etude et Développement

SCC : Service Contrôle et Coordination



a-1 : Le Service Etude et Développement (SED) il a pour tâche :

- ❖ Etude et élaboration des schémas de la circulation aérienne ;
- ❖ Etude et élaboration des plans de servitudes aéronautique de dégagements;
- ❖ La conception des procédures de départ (SID : Standart Instrument Departure), d'arrivée (STAR: Standart ArrivaI), d'approche initiale, finale et d'approche à vue ;
- ❖ Etude et élaboration des routes ATS ;
- ❖ Traitement des données statistiques de trafic aérien pour les besoins d'études.

a-2 : Le Service Contrôle et Coordination (SCC) il est tenu :

De maintenir à jour le fichier informatisé concernant l'état de tout les aérodromes sur le territoire national; d'analyser les anomalies d'exploitations relatives aux incidents, accidents concernant les aéronefs et leurs équipages. Ce service veille à l'application des normes OACI, il est également chargé d'autres missions relatives à l'exploitation des aérodromes confiés par la D.E.N.A.

II-1- Introduction :

Le nombre d'avions circulant dans le ciel étant devenu considérable, et compte tenu de la progression du trafic aérien mondialisé, il est primordial d'avoir une bonne gestion du trafic aérien, aux différentes échelles géographiques que sont les territoires nationaux, les zones aériennes mondiaux et les continents de façon plus générale.

II-2- Division de l'espace aérien :

L'espace aérien est divisé en régions ou zones, dont lesquelles les services de la circulation aérienne sont spécifiés et différents, on peut divisé l'espace aérien sur la base des services rendus en deux types :

- 🚦 Espace Aérien contrôlé.
- 🚦 Espace Aérien non contrôlé.

II-2-1- Espace aérien contrôlé :

Espace dans lequel un vol bénéficie des services rendus par l'organisme chargé de contrôle de l'espace dans lequel il est entré (pour le vol VFR les conditions VMC en espace contrôlé change selon que le vol s'effectue en dessous ou en dessus du niveau FL 100).

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 de control de l'espace aérien est non contrôlé, ce type d'espace comprend :

- ✓ Les régions de contrôle **CTA**.
- ✓ les régions de contrôle terminal **TMA**.
- ✓ les voies aériennes **AWY**.
- ✓ Les zones de contrôle **CTR**.
- ✓ Les régions supérieures de contrôle **UTA**.

a- Les régions de contrôle (CTA) :

Sont déterminées de manière à englober un espace aérien suffisant pour contenir les trajectoires des aéronefs en régime de vol **IFR** et au profit desquelles on juge nécessaire d'exercer la fonction contrôle, leurs limites géographiques sont fixées par arrêté de ministère des travaux public de transport et du tourisme.

Dans la CTA on distingue :

a-1- Les régions de contrôle terminale (TMA) :

Situées au carrefour des voies aériennes et au dessus d'un ou plusieurs aérodromes importants, les **TMA** peuvent être un espace contenant des trajectoires d'attente et d'approche aux instruments c'est la **TMA 1**, et dans les autres cas c'est **TMA 2**.

a-2- Les voies aériennes (AWY) :

Elles résultent de la nécessité d'exécuter la fonction de contrôle sur les itinéraires aériens à grande distance, elles se présentent sous la forme de corridors (routes) équipée d'aide à la navigation, la largeur des voies aériennes est fixée à 10NM (5 NM de part et d'autre de l'axe qui les oriente), la limite supérieure des **AWY** est fixée au FL195 et leurs planche est variable en fonction des reliefs.

Désignation des AWY :

Les **AWY** sont désignées par une couleur suivie d'un numéro d'identification.

A - Ambre (Amber).

B - Bleue (Blue).

G - Verte (Green).

R - Rouge (Red).

W- Blanche (White).

Les **AWY** « **A** » et « **B** » ont une orientation générale Nord / Sud.

Les **AWY** « **G** » et « **R** » ont une orientation générale Est / West.

Les **AWY** « **W** » sont voies aériennes saisonnières.

b- Zones de contrôle (CTR) :

C'est un espace aérien contrôlé dont ces limites latérales doivent englober les portions d'espace aérien contenant les trajectoires des aéronefs à l'arrivée et au départ, si ces trajectoires ne sont pas utilisées à l'intérieur d'une région de contrôle **CTA**.

La **CTR** s'étend en projection horizontale jusqu'au 5 NM au moins du centre d'un ou des aérodomes intéressants, et dans toutes les directions d'approche possibles.

Les zones de contrôle **CTR** partant du sol et :

- ✚ Lorsqu'une zone de contrôle est située à l'intérieur des limites latérales d'une région de contrôle **CTA**, elle s'élève au moins jusqu'à la limite supérieure de la région de contrôle.
- ✚ Lorsqu'une zone de contrôle est située dans une région d'information de vol (**FIR**), une limite supérieure lui est fixée.

Remarque01 : « Aéroport contrôlé » n'implique pas nécessairement l'existence d'une zone de contrôle.

c- Région supérieure du contrôle (UTA) :

Afin de limiter le nombre de régions de contrôle que les aéronefs volant à haute altitude auraient à traverser, il a été créé une région de contrôle supérieure englobant tout l'espace aérien supérieur, l'**UTA** ayant pour base le niveau FL245, et pour sommet le FL 460.

Remarque 02: dans ce type d'espace nous n'avons pas des vols aériens **AWY**.

II-2-2- Espace aérien non contrôlé :

Les espaces aériens non contrôlés sont des espaces de trafic moindre, où l'intervention des services de la circulation aérienne est limitée à l'information et l'alerte, il se divise en :

- Région d'information de vol **F.I.R.**
- Région supérieure d'information de vol **U.I.R.**

- Route à service consultatif **A.D.R.**
- Route supérieure à service consultatif **A.D.R.S.**

a- Région d'information de vol (F.I.R) :

Régions dans lesquelles les services d'information de vol sont assurés, leurs limites géographiques sont déterminées en fonction des caractéristiques de portée du moyen de liaison au sol, ils sont généralement adjacents.

b- Région supérieur d'information de vol (U.I.R) :

Elle a été créée à fin de limiter le nombre de régions d'information de vol (**F.I.R**) que les aéronefs volant à très grande altitude aurait à traversées.

Une région supérieure d'information de vol (**U.I.R**) englobe l'espace aérien située à l'intérieure des limites latérales d'un certain nombre de **F.I.R.**

c- Routes aériennes a service consultatif (A.D.R) :

Il existe à l'intérieure des espaces non contrôlés des itinéraires aériens au long desquelles la densité de trafic est suffisante pour justifiée une fonction d'information de vol approfondie, cette fonction particulière d'information de vol est remplie par un service consultatif de la circulation aérienne à fin d'assurer l'espacement des aéronefs volants conformément au plan de vol **IFR.**

d- Routes supérieur a service consultatif (A.D.R.S) :

Ce sont des routes à services consultatifs situées dans l'espace aérien supérieur, elle sont définis par leur seul axe (comme **A.D.R**) et sont considérées par le **CCR** comme des voies aériennes à l'intérieur des **UIR.**

II-2-3- Zones a statut particulier :

Ce sont des espaces aériens réservés, en fonction d'utilisation spéciale et des besoins de la défense nationale, à certaines catégories de manœuvre à savoir :

- Des espaces à procédure par réacteur : ce sont des espaces conçues pour le décollage et l'atterrissage des avions militaires.
- Des volumes propres d'aérodrome.
- Des secteurs de descente.
- Des couloirs de raccordement.
- Des zones réservées d'aérodrome.
- D'autres zones réglementées, tel que :
 - Zone d'entraînement au VSV.
 - Zone de tir et de parachutage.

Pour cela, il existe pratiquement trois types de zones à statuts particuliers, zones dangereuse, réglementaire et interdite.

La zone dangereuse implique un degré minimal de réglementation, tandis que la zone interdite constitue la forme la plus stricte, on notera toute fois que cette définition ne s'applique qu'à l'espace aérien situé au dessus du territoire d'un état, dans les régions qui ne sont soumises à aucun droit de souveraineté (haute mer) seules les zones dangereuses peuvent être établies par l'organisme responsable des activités qui motivent leur établissement.

a- Zones interdites :

L'établissement d'une zone interdite devrait être soumis à des conditions particulièrement strictes, car l'usage de la portion d'espace aérien englobées par la zone interdite sont – comme son nom l'indique – absolument interdite aux aéronefs, la pratique générale consiste donc à n'établir ce type de zones que pour protéger des installations importantes d'un état, les complexes industriels critiques dont les dommages qu'entraîne un accident d'avion risquerai de prendre des proportions catastrophiques (centrale nucléaire) ou installation particulière sensible qui sont indispensables pour garantir la sécurité du pays .

On les identifie par une lettre « P » suivie d'un numéro.

Exemple : DAP 51 A/Oussera.

b- Zones réglementaires :

Ce sont des zones définies au dessus du territoire ou des eaux territoriales d'un état, le vol des aéronefs y est subordonné à certaines conditions spécifiées qui peuvent aller jusqu'à l'interdiction de pénétration .

Une zone réglementaire protège les activités militaires et peut être perméable à l'aviation civile, un processus de coordination doit être établi dans ce cas entre les organismes militaires et civils intéressés, alors que l'aéronef est sous la responsabilité du gestionnaire de cette zone.

On les identifiées par une lettre « **R** » suivie d'un numéro de la zone.

Exemple : DAR 49 : Bousfer.

c- Zones dangereuses :

Certaines zones ont un caractère particulièrement dangereux pour la navigation aérienne au vu de l'activité qui s'y déroule. La traversée d'une zone dangereuse réclame une vigilance accrue du pilote et dans certains cas il est souhaitable de l'éviter lorsqu'elle est active.

Les zones dangereuses en espace supérieur ne sont pas gérées de la même façon qu'en espace inférieur.

Dans les lettres d'accord avec les organismes militaires, il est précisé que pendant les créneaux d'horaires d'activité, ces zones sont imperméable au trafic civile même si dans les règles de l'air rien n'interdit d'y pénétrés.

On les identifie par une lettre **D**, suivie d'un numéro de la zone.

Exemple: DAD 74 : TAFARAQUI: (Entraînement ou pilotage: voltige vrille).

II-2-4- Division verticale de l'espace aérien :

En fonction de ce qu'on a déjà vu l'espace aérien est devisé en deux étages bien distincts :

a- Espace aérien inférieur :

- Il va de la surface de la terre jusqu'au niveau FL245 inclus – voir **figure II.1.**

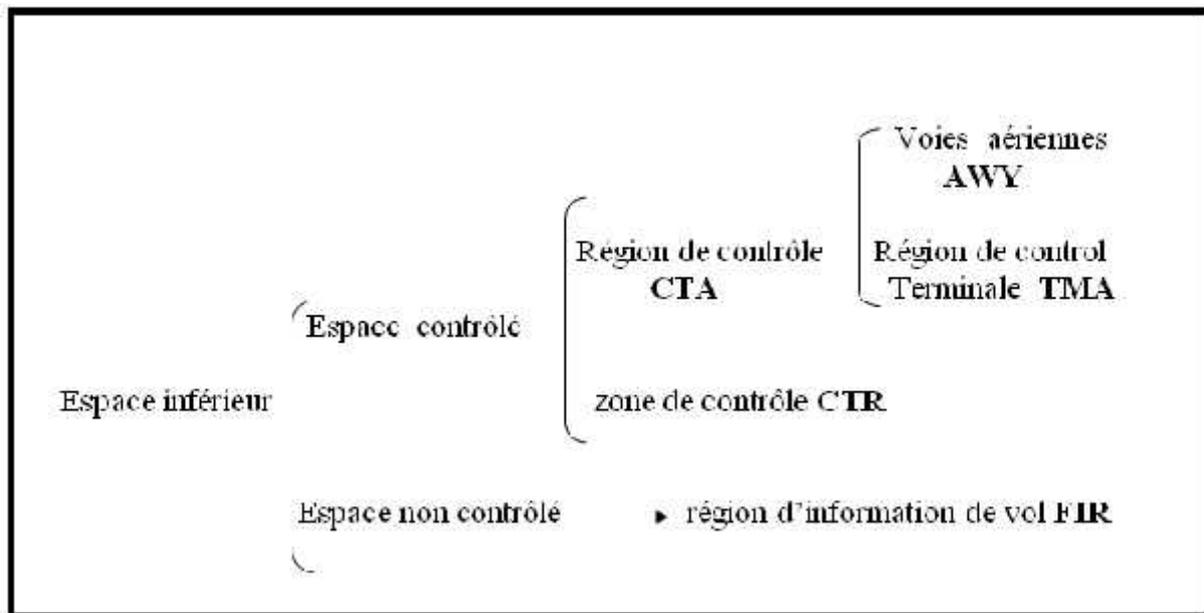


Figure II.1 : Limites de l'espace aérien inférieur

b-Espace aérien supérieur :

-Il va du niveau FL245 sans limitation de plafond- voir les figures II-2.3 et 4

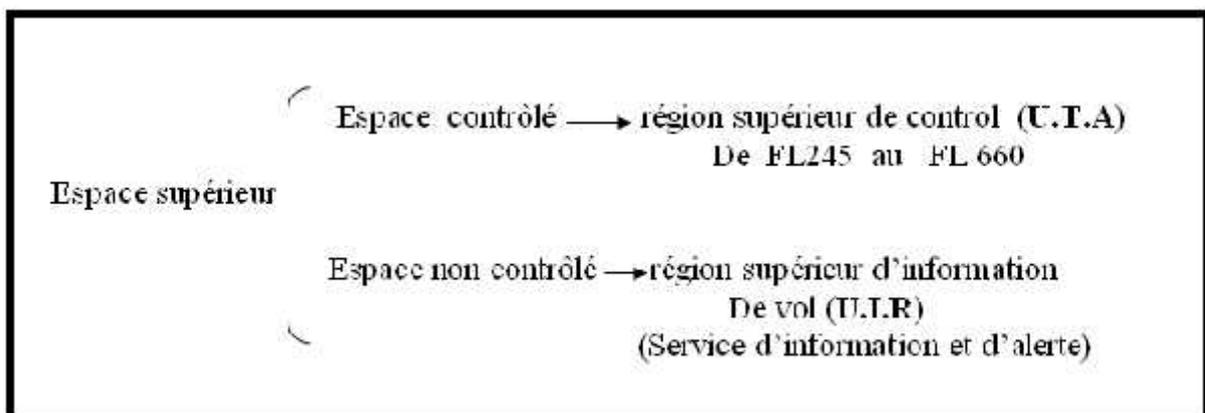


Figure II.2 : Limites de l'espace aérien supérieur

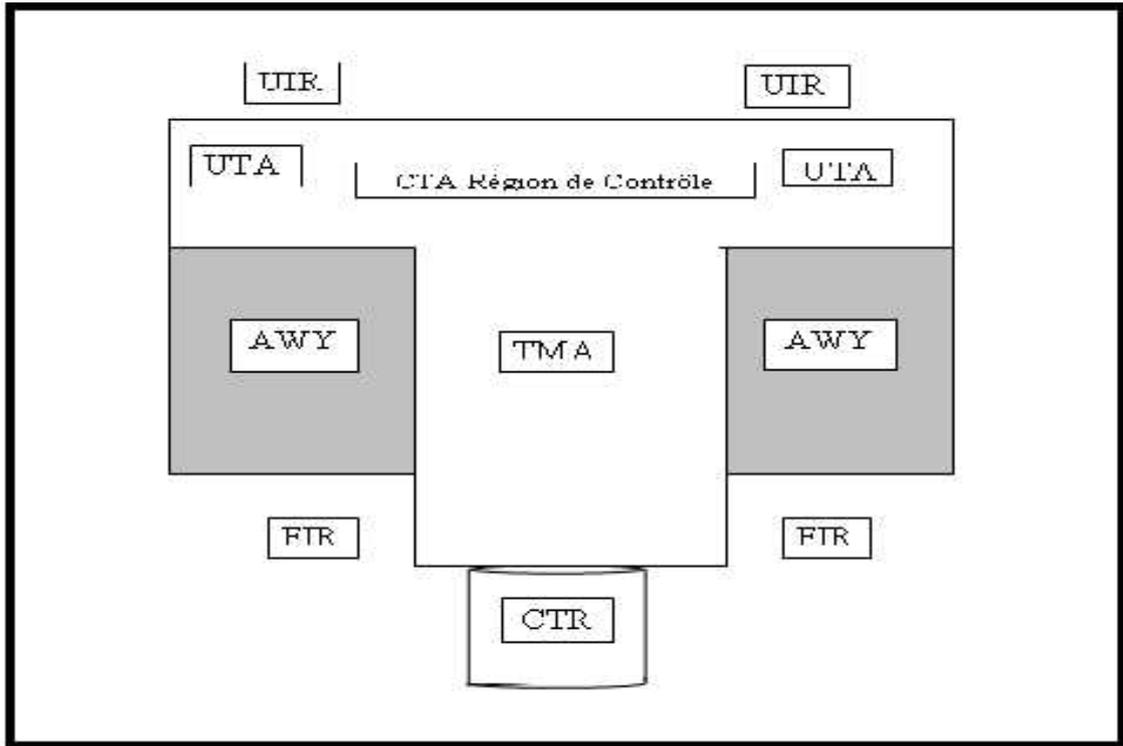


Figure II.3 : Organisation de l'espace aérien

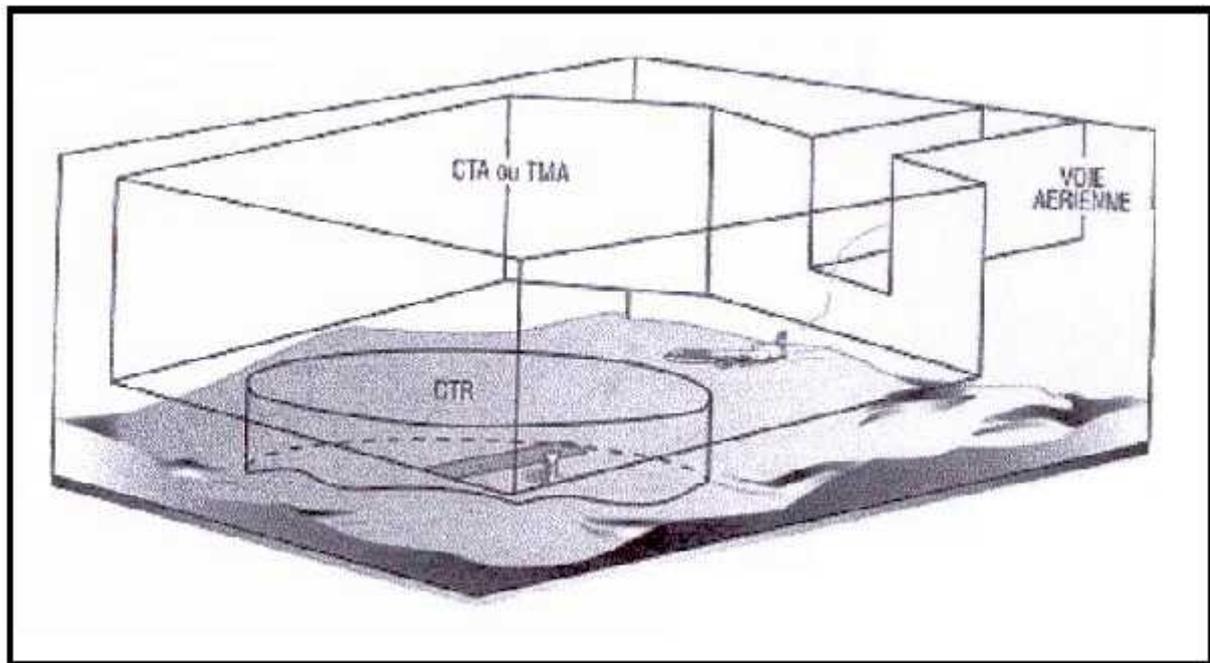


Figure II.4 : Espace aérien contrôlé

II-3- Sectorisation de l'espace aérien :

II-3-1-Pourquoi une nouvelle sectorisation ?

a- Un système actuel saturé :

À cause des charges de travail et de la sécurité, qui est l'objectif prioritaire du contrôle du trafic aérien, une équipe de contrôleurs ne peut accepter dans son secteur plus d'un certain nombre d'avions pendant une période donnée (une heure par exemple). Ce nombre définit la capacité du secteur, limite la capacité globale du réseau de trafic aérien, qui a de plus en plus de mal à faire face à la croissance spectaculaire du transport aérien. L'espace aérien devient alors congestionné, ce qui retarde certains vols. Les retards du trafic aérien, qui coûtent plusieurs milliards d'euros par an, sont dus notamment aux secteurs en route en Europe, alors qu'aux Etats-Unis ils proviennent principalement des aéroports.

b- Un système actuel non- optimisé :

Lorsqu'un secteur devient saturé, une équipe d'experts tente, avec sa propre méthodologie, de proposer une nouvelle sectorisation de la zone concernée. Ce principe de resectorisation présente malheureusement beaucoup d'inconvénients : les secteurs deviennent de plus en plus petits alors que les contrôleurs ont besoin d'un temps minimum pour gérer le trafic dans leur secteur ; cette approche locale entraîne donc une sectorisation globale inéquitable en terme de charge de travail des contrôleurs.

De plus, la sectorisation actuelle n'est pas optimisée au sens de la charge de coordination : plus il y a d'avions qui passent d'un secteur à un autre, plus il y a de dialogues entre les contrôleurs (donc plus la charge de travail globale est importante).

c- Un trafic aérien évolutif :

Le trafic aérien change au cours d'une même journée et mène souvent à une charge de travail non équilibrée entre les secteurs. Il serait donc préférable d'avoir plus de secteurs pendant les périodes de pointe que pendant les périodes creuses. Actuellement, la sectorisation fixe n'est pas capable de s'adapter à cette évolution du trafic.

d- De nouveaux systèmes proposés :

L'augmentation de la capacité du réseau de trafic aérien européen fait l'objet de nombreuses recherches, non seulement dans l'amélioration de l'utilisation du réseau existant mais aussi en proposant de nouveaux réseaux de routes aériennes.

Actuellement, l'espace aérien européen est organisé essentiellement comme dans les années 60. Chaque état réglemente son espace sans prendre en compte les flux transfrontières du trafic. Cette fragmentation de l'espace est une cause d'inefficacité du système de gestion du trafic aérien. Dans le cadre du projet "Ciel unique européen", l'espace serait restructuré en fonction des flux de trafic plutôt que des frontières nationales, pour créer des capacités supplémentaires au réseau.

Toujours dans l'objectif d'augmenter la capacité du réseau du trafic aérien, plusieurs études ont été menées sur la faisabilité d'un réseau "idéal" : on construit des routes directes reliant l'origine et la destination du vol pour les flux de trafic importants, et on dévie verticalement les flux de trafic moins important qui intersectent ces routes directes pour éviter tout conflit.

II-3-2-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 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

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.

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 à un aéroport de destination, l'avion passe une fois au maximum par secteur.

A ces trois contraintes spécifiques étudiées 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.

II-3-3. l'Importance de la sectorisation pour résoudre le problème de congestion de trafic :

Le nombre de secteurs peut être augmenté ou diminué selon la densité de trafic aérien dans cet espace donc la resectorisation de l'espace aérien pourra contribuer à la résolution de problème de congestion de trafic et minimiser la charge de coordination intra- secteur.

II-4 : Routes aériennes :**II-4-1- Généralités :**

Lorsqu'un avion relie deux villes du continent européen, on pourrait s'attendre à ce que la route directe soit utilisée systématiquement pour des questions d'économie de carburant. En réalité, les avions suivent des routes aériennes constituées d'une succession de tronçons orientés différemment dont les extrémités correspondent à des balises qui matérialisent souvent les croisements de routes. En préparant sa navigation, le pilote jalonne sa route de points de report (balises) sur lesquels il devra faire un passage à la verticale afin de confirmer sa position. Le nombre de balises au sol étant limité, la route réellement suivie s'écartera plus ou moins de la route idéale en fonction de la disposition locale de ces dernières.

Ce principe de navigation par jalonnement sur balises est pénalisant en terme de consommation car il induit des rallongements de route systématiques ; actuellement en Europe, le réseau de routes aériennes provoque des rallongements moyens de 9 %, soit 420000 heures de vol supplémentaires par an ou 1.2 million de tonnes de kérosène. Les avions modernes sont maintenant équipés de calculateur de bord qui, lorsqu'ils sont couplés au pilote automatique, sont capables de suivre avec une grande précision n'importe quelle route définie par un point origine et un point destination, dont les coordonnées sont introduites par l'équipage ou sont extraites d'une base de données du calculateur de bord. Malheureusement, ce système de progression de point à point n'est pas encore possible pour deux raisons. D'une part, il existe dans beaucoup de pays un assez grand nombre de zones réservées aux militaires qui doivent être contournées par les routes aériennes civiles, d'autre part, le contrôle de la circulation aérienne n'est pas capable d'assurer un écoulement sûr et ordonné du trafic lorsque chacun va directement de son point de départ à son point de destination. L'aiguilleur du ciel a besoin pour travailler de points de report par rapport auxquels il peut situer son trafic.

Une route aérienne pouvant être utilisée dans les deux sens, il a été élaboré une règle de séparation verticale (règle semi-circulaire) imposant des altitudes de vol aux aéronefs afin d'assurer des croisements en toute sécurité. Dans un souci de simplicité, une route aérienne sera donc simplement modélisée par un arc bidirectionnel joignant deux balises.

Le réseau aérien sera donc modélisé par un réseau de transport qui aura les propriétés suivantes :

- Il est pilotable car il nous est possible d'imposer des routes aux avions par l'intermédiaire des contrôleurs
- Les coûts d'arcs sont non séparables : en effet, le nombre moyen de conflits entre aéronefs à la verticale d'une balise est proportionnel aux flux sur les deux routes aériennes. Il faut bien se rappeler que la résolution d'un conflit induit une charge de contrôle important et provoque parfois des modifications de navigation pénalisant la consommation. Le coût sur un arc dépend donc des coûts sur les autres arcs, d'où la non-séparabilité.

II-4-2- Différents types des routes :

a- Route à navigation de surface :

Route ATS établie à l'usage des aéronefs qui peuvent utiliser la navigation de surface, en se basant sur des points fictifs.

b- Route à service consultatif :

Route désignée le long de laquelle le service consultatif de la circulation aérienne est assuré. Le service de contrôle de la circulation aérienne est plus complet que le service consultatif de la circulation aérienne.

Les régions et routes de l'espace aérien contrôlé ; néanmoins, le service consultatif de la circulation aérienne peut être assuré au-dessous et au-dessus des régions de contrôle.

c- Route ATS :

Route déterminée destinée à canaliser la circulation pour permettre d'assurer les services de la circulation aérienne. L'expression « Route ATS » est utilisée pour désigner, selon le cas, les voies aériennes, les routes à service consultatifs, les routes contrôlées ou les routes non contrôlées, les routes d'arrivée ou les routes de départ, etc....

Une route ATS est définie par des caractéristiques qui comprennent un indicatif de route ATS, la route à suivre et la distance entre des points significatifs (points de cheminement), des prescriptions de compte rendu et l'altitude de sécurité la plus basse déterminée par l'autorité ATS compétente.

II-4-3 L'importance de l'acheminement des réseaux de routes dans la résolution de problème de cogestion de trafic :

L'acheminement des différentes routes aériennes a pour but l'optimisation de gestion de trafic aérien tout en évitant les zones dangereuses ou interdites à la circulation aérienne et que la charge de travail global de contrôleurs soit minimisée à tout cela s'ajoute une économie carburant considérable pour les compagnies exploitant cet espace aérien.

III-1- Présentation du système ATFM existant :

III-1-1- Généralités :

On distingue principalement deux types de circulation aérienne civile : l'approche, qui désigne la circulation autour des aérodromes, et l'en-route, c'est-à-dire la circulation des avions entre la zone d'approche de départ et celle d'arrivée.

Dans les zones d'approche, la circulation est généralement dense. Le travail des contrôleurs aériens consiste à amener les avions entrants de leur point d'entrée dans la zone d'approche jusqu'à la piste, et à guider les avions au décollage jusqu'à leur point de sortie, tout en respectant les cadences maximales d'utilisation de la (ou des) piste(s). La circulation est généralement organisée selon des itinéraires de départ ou d'arrivée, la difficulté du contrôle consistant alors à faire manœuvrer des avions horizontalement, verticalement, ou en ajustant leur vitesse, dans un espace restreint et encombré, de façon à les mettre en séquence sur leur itinéraire de départ ou d'arrivée.

La circulation aérienne en-route est organisée selon des itinéraires prédéterminés (on parle aussi parfois de «couloirs aériens»), jalonnés de points de report obligatoires et de balises radioélectriques. Le trafic est généralement moins dense qu'autour des aéroports.

L'espace aérien civil est découpé en secteurs, placés chacun sous la responsabilité d'une unité de contrôle d'espace. Il s'agit d'une équipe de deux contrôleurs chargée de régler les conflits de trajectoire entre les avions qui suivent des routes traversant le secteur, ou le groupe de secteurs, à sa charge.

III-1-2- Caractéristiques du système:**a- Bulletin de renseignements de charge d'ATF :**

Analyse de flux de trafic aérien dense en mesurant la future charge de trafic aérien et en détectant des surcharges. Des recommandations optimales sont fournies par des changements de temps de départ de vol par les règles suivantes :

- Premier- venir premier -servi
- Type de vol (ligne aérienne, charte, privé, cargaison etc.).
- Priorités inter et d'intra-ligne aérienne.
- Les vols prioritaires sont le bout à changer.
- Présentation d'histogramme de charge pour les secteurs, le croisement de secteur, les points de rapport, et les départs et les arrivées d'aéroport.
- Tous les changements proposés sont sujets à l'approbation de l'opérateur.

b- L'informatique de vol (FDP) :

- Génération de plan de vol et mise à jour automatique de FPLs d'AFTN (ou de sources extérieures) et des entrées de manuel d'opérateur
- Le « Dépouillent moins » l'affichage de FPLs
- Soutien de correction incorrecte de données
- Extraction automatique d'information additionnelle (NOTAM, temps)
- Génération automatique des voies de FPL basées sur les entrées de manuel de données et d'opérateur de FPL
- Distribution automatique des changements du FPL

c- Bulletin de renseignements de conflit :

- Localisant de futurs conflits, en utilisant le modèle 3D étendu du comportement d'avion Considérant des paramètres opérationnels (tels que des dégagements et des volumes de commande).
- Fournissant la séparation, alerte, informer de la violation des règles de séparation
- Fournissant la présentation de la prévision d'image de situation d'air à l'heure du conflit (vues de côté y compris).

d- Facteur prédictif d'activité :

- Fournit la présentation de l'image de situation d'air prévue dans un secteur pendant des périodes données, au contrôleur d'accumulateur de soutien dans la planification de travail.

e- HMI avancé :

Le système d'ATFM fournit une variété d'outils avancés par HMI pour le directeur d'écoulement de trafic aérien :

- Appui orienté par ATFM de l' histogrammes de table (prévision) et de charge d'Outlook de FPL.
- Soutien spécifique de du directeur d'écoulement
- Affichages de tables et de données de vol Opérateur configurables
- Affichages des outils de support de décision, y compris des côtés vues, des outils de mesure et des ordres des arrivées.
- La voie étendue du FPL donnée bloque comprenant toutes données de vol appropriées (remplaçant les « bandes » de papier traditionnelles).

f- Outils additionnels :**f-1-Rédacteur en ligne de carte :**

Pour définir des cartes, des secteurs interdits et des sphères de commande

Liste imprimée de graphique des Données techniques

f-2-Solutions de propriété industrielle et clés en main :

- Intégration clinique d'application .
- Collection électronique de page.

- Clinic-Care.
- Commande de frontière.
- Pension de Ness.
- Gestion de droites de Digital .
- Usofts.
- Commande de trafic aérien.

III-1-3- La conception actuelle :

L'objectif des organismes chargés de gérer la circulation aérienne est d'assurer la sûreté et l'efficacité de l'écoulement du trafic aérien. La gestion du trafic aérien est souvent décrite comme une imbrication de filtres dont le but est d'éviter la collision des avions circulant dans l'espace aérien.

Stratégique : c'est l'organisation à long terme de la structure de l'espace aérien (routes, secteurs, zones militaires, etc.) et de l'affectation des flux de trafic sur le réseau de routes.

a- Pré régulation :

Au jour J-2 est défini un schéma de pré régulation du trafic pour le jour J, en fonction du trafic prévu et d'un schéma prévisionnel d'ouverture des secteurs aériens par les centres de contrôle.

b- Régulation en temps réel :

Le jour J, le schéma de régulation est réajusté en fonction du trafic réel et des impondérables du moment.

-Contrôle tactique : c'est la phase clé consistant à assurer la séparation entre les avions traversant l'espace. L'horizon temporel du contrôle va de la trentaine de minutes pour la pré détection d'un conflit présumé, jusqu'à quelques minutes avant le conflit pour la résolution proprement dite.

c- Anti-collision d'urgence :

Il s'agit de systèmes embarqués sur l'avion, dont le but est de détecter la présence du trafic environnant et d'en informer le pilote, et en dernier recours de lui fournir des avis d'évitement lorsqu'une collision est anticipée. L'horizon temporel de l'anticollision est d'environ 45 secondes avant la collision présumée.

III-1-4- Un système saturé :

Depuis sa création, le secteur du transport aérien est un domaine globalement en forte croissance. Le trafic aérien ne cesse d'augmenter, causant des saturations de plus en plus fréquentes des systèmes de contrôle aérien. Pour pallier à ces surcharges, de nombreuses solutions ont été envisagées, pour principalement : augmenter la capacité du système, ou adapter le trafic à la capacité existante.

Augmenter la capacité, c'est mettre en œuvre des moyens permettant de prendre en charge plus d'avions dans l'espace contrôlé. Ce qui veut dire améliorer les méthodes de travail, tirer parti au maximum des technologies de traitement de l'information, mais aussi éventuellement engager plus de personnel, ou encore faire travailler plus les personnels disponibles.

Réguler le trafic en fonction de la capacité disponible, c'est imposer des contraintes aux opérateurs aériens, sur l'heure de départ, et éventuellement sur l'itinéraire et l'altitude de croisière des vols. On peut aussi tenter d'adapter le trafic aux ressources disponibles par des contraintes tarifaires, en augmentant les taxes d'atterrissage aux heures de pointe sur les aéroports saturés, comme à Londres par exemple. Depuis longtemps déjà, les organismes de la circulation aérienne ont mis en place des mesures de régulation du trafic pour éviter les surcharges du système de contrôle. Celles-ci sont plus rapides et plus faciles à mettre en œuvre qu'une augmentation de la capacité, mais atteignent également leurs limites.

Les rapports de la Performance (Review Commission d'Eurocontrol l'indiquent clairement :

Le système de gestion du trafic, dans sa conception actuelle, est structurellement saturé. A titre d'exemple, une augmentation d'un peu plus de six pour cent du trafic en 1999 s'est traduite par soixante-huit pour cent d'augmentation des retards dus à l'ATFM en route

Bien sûr, on peut toujours prévoir à plus ou moins long terme un scénario d'effondrement du trafic aérien mondial, suite à l'épuisement des réserves pétrolières. Mais, en attendant, le développement du trafic mondial, en particulier dans les pays émergents du continent asiatique, ne laisse pas prévoir de fléchissement immédiat. Le système actuel doit donc évoluer en permanence pour pouvoir gérer un trafic en croissance.

Plusieurs évolutions sont envisageables, sur le plan conceptuel comme sur le plan technologique, que nous allons évoquer succinctement.

III-2- Les évolutions possibles :

III-2-1- Les changements conceptuels :

Un certain nombre de concepts émergents proposent des changements radicaux dans la façon de gérer le trafic aérien

Dans une conception toute libérale qui nous vient d'outre-atlantique, le free flight permettrait aux avions de suivre des routes directes de leur choix dans les espaces relativement à faible densité de trafic.

Ce concept peut être envisagé de différentes manières, dont les suivantes :

- en supposant des possibilités de navigation 4D pour le FMS1 et des liaisons de données sol- bord, un système de contrôle au sol donnerait des instructions de navigation au FMS de l'avion, avec d'éventuelles négociations de trajectoire entre l'avion et le contrôle, afin d'assurer l'anti- collision (projet ARC2000 d'Eurocontrol),
- en supposant un équipement embarqué d'anticollision (TCAS/ACAS) sophistiqué et des liaisons de données entre aéronefs, les avions assureraient eux-mêmes leur anticollision en négociant entre eux les trajectoires, de façon automatique.

Ces deux hypothèses sont le reflet de deux "philosophies" qui s'affrontent en matière de sécurité aérienne : celle où les vols sont entièrement sous la responsabilité d'organismes au sol, et celle de l'avion entièrement autonome. N'importe quelle option entre ces deux extrêmes est bien sûr envisageable, et sans doute plus réaliste. Le concept free-flight proprement dit, développé initialement aux Etats-Unis, favorise plutôt l'approche distribuée, alors que le concept free- route , proposée par huit états européens, s'oriente vers une approche plus centralisée.

Deux autres concepts plus récents, le super-sector et le sector-less proposés par le département Innovative Research d'Eurocontrol, envisagent un contrôle au sol dont les missions seraient complètement redéfinies. Le contrôleur ne gérerait plus des avions à l'intérieur d'un secteur, mais assurerait le suivi d'un groupe d'avions du départ à l'arrivée, ou pendant la traversée d'un secteur de grande taille, en ayant pour mission d'éviter les conflits avec le reste du trafic. Ces concepts, encore à l'étude, impliqueraient une redéfinition complète du réseau de routes aériennes, et il n'est pas encore prouvé qu'ils apportent un gain, dans la capacité à traiter plus de trafic en toute sécurité, par rapport au système actuel.

III-2-2- L'automatisation dans l'avion :

En parallèle du débat sur le choix entre un système centralisé, au sol, et un système réparti entre tous les avions, se pose la question fondamentale de l'automatisation. Le train à grande vitesse sans conducteur serait possible sans la résistance psychologique des passagers à l'idée de se déplacer aussi vite dans un engin commandé par une machine. Notons d'ailleurs que le rôle du conducteur se réduit à maintenir les mains sur le volant et à surveiller que tout se passe bien. Le métro sans conducteur existe déjà, ce qui prouve que l'attitude du passager à l'égard de l'automatisme est susceptible d'évoluer. Pourquoi pas, d'ici quelques temps, envisager l'avion sans pilote ?

Outre les impératifs de productivité qui poussent à l'automatisation, les statistiques montrent que l'homme est une des principales causes directes des accidents d'avions. Le débat ne porte donc plus actuellement sur la question de savoir s'il faut ou non automatiser, mais plutôt de quelle manière il faut le faire.

Les progrès technologiques en matière de circulation de l'information permettent d'envisager dans un avenir proche des liaisons de données permanentes entre le sol et l'avion. De plus les automatismes de l'avion permettent maintenant d'atterrir sans que le pilote touche les commandes, dans des conditions météorologiques très dégradées. Il reste encore quelques progrès à faire dans le domaine pour arriver au tout automatique jusqu'à l'arrêt devant l'aérogare. Mais pilotage automatique et liaisons sol-bord performantes autorisent à penser que l'on pourrait voir un jour un système de transports aériens entièrement commandés par les organismes au sol, qui déterminerait les trajectoires à suivre par les pilotes automatiques. D'éventuels pilotes humains ne seraient là que pour surveiller le bon fonctionnement des automatismes, comme c'est déjà souvent le cas actuellement.

Cependant, les équipements embarqués offrent de plus en plus de facilités dans la navigation et le positionnement de l'avion, d'informations sur la météo et sur le trafic environnant, et vont même jusqu'à proposer au pilote des manœuvres d'évitement des collisions. Associés à des systèmes dits "Tête haute" 2 d'aide au pilotage, ces systèmes pourraient permettre à un pilote humain de s'affranchir des informations, voire des instructions, provenant des organismes au sol, pour assurer lui-même et complètement la sécurité de son avion et de ses passagers. Mais la même alternative avec un pilote automatique et un système performant d'anticollision n'est pas non plus impensable.

Concernant l'avion, il semblerait que les tenants du tout automatique aient aujourd'hui l'avantage. Avec les cockpits des dernières générations d'avions Airbus A320, A330, A340 et Boeing B777, le rôle des pilotes consiste de plus en plus à donner des ordres au pilote automatique à travers un clavier, et à surveiller que les automatismes fonctionnent correctement. Les liaisons de données air-sol, ou les liaisons de données air-air associées aux systèmes anticollision risquent même à courte échéance de dispenser le pilote humain d'avoir à donner ces ordres. Dans le cas de l'avion, la transition entre le pilotage "au manche" et le pilotage via FMS s'est faite brutalement. Si ce nouveau type de pilotage "au clavier" est intéressant, en particulier pour les possibilités de suivre automatiquement des procédures standardisées, il présente néanmoins quelques inconvénients, dont la difficulté pour un pilote humain de "reprendre la main" en cas de besoin. Plusieurs possibilités se présentent pour l'avenir :

- le statu quo, en partant de l'hypothèse que les pilotes humains soient de mieux en mieux formés au pilotage au clavier. Le risque étant que lesdits pilotes ne sachent plus réagir correctement en cas de défaillance des automatismes.
- une évolution vers plus d'automatisation, de façon à supprimer totalement les cas où l'intervention de l'homme s'avère nécessaire, et à limiter au maximum les risques de défaillance des systèmes. Le principal argument militant pour cette évolution est que la cause principale des accidents d'avions est le facteur humain.
- l'intégration, en plus des fonctions existantes ou à venir, d'automatismes qui aident réellement au pilotage humain, en particulier dans les phases délicates de décollage et d'atterrissage, celles où il est le plus crucial qu'un pilote humain puisse intervenir rapidement et à bon escient si besoin est. Les dispositifs "tête haute" semblent à cet égard plus qu'utiles, et permettent de plus aux pilotes de pratiquer un pilotage actif, en bref de ne pas perdre la main. L'argument selon lequel, pour éviter que l'homme ne soit le maillon faible du pilotage, il faut construire des avions qui soient conçus pour être pilotés par des humains, ne manque pas d'intérêt.

III-2-3- L'automatisation des systèmes de contrôle aérien :

Concernant les systèmes au sol de gestion du trafic aérien, la problématique est sensiblement la même. L'évolution du trafic laisse à penser qu'il ne sera plus possible d'y faire face par la seule augmentation du nombre de contrôleurs et un découpage de l'espace en plus petits secteurs. Une telle méthode, qui augmente considérablement les coordinations inter secteurs et les tâches associées, a ses limites. En conséquence il faudra automatiser certaines tâches du contrôle, de façon à alléger la charge de travail du contrôleur, et éventuellement changer les méthodes de contrôle. Reste à savoir quelles tâches automatiser et comment.

Les tâches du contrôleur "radar", celui qui donne les instructions aux avions, peuvent grossièrement se répartir de la manière suivante :

- 1- les tâches de surveillance du trafic et de détection des conflits à venir,
- 2- les tâches de résolution des conflits en cours,
- 3- les tâches de coordination, qui consistent à prendre en compte le trafic appelant sur la fréquence radio à l'entrée dans le secteur, ou à donner des instructions de changement de fréquence aux avions sortant du secteur.

Par ailleurs, un ou plusieurs contrôleurs "organiques" prennent en charge les autres tâches liées à la coordination, dont notamment celles de planification, et celles de pré-détection des conflits.

La résolution de conflits est la tâche la moins coûteuse en temps pour le contrôleur et la plus difficile à automatiser. Les autres tâches seront donc sans doute automatisées d'abord, ce qui requiert de disposer des liaisons de données sol-bord.

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

III-2-4- Conclusion sur les évolutions du trafic aérien :

Face à ces nombreuses évolutions possibles, tant sur le plan des méthodes de travail que des technologies, il est bien difficile de prévoir à quoi ressemblera la gestion du trafic aérien d'ici une quinzaine d'années. On ne distingue pas a priori de voie qui soit objectivement meilleure qu'une autre, et on ne peut prévoir les choix conceptuels, voire idéologiques, qui influenceront sur les évolutions futures du système.

On peut cependant affirmer que le système actuel dispose en lui-même d'une certaine inertie :

Il existe et fonctionne malgré tout, avec plus ou moins d'efficacité. La mise en place d'un système alternatif introduisant de nouvelles méthodes de contrôle et/ou une automatisation de certaines tâches devra d'une part savoir gérer la transition à partir du système actuel, et d'autre part démontrer un gain effectif dans la capacité à traiter plus de trafic en toute sécurité.

III-3- Choix du contexte et des critères d'optimisation de la gestion de trafic aérien :

La problématique évoquée dans l'introduction de cette thèse peut être abordée selon plusieurs angles, en fonction à la fois du contexte dans lequel on choisit de se placer, et aussi des critères selon lesquels on cherche à améliorer le système. Nous venons de voir dans la section précédente que l'on ne peut pas prévoir avec certitude les évolutions futures des systèmes de gestion du trafic aérien. Nous allons ici, d'une part, préciser quelques hypothèses de base adoptées dans le cadre de cette thèse, et, d'autre part, évoquer les différents critères que l'on pourra choisir pour optimiser la gestion de contrôle de trafic aérien.

III-3-1- Une question de contexte :

a- Système centralisé ou distribué ?

Imaginons une situation hypothétique où chaque avion vole au niveau qu'il a demandé, en suivant une route directe entre départ et arrivée. Cette situation minimise les coûts individuels de chaque vol et optimaux de ce point de vue, bien qu'elle soit inacceptable sur le plan de la sécurité des vols.

Les projets basés sur le paradigme du free flight tablent sur l'utilisation de nouveaux équipements de bord pour, à partir de cette situation, améliorer la sécurité. L'objectif est de permettre à chaque avion d'éviter le reste du trafic en fournissant au pilote une visualisation du trafic environnant, ainsi que des avis ou des ordres de changement de trajectoire, produits par un calculateur à bord. Dans ce contexte de gestion distribuée du trafic, les avions sont censés choisir leur route et il n'est nul besoin d'organiser les flux de trafic, ni de découper l'espace aérien en secteurs de contrôle. Bien que séduisante au premier abord, cette solution est plus complexe qu'il n'y paraît et nécessite, pour pouvoir être mise en oeuvre dans des situations de trafic dense, l'utilisation d'algorithmes distribués permettant de coordonner les choix de trajectoire des avions. En outre, elle n'est pas optimale du point de vue du système global. Notre première hypothèse consistera donc à pré-supposer l'existence de systèmes centralisés gérant le trafic (typiquement des centres de contrôle aérien).

b- Quel degré d'automatisation ?

Dès 1982 aux États-Unis et peu après la grande grève des contrôleurs aériens, le projet AERA envisageait une automatisation complète des tâches de détection et de résolution de conflits, avec à terme la relégation des contrôleurs au rôle de superviseurs d'automatismes. Du côté européen, des projets comme SAINTEX ou ARC2000 avaient également en ligne de mire l'automatisation de la résolution de conflits. Ces projets aboutirent à des réussites partielles, voire à des échecs (pour AERA), la difficulté du problème ayant été à l'époque sous-estimée.

Aujourd'hui, il existe des algorithmes permettant de faire voler (en simulation) le trafic d'une journée complète en résolvant la totalité des conflits. Le lecteur pourra se reporter à la thèse de Géraud Granger, qui décrit un tel simulateur utilisant des méthodes stochastiques de résolution. Dans cette même thèse ainsi que dans le rapport Eurocontrol -CFMU, on trouvera une revue extensive de la littérature sur les nombreux projets de résolution automatisée des conflits. Toutefois, si les techniques informatiques semblent arriver à maturité, les problèmes de transition éventuelle entre le système actuel et un système complètement automatisé ne manquent pas. Selon, les cas, on pourra donc se placer soit dans le contexte actuel, où des êtres humains sont en charge de la gestion du trafic, ou bien dans un contexte plus futuriste avec une automatisation totale ou partielle d'un certain nombre de tâches critiques. L'exemple le plus parlant à cet égard est celui de la construction d'un réseau de routes aériennes. Dans un système futuriste totalement automatisé, rien n'interdit aux avions de choisir par défaut la route la plus directe possible, et notre réseau de routes est alors vite construit. Par contre, si l'on reste dans le contexte actuel, un critère clé du processus de construction est que le réseau doit rester intelligible et exploitable par des humains. En particulier, il doit permettre le découpage harmonieux de l'espace aérien en secteurs élémentaires.

En conséquence, les points de croisement des routes ne doivent pas être trop près les uns des autres, ni trop près d'une frontière d'un secteur. Cependant, comme nous allons le voir dans le point suivant, le critère de l'automatisation n'est pas le seul qui détermine le choix d'un réseau direct ou avec une sectorisation.

c- Routes directes ou réseau avec sectorisation de l'espace ?

Selon les principes actuels de l'organisation des services de contrôle, l'espace aérien est découpé en secteurs gérés chacun par deux ou trois contrôleurs, et les flux de trafic sont astreints à suivre des routes pré-définies traversant ces secteurs. L'ensemble routes/secteurs actuellement en place est la résultante des modifications successives ayant eu lieu depuis les débuts de la gestion du trafic aérien. Si l'on reste dans le cadre des méthodes de travail actuelles, il faudra donc tenir compte de la nécessité d'un découpage équilibré de l'espace, afin de rester dans chaque secteur à un degré de complexité permettant une gestion sûre du trafic par des contrôleurs humains. Une alternative plus prospective consiste à faire l'hypothèse d'un changement radical des méthodes de contrôle et à supposer que le système centralisé ne nécessite pas de sectoriser l'espace. C'est le cas par exemple avec un contrôle complètement automatisé, où l'on peut envisager qu'un seul calculateur résolve l'ensemble des conflits aériens sur toute l'Europe (ou tout autre région du monde). Sans aller jusqu'à une automatisation complète et en laissant le contrôleur humain au coeur du système, certains projets de recherche innovante d'Eurocontrol envisagent un changement radical des méthodes de contrôle en définissant des secteurs de grande taille (super-sector), ou en supprimant la sectorisation (sector-less). Dans ce dernier cas, chaque contrôleur serait alors chargé de la sécurité d'un ou plusieurs vols entre origine et destination. Un certain nombre de tâches, comme le séquençement des avions au sein d'un flux, pourraient être déléguées aux pilotes des avions. La faisabilité et l'impact de ce type de délégation sont actuellement étudiés par Eurocontrol.

Le concept sector-less en est encore à ses balbutiements de l'avis même de ses auteurs. Il implique certainement une réorganisation de la structure de l'espace aérien, avec pour objectif de réduire les coordinations entre contrôleurs gérant les flux ou groupes d'avions. On voit là tout l'intérêt qu'il y aurait à planifier des trajectoires séparées pour les flux d'avions les plus importants, ou encore pour des trains d'avions gérés chacun comme un groupe homogène.

d- Réguler le trafic et/ou modifier le réseau ?

Le lecteur pourra trouver dans la littérature un grand nombre de problèmes traitant de la régulation du trafic aérien. Considérant une structure donnée de l'espace aérien contrôlé (réseau de routes, secteurs aériens), l'objectif est alors de réguler le trafic pour le conformer à la capacité du système à traiter une certaine quantité de trafic.

A l'opposé, le système et son fonctionnement peuvent être modifiés et améliorés en prenant le trafic comme une donnée fixée, que l'on ne cherche pas à réguler. On peut alors faire varier **la géométrie du réseau de routes, la sectorisation, l'orientation des flux d'avions à travers le réseau**, pour répondre au mieux à la demande de trafic. Ces deux approches sont bien entendu complémentaires et sont actuellement utilisées à des horizons temporels différents, la planification du réseau se faisant à un plus long terme que la régulation.

e- A quel horizon temporel se placer ?

Le trafic aérien est actuellement géré avec des horizons temporels divers, qui engendrent chacun des problèmes spécifiques. Le contrôle aérien proprement dit se fait en temps réel. Son objectif consiste à éviter les conflits entre les trajectoires d'avions. Ceux-ci sont résolus au plus tard quelques minutes avant la collision présumée. A un horizon temporel encore plus court, on trouve les systèmes embarqués d'anticollision d'urgence. De nombreux travaux ont abordé les problèmes liés à l'automatisation d'un certain nombre de tâches du contrôleur (détection et résolution de conflits notamment), voire à l'automatisation totale du système, dans un contexte centralisé ou réparti. Ces problèmes ne seront pas abordés dans la thèse présentée ici.

La régulation du trafic se prépare quant à elle avec quelques jours d'avance, mais s'affine le jour même en fonction des impondérables du moment (conditions climatiques sur les plateformes aéroportuaires, activation réelles des zones militaires, etc...).

Toutefois, on pourra aborder d'autres problèmes, comme l'optimisation des schémas prévisionnels d'ouverture des secteurs, qui se situent à cet horizon temporel.

Les modifications stratégiques de la structure de l'espace contrôlé (routes, sectorisation, schémas d'orientation de trafic,...) se font généralement sur une base à long terme, mensuelle ou annuelle par exemple.

III-3-2- ...et aussi une question de critères :

En dehors des hypothèses sur le contexte, une autre question que l'on doit se poser est de savoir selon quels critères cherche-t-on exactement à améliorer notre système ? Selon le contexte choisi et le problème que l'on se pose, on pourra chercher à :

- diminuer le nombre de conflits entre trajectoires,
- minimiser les allongements de trajectoires,
- réduire les délais imposés au décollage,
- alléger la charge de travail du contrôleur aérien,
- mieux répartir la charge de travail entre contrôleurs aériens,
- etc...

Notons que ces critères peuvent être antagonistes : par exemple, résoudre des conflits amène généralement à dévier, et donc allonger, des trajectoires. D'un autre côté, on pourra être amené à améliorer simultanément plusieurs critères. La plupart des problèmes que l'on se posera seront multi objectifs :

Séparer les principaux flux de trafic en minimisant les allongements de trajectoires, ou encore répartir au mieux la charge de travail entre plusieurs équipes de contrôleurs tout en restant en dessous des capacités des secteurs de contrôle, etc...

Selon le cas, nous chercherons soit à résoudre au mieux des problèmes issus d'un contexte réel en utilisant les critères objectifs les plus réalistes possibles, soit à résoudre d'abord un problème épuré en utilisant des critères et une modélisation simples, que nous enrichirons ensuite pour tenir compte des contraintes du monde réel.

IV-1- CFMU :**Introduction :**

Dans le contexte de la régulation européenne du trafic aérien, des créneaux de décollage sont attribués aux vols qui traversent des espaces congestionnés. Ce créneau est défini par une heure de décollage souhaitée autour de laquelle le vol concerné est censé décoller, la tolérance officiellement admise étant l'intervalle de temps minutes. Pour le contrôle au sol, la prise en compte de ces contraintes pose souvent de nombreux problèmes opérationnels. Pendant la phase de roulage, un vol au départ peut être retardé à différents endroits de l'aéroport : au- tour des parkings lorsqu'il croise le trafic à l'arrivée, devant les intersections lorsqu'il cède le passage à d'autres et enfin devant la piste, où les avions doivent souvent faire la queue pour respecter le temps de séparation nécessaire entre chaque décollage ou atterrissage. Cumulés à toutes les autres formes de perturbations opérationnelles, ces retards rendent la prédiction des temps de roulage extrêmement incertaine. Ceci explique pourquoi la séquence de piste n'est pas toujours optimale et les créneaux parfois manqués.

A titre d'exemple, la figure 1 donne la proportion des départs soumis à régulation qui décollent avant, pendant et après leur créneau. Ces données, issues directement des traces radar des avions à Roissy, montrent que trop d'avions (entre 20% et 30%) se voient attribué le décollage trop tôt ou trop tard.

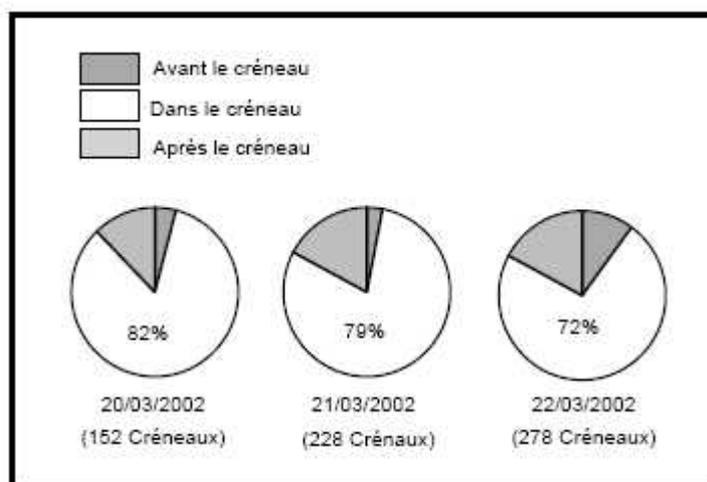


Fig. 1 : Respect réel des créneaux

IV-1-1-EUROCONTROL ou Organisation Européenne pour la Sécurité de la Navigation Aérienne :

EUROCONTROL est une organisation intergouvernementale européenne dont le siège est située à Bruxelles. Sa mission est d'harmoniser et d'unifier la gestion de la navigation aérienne en Europe, en promouvant un système uniforme pour les usagers civils et militaires, dans des conditions de sécurité maximales tout en minimisant les coûts et les impacts environnementaux.

Cette mission recouvre :

- La gestion du réseau européen. Il s'agit des activités de recherche et développement, de coordination des programmes d'investissement et de développement des États membres, de production de normes techniques communes. À ce titre, EUROCONTROL participe au projet SESAR lancé conjointement avec l'Union européenne dont le but est de définir en coopération avec toute l'industrie du transport aérien, le futur réseau de gestion du trafic à l'horizon 2020.
- La gestion de certaines fonctions à l'échelon européen. Le CFMU (Central Flow Management Unit) centralise les plans de vols à l'échelon du continent et régule le trafic dans le but de minimiser les retards et de garantir la sécurité des vols. Le SCRR (Service central de redevances de route) collecte une redevance dont le but est de financer l'ensemble du système de gestion de la navigation aérienne des États membres.
- La gestion du centre de Maastricht qui contrôle l'espace aérien supérieur du Bénélux et d'une partie de l'Allemagne. Un autre centre devait ouvrir à Vienne et Budapest (le CEATS) mais il semble que ce projet ne verra pas le jour.
- Le support technique aux instances de régulation. EUROCONTROL prépare les dossiers techniques et les textes des décisions et règlements qui sont pris soit par son organe suprême, soit par l'Union européenne selon ses procédures propres.

L'agence œuvre pour cela en collaboration étroite avec les états membres, les prestataires de services de navigation aérienne, les usagers civils et militaires de l'espace aérien, les aéroports, le secteur aérospatial et les institutions européennes.

L'Organisation EUROCONTROL est composée de ses États membres et d'une Agence, dirigée par un directeur général. L'Agence, située à Bruxelles, comprend des antennes en Europe :

- Le CFMU (dont l'IFPU1 - Flight Planning - qui s'occupe des plans de vol) et le SCRR à Bruxelles
- Un Centre expérimental et l'IFPU2 (Flight Planning, une partie du CFMU) à Brétigny-sur-Orge, France
- Un institut de formation à Luxembourg
- Un centre de contrôle à Maastricht, Pays-Bas
- Des équipes à Vienne, Budapest, Karlsruhe, Rome.

EUROCONTROL est fondé sur un traité international, la Convention EUROCONTROL, et pour les redevances de route, sur un Accord Multilatéral. L'organisation est financée par une contribution des États membres, le SCRR pour sa part prélevant une redevance administrative sur les redevances qu'il collecte. Son organe suprême est la Commission, qui dispose du pouvoir réglementaire mais aucun mécanisme judiciaire ne permette de sanctionner cette législation.

Une Convention révisée est en cours de ratification et il a été décidé de l'appliquer partiellement avant sa mise en œuvre. Elle apporte les changements principaux suivants :

- le directeur général a un droit d'initiative
- un Conseil Provisoire remplace l'ancien Comité de gestion qui est en fait le vrai organe décisionnaire de l'Organisation
- l'Union européenne, par la vertu d'un protocole additionnel, devient membre de l'Organisation
- une Commission d'examen des performances et une Commission de réglementation de la sécurité sont mises en place. Ces deux organes semi-indépendants sont très respectés et produisent un travail de haute qualité.

EUROCONTROL a été créé à l'origine pour unifier sous son égide la gestion du trafic aérien dans l'espace supérieur. Le Centre de Maastricht est le témoin de cette ambition, vite torpillée par les États membres qui ont préféré garder le contrôle total de la prestation de service.

La crise de capacité des années 1980-90 a donné à EUROCONTROL l'occasion de développer ses activités au titre du CFMU et de la gestion du réseau pan-européen. Mais l'irruption d'un nouvel acteur, la Commission européenne, et du programme Ciel Unique bouleverse les missions de l'Organisation. La Commission a créé une Agence, l'EASA, qui à terme devrait reprendre les fonctions de régulation de la navigation aérienne en Europe. La Convention révisée ne sera sans doute pas ratifiée par tous les États, car le mouvement de privatisation des prestataires nationaux de services de navigation aérienne remet profondément en cause le rôle de l'Agence dans la gestion du réseau, des fonctions pan-européennes et dans la gestion du Centre de Maastricht. Le projet SESAR fait d'EUROCONTROL un acteur parmi d'autres dans le développement stratégique et lui retire sa fonction de chef de file de cette coordination.

IV-1-2-Simulation du trafic :

Dans cette partie en résumé les principaux aspects.

a- Description générale :

L'aéroport est modélisé par un graphe reliant ses parkings et ses pistes. Ce graphe est utilisé pour attribuer à chaque avion un ensemble de chemins admissibles, c'est-à-dire respectant les procédures de sens uniques et les limitations de vitesse.

Le trafic est décrit par les plans de vol d'une journée. Chaque plan de vol donne toutes les informations relatives à un mouvement : identifiant, type de l'avion, heure de début, parking et piste prévus. Pour les départs soumis à régulation, le plan de vol fournit également le créneau CFMU. La simulation s'effectue par fenêtres glissantes avec un horizon de prédiction et une période de résolution.

A chaque étape de la simulation (toutes les minutes), la prédiction de trafic est effectuée sur l'horizon : un ensemble de chemins admissibles est attribué à chaque nouveau plan de vol et les futures positions des avions sont calculées moyennant une incertitude sur la vitesse de déplacement. Cette incertitude transforme la position ponctuelle d'un avion en une ligne brisée de positions possibles.

Le problème à résoudre est de trouver la trajectoire que doit suivre chaque avion (c'est-à-dire son chemin et éventuellement ses attentes sur ce chemin) pour que les séparations soient respectées, et qu'un critère global (comme la somme des retards) soit minimisé.

Une fois ce problème résolu sur l'horizon de prédiction, les trajectoires calculées sur les premières minutes sont appliquées et fournissent la situation minutes plus tard.

b- Séparation des avions :

Les règles de séparation sont les suivantes :

- Les avions garés sont toujours séparés des autres.
- Lorsque deux avions circulent, leur distance doit toujours être supérieure à 60 mètres.
- Après chaque décollage, un temps de séparation de 1, 2 ou 3 minutes (selon le type d'avion) est nécessaire avant le décollage ou l'atterrissage suivant (pour éviter les problèmes dus aux turbulences de sillage).
- Lorsqu'un avion décolle ou atterrit sur une piste, les autres avions peuvent circuler sur cette piste à condition qu'ils soient derrière lui.

Lorsqu'une paire d'avions ne respecte pas ces règles, elle est dite "en conflit".

c- Résolution des conflits :**c-1- Manœuvres possibles :**

Pour assurer les séparations, des ordres de contrôle peuvent être donnés aux avions. Un ordre de contrôle est modélisé comme suit :

- Le chemin que doit suivre l'avion (choisi parmi l'ensemble des chemins restant possibles pour cet avion) ;
- Éventuellement, des attentes imposées sur ce chemin, décrites par une position et une heure de fin d'attente (ceci permet de réduire l'incertitude sur la position de l'avion).

Les arrivées peuvent également être retardées ou avancées (on demande au pilote de ralentir ou d'accélérer avant l'atterrissage).

c-2- Résolution 1 contre n:

Cette méthode de résolution réduit le problème à celui du temps de roulage minimal d'un seul avion devant en éviter d'autres. Les avions prévus sur l'horizon sont classés et traités les uns après les autres. Chacun d'eux doit éviter ceux qui ont déjà traités : les premiers ont priorité sur les derniers.

Le problème du temps de roulage minimal d'un seul avion devant en éviter d'autres peut être modélisé par un problème du plus court chemin dans un graphe et résolu par Branch and Bound : l'algorithme trouve un meilleur chemin et les meilleures attentes si une telle solution existe. Dans la négative, l'algorithme détecte qu'il n'y a aucune solution et donne l'avion gênant.

Il est évident que l'efficacité de cette méthode de résolution est largement influencée par le classement initial effectué sur les avions (la plupart des classements aboutissant en outre à un problème sans solution).

Dans la version actuelle, les avions sont initialement classés par ordre croissant d'heure prévue à la piste (l'atterrissage pour une arrivée, le décollage pour un départ). Si un des avions n'a aucune solution, son rang est modifié : il est reclassé devant l'avion qui le gêne et le problème est de nouveau considéré.

IV-1-3-Estimation des temps de roulage :

a -Temps d'anticipation nécessaire :

Le problème est ici d'évaluer le temps de roulage des départs à chaque étape de la simulation, dans le but de les faire arriver à la piste au moment de leur créneau. Appliquées à la minimisation des temps de roulage, les simulations passées ont montré qu'un horizon réduit augmentait l'efficacité des méthodes de résolution. Lorsque l'incertitude sur la vitesse des avions atteint $\pm 10\%$, il devient même difficilement concevable de résoudre la situation avec un horizon supérieur à 5 minutes (l'ensemble des positions possibles d'un avion pouvant alors s'étendre sur plus de 600 mètres pour une vitesse de 10 m/s).

Cependant, un horizon limité à 5 minutes est insuffisant pour prévoir avec précision les temps de roulage des avions. Il est donc nécessaire de prendre en compte les futurs plans de vol, planifiés dans un horizon augmenté de r minutes : Ce nouveau paramètre r , appelé anticipation, ne sera utilisé que pour l'estimation des temps de roulage. Dans les parties suivantes, deux méthodes d'estimation des temps de roulage sont développées et comparées.

b- Estimation par la séquence de piste :

b-1- Principe :

Cette approche consiste à anticiper les séquences de piste (une file d'attente d'avions par piste) et d'en déduire les heures de décollage de chaque départ, en considérant que l'occupation de la piste sera maximale.

b-2- Réalisation :

Le but est de former les files d'attente d'avions et/ou de plans de vol pour chaque piste, puis de leur attribuer séquentiellement (dans l'ordre de la file) un créneau de décollage ou d'atterrissage.

Cependant, les arrivées ne peuvent être retardées de plus de secondes et doivent donc être différenciées des départs. Les créneaux sur chaque piste sont alors attribués en trois étapes :

- 1.** Une première estimation des heures de décollage est calculée pour les départs, en fonction du temps qui les sépare de la piste (sans attente).
- 2.** Un premier créneau est alors attribué séquentiellement aux départs, en respectant les temps de séparation imposés entre les décollages.

3. Les arrivées (si il y en a) sont insérées séquentiellement dans la file décrite, en fonction de leur heure d'atterrissage prévue, en respectant les temps de séparation et le retard maximal autorisé. Ceci donne la suite définitive de créneaux .

La suite des créneaux ainsi formée permet de calculer un temps de roulage pour chaque décollage ou plan de vol prévu sur l'horizon temporel.

c- Estimation par simulation :

c-1- Description :

Dans cette approche, l'idée est de négliger l'incertitude sur la vitesse dans le but d'appliquer directement une méthode de résolution simplifiée sur l'horizon étendu (t_0 ; $t_0 + \tau$).

c-2- Réalisation :

A chaque étape de la simulation (toutes les Δ minutes), tout plan de vol commençant avant $t_0 + \tau$ est activé : un ensemble de chemins lui est attribué et sa trajectoire directe (sans attente) est insérée dans la prédiction de trafic. La méthode de résolution 1 contre n est appliquée sur l'horizon étendu (t_0 ; $t_0 + \tau$) en considérant que l'incertitude sur la vitesse est nulle.

Les temps de roulage des avions en mouvement dans l'horizon de prédiction initial (t_0 ; $t_0 + t_S$) sont alors pris directement comme estimation.

Bien évidemment, le passage à l'étape suivante de la simulation (Δ minutes plus tard) s'effectue toujours en appliquant la méthode de résolution initiale sur l'horizon de prédiction réduit

(t_0 ; $t_0 + t_S$) et en considérant l'incertitude nominale sur la vitesse.

d- Conclusions :

La première conclusion est que l'intervalle des erreurs des deux méthodes d'estimation des temps de roulage est inclus dans l'intervalle de tolérance pour les créneaux CFMU

(-5 ; +10) minutes. Cela signifie qu'il semble possible de prévoir les temps de roulage 20 minutes en avance, avec une précision compatible avec celle demandée par la régulation européenne. Ce résultat est intéressant car la méthode de résolution appliquée dans la

simulation n'était en rien corrélée aux estimations effectuées (le critère global à minimiser étant la somme des retards et non l'erreur des estimations).

La seconde observation est que la deuxième méthode d'évaluation donne des résultats beaucoup plus précis : comme beaucoup d'études le démontrent les temps de roulage ne sont pas simplement fonction des files d'attente au décollage, mais sont aussi largement influencés par le trafic à l'arrivée près des terminaux et à chaque intersection de taxiways.

Par conséquent, la méthode d'estimation des temps de roulage par simulation sera retenue pour la partie suivante. Les estimations seront cette fois-ci corrélées à la méthode de résolution pour prendre en compte les contraintes des créneaux de décollage imposés par la régulation européenne.

IV-1-4- Respect des créneaux CFMU :**a- Concepts opérationnels :**

Deux principales difficultés en rapport avec le respect des créneaux CFMU doivent être soulignées :

- Le créneau CFMU est une heure de décollage retardée (parfois plus d'une heure après le départ demandé par la compagnie). Il faut donc trouver une position et un temps d'attente appropriés pour l'avion concerné. Pour l'équipage et les passagers, la position d'attente la plus intéressante est bien évidemment le parking. Cependant, une telle occupation de parking n'est pas toujours possible et de toutes façons, l'avion doit rester prêt au départ, donc les passagers sont rarement débarqués.
- Pendant les pointes de trafic, l'accès aux pistes se fait via une file d'attente. Chaque avion soumis à régulation doit donc être positionné stratégiquement dans cette file : si l'avion atteint la piste trop tôt, il devra attendre au seuil de piste, bloquant tout accès à cette piste. S'il l'atteint trop tard, le créneau est manqué et il doit théoriquement en attendre un nouveau. Les deux cas se produisent fréquemment et sont très dommageables pour la régulation du trafic.

Pour gérer ces problèmes, les aéroports comme Roissy se sont équipés d'aires d'attente près des pistes. Ces aires permettent de modifier dynamiquement la séquence de piste de façon à respecter les contraintes des secteurs d'approche et les créneaux CFMU.

Une autre façon de faciliter la gestion des vols à créneaux est de leur réserver certains accès à la piste, lorsque l'infrastructure de l'aéroport le permet.

b- Attente initiale :**b-1- Définition :**

Il s'agit d'évaluer à chaque étape de la simulation et pour chaque départ soumis à un créneau CFMU, le temps que doit attendre l'avion avant de chercher à rejoindre la piste. Cette attente devra avoir lieu dès que possible (au parking si celui-ci est libre). Sera appelé l'attente initiale pour l'avion.

b-2- Adaptation de la méthode 1 contre n:

Pour un avion soumis à un créneau CFMU, l'objectif doit être modifié: parmi l'ensemble des trajectoires sans conflit, la meilleure trajectoire n'est plus celle qui minimise le retard,

L'ordre dans lequel les avions sont traités est tout naturellement donné par le créneau pour les avions soumis à régulation et l'heure prévue à la piste pour les autres.

c- Affectation de bretelles d'entrée de piste :

Opérationnellement, l'affectation des bretelles d'entrée de piste est souvent effectuée en fonction de la catégorie de turbulence de sillage des avions. Ceci permet d'insérer facilement un avion "léger" (ne mobilisant la piste qu'une minute) avant un "lourd" (pouvant la mobiliser trois minutes) dans la séquence de piste.

Il semble de même intéressant de réserver certaines bretelles d'accès aux départs soumis à régulation, pour pouvoir leur imposer une attente sans gêner le reste du trafic.

Deux stratégies d'affectation de bretelles d'accès seront comparées par simulation :

- CAT : les bretelles sont affectées uniquement en fonction des catégories de turbulence de sillage
- SLOT: pour chaque piste, une des bretelles est réservée aux vols ayant un créneau, et les autres sont affectées en fonction des catégories de turbulences de sillage .

IV-2- Analyse des flux origine- destination en Europe :

IV-2-1- Introduction :

Cette étude cherchait à évaluer l'intérêt et la faisabilité d'un concept de réseau de routes prioritaires directes entre les principales TMAs européennes. Ce nouveau réseau s'ajouterait au réseau de routes actuelles, mais serait géré indépendamment du système ATC classique, par des outils de séquençement spécifiques (DMAN et AMAN).

L'intérêt du concept réside dans le fait que, même si l'on ne peut gérer ainsi qu'une faible proportion du trafic, on peut espérer un gain considérable en termes de délais aux décollage pour le reste du trafic, à condition que l'impact du nouveau réseau sur la capacité globale du système ne soit pas trop important.

Cependant, dans cette étude, seule la séparation dans le plan horizontal de ces routes prioritaires est abordée : le croisement des routes du nouveau réseau est soit interdit, soit limité au maximum sans que l'on précise dans ce cas comment seraient gérés les conflits entre avions sur des routes sécantes.

Enfin ce chapitre se terminera sur une présentation des résultats obtenus pour les flux de trafic à l'échelle de l'espace aérien européen.

IV-2-2- Définition des flux origine- destination :

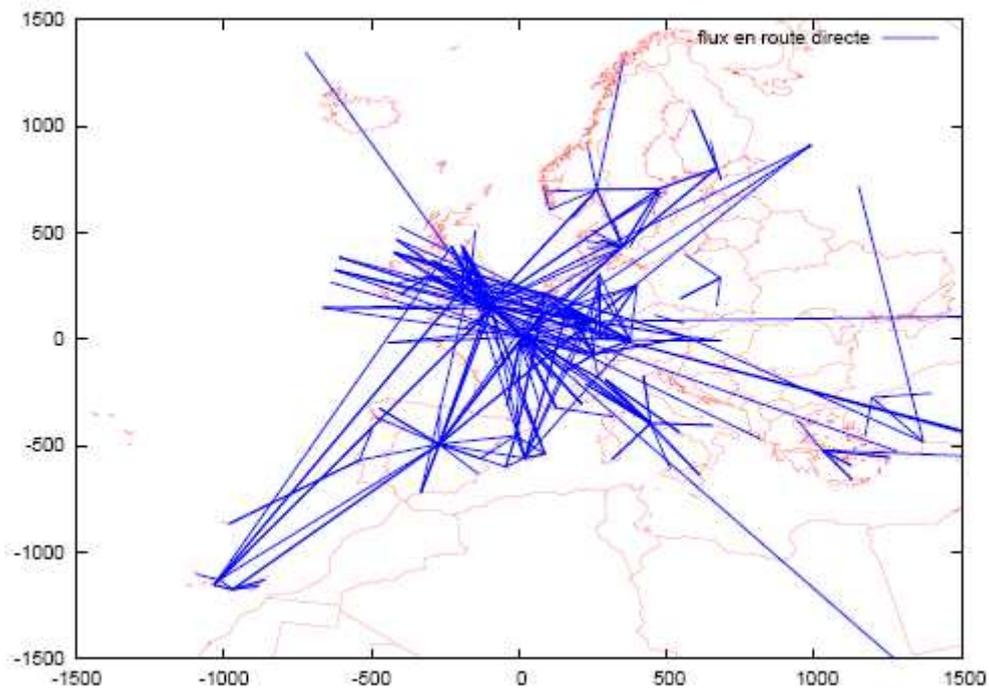
Dans un premier temps, nous définirons simplement un flux de trafic par la donnée de deux points : L'origine et la destination : Le flux est alors l'ensemble des avions volant entre ces deux points pendant une période de temps donnée. Les points d'origine et de destination peuvent être soit les aéroports de départ ou d'arrivée, ou encore les points d'entrée ou de sortie de l'espace aérien considéré.

Notons que cette définition est plus restrictive que les définitions informelles couramment utilisées dans le monde de l'Air Traffic Flow Management, où un flux pourra être défini comme un flot d'avions entre une zone géographique et une autre et passant par un point ou un secteur donné par exemple, ou encore un segment de route. Ce sont les débits de ces flux que l'ATFM cherche à réguler en imposant des délais au décollage, afin de protéger les secteurs de contrôle potentiellement surchargés. Mais ce n'est pas le problème que nous aborderons dans ce qui suit, où nous ferons complètement abstraction de la sectorisation, voire dans un premier temps du réseau de routes.

Dans la suite de ce chapitre, les flux (origine, destination) sont calculés à partir des données réelles de trafic, pour la zone Europe. La figures IV-1 montrent les flux de 10 avions en Europe respectivement (les distances sont en milles nautiques).

Pour résumer, un flux sera donc défini par un couple de points (origine, destination), chaque point étant caractérisé par :

- ses coordonnées géographiques,
- sa nature : aéroport, ou balise d'entrée ou de sortie.



**Fig.IV. 1 : Flux de plus de 10 avion dans l'espace aérien européen
(Trafic de 21/01/2006 ; projection stéréographique centrée sur paris ;
Distance en mille nautique)**

IV-2-3- Analyse des flux origine- destination en Europe :**a- Généralités :**

Avant de tenter d'allouer des trajectoires 3D séparées aux différents flux, commençons par une rapide analyse de ceux-ci au-dessus de l'Europe. Une seule journée de trafic est ici analysée, et on s'intéressera uniquement à la demande initiale de trafic, c'est-à-dire aux plans de vols répétitifs, ou déposés par les compagnies aériennes au plus tard l'avant-veille du jour du vol, avant régulation du trafic (les éventuels délais au décollage n'ont pas encore été décidés). Le lecteur pourra se reporter à l'étude TOSCA pour une analyse statistique plus complète sur l'Europe, portant sur plusieurs mois de trafic.

Les flux sont calculés selon les points d'entrée ou de sortie dans l'espace aérien (des aéroports ou des balises frontalières), puis ordonnés par taille décroissante. La taille d'un flux est tout simplement le nombre d'avions appartenant au flux. Dans cette analyse, nous commencerons tout d'abord par regarder quelle quantité d'avions représentent les n premiers flux de la liste ordonnée, ce qui nous donnera une idée du nombre de flux à prendre en compte pour espérer avoir un impact significatif sur l'écoulement du trafic.

Nous examinerons également la distribution des flux en fonction de leur longueur (la distance parcourue), et surtout la distribution des niveaux de croisière demandés en fonction de la distance parcourue. Ce dernier point est particulièrement intéressant. Pour le problème réel, il nous faudra tenir compte à terme de la disparité des types d'avions, et donc en particulier des performances de montée et de descente. Cette disparité se traduit entre autres par le fait qu'un avion aux performances médiocres ne demandera pas un niveau de croisière trop haut, qu'il ne pourra jamais atteindre.

En n'allouant qu'une seule trajectoire 3D par flux, on court le risque soit d'allouer des niveaux de vols que certains types d'avions ne pourront pas atteindre, soit de s'imposer volontairement des niveaux de vol suffisamment bas pour que tous les avions du flux les atteignent, soit encore de définir des zones d'incertitude autour de chaque trajectoire, prenant en compte la diversité des performances des avions sur chaque flux.

Dans le premier cas, les avions insuffisamment performants risquent d'entrer en conflit avec les avions d'autres flux. Dans le deuxième, on pénalise les avions les plus performants pour qu'il serait plus économique de voler plus haut.

Dans le dernier cas, on peut être amené à définir des zones d'incertitude englobant plusieurs niveaux de croisière. Une solution plus efficace serait éventuellement de définir pour chaque flux plusieurs trajectoires 3D, avec des niveaux préférentiels de croisière

différents. Chaque avion du flux emprunterait alors l'une ou l'autre de ces trajectoires, en fonction de ses performances.

Pour estimer le nombre idéal de trajectoires 3D qu'il faudrait allouer par flux origine-destination, on fait l'hypothèse que chaque avion demande a priori le niveau de croisière le plus adapté à ses performances et à la distance qu'il a à parcourir, et on examine sur le trafic réel la distribution des niveaux demandés pour chacun des flux. Etant donné le nombre de flux, on synthétise cette information en calculant la distribution des niveaux demandés en fonction de la distance parcourue, sachant que celle-ci est certainement l'autre facteur déterminant, en dehors des performances, dans le choix d'un niveau de croisière.

b- Analyse des flux en Europe:

La journée du 21 juin 2002 comportait 29687 plans de vol dans l'espace aérien européen, répartis en 11313 flux origine- destination. Ces flux sont triés par taille décroissante, ce qui permet ensuite de calculer la quantité cumulée de trafic pour un flux comprenant au moins n avions.

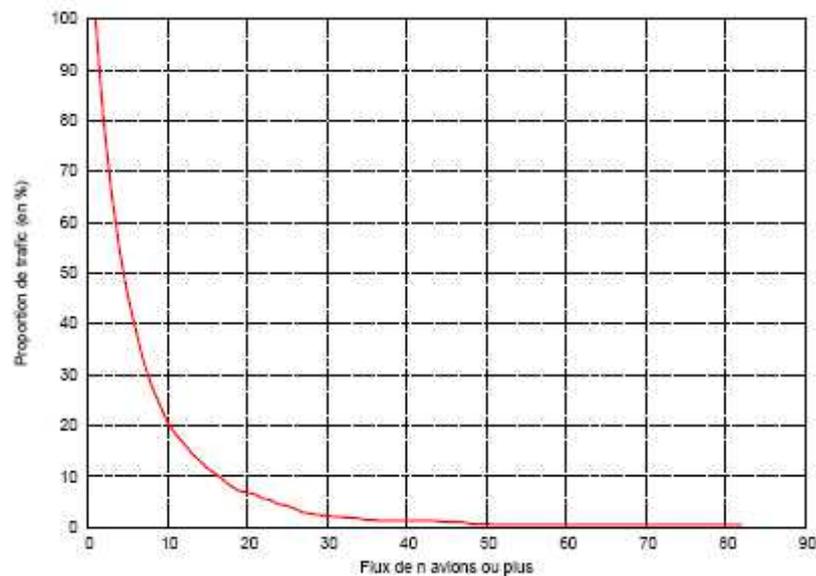


Fig.IV-2- Europe : pourcentage de trafic en fonction de la taille du flux.

La courbe de la répartition ainsi obtenue est représentée sur la figure IV-2, avec en abscisse les valeurs de n, et en ordonnée la proportion de trafic, en pourcentage, que représentent les flux d'au moins n avions. Les flux de 5 avions ou plus représentent 46% du trafic total, ceux de 10 avions ou plus en représentent 20,8%, et pour les flux de 20 avions ou plus on est seulement à 6,9% du trafic total.

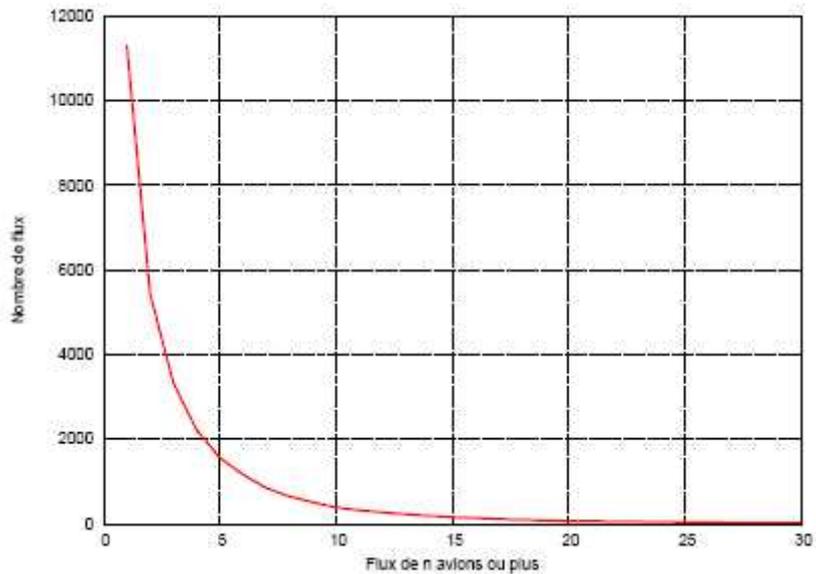


FIG.IV-3- Europe : nombre de flux en fonction de la taille choisie (n avions ou plus par flux).

Le nombre de flux en fonction de la taille de flux choisie est représenté sur la figure IV-3. Il y a 74 flux de 20 avions ou plus, 392 flux de 10 avions ou plus, 1567 flux de 5 avions ou plus. Sur le total des 11313 flux, 5865, soit plus de la moitié, ne contiennent qu'un seul avion.

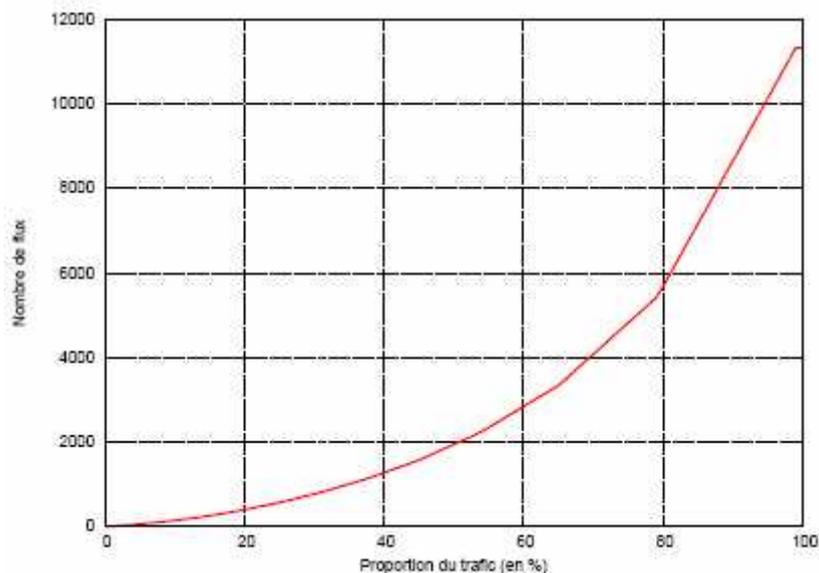


FIG. IV-4-Europe : nombre de flux à considérer, en fonction du pourcentage de trafic que l'on souhaite traiter.

La figure IV-4 présente directement le nombre de flux à prendre en compte (dans notre liste triée par ordre décroissant) en fonction de la quantité de trafic que l'on souhaite traiter. On voit que pour traiter 50% du trafic européen, il faut considérer près de 2000 flux les plus importants. Ces considérations, que l'on peut retrouver dans l'étude TOSCA, justifient la démarche adoptée dans cette étude consistant à regrouper les aéroports dans des TMAs d'assez grande taille, avant de chercher des routes directes entre celles-ci. Ce regroupement permet de définir moins de routes prioritaires, en traitant plus de trafic, mais nécessite en contrepartie d'organiser le trafic dans les TMAs. Dans l'immédiat, nous nous en tiendrons aux flux entre aéroports (ou balises d'entrée/sortie), sachant que même si un pourcentage relativement faible du trafic total est concerné, cela peut se traduire par une forte diminution des retards au décollage, comme l'affirme cette même étude. A terme il faudra toutefois certainement considérer les flux entre TMAs si l'on veut pouvoir affecter des trajectoires 3D séparées à une proportion significative de trafic.

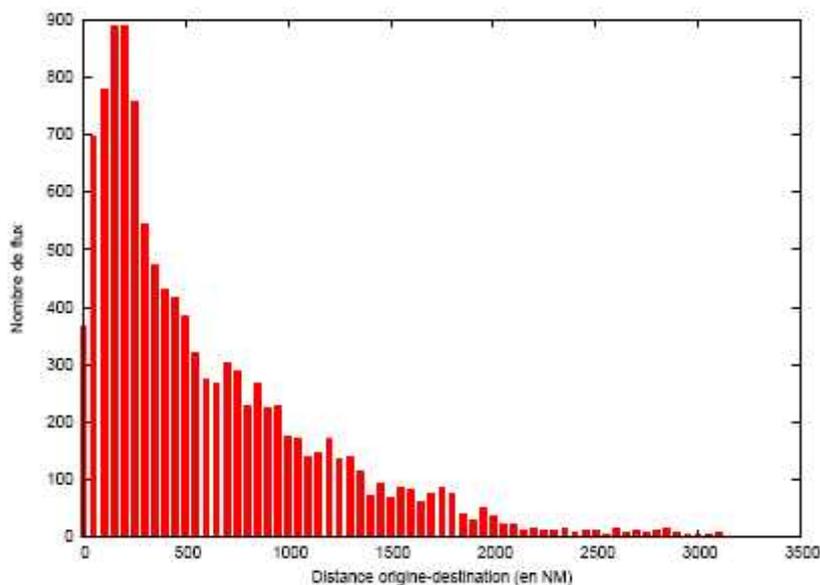


Fig. IV-5-Europe : distribution du nombre de flux en fonction de la distance parcourue.

La figure IV-5 montre le nombre de flux en fonction de la distance parcourue. Les flux sont comptabilisés par tranches de distance de 50 milles nautiques. On constate un pic entre 200 et 300 milles nautiques, puis une lente décroissance, les flux de longueur supérieure à 2000 milles étant quantité négligeable.

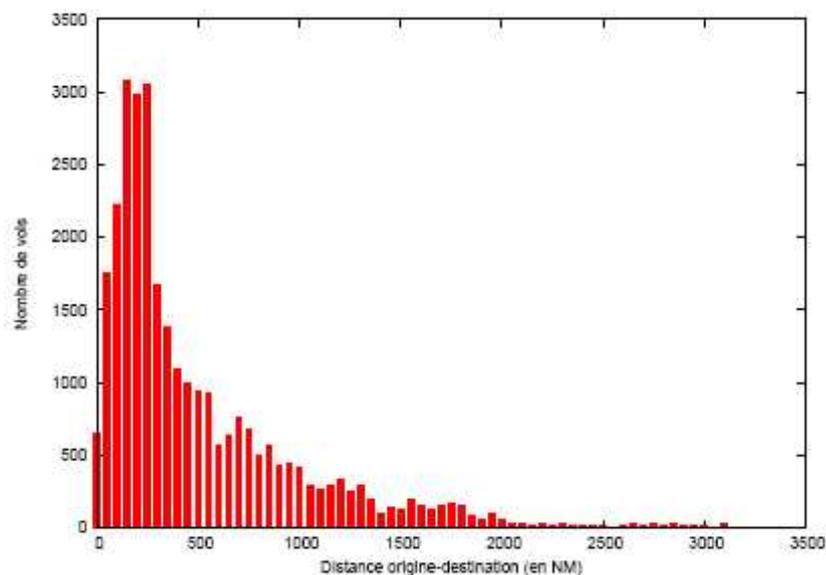


FIG.IV- 6- Europe : distribution du nombre de vols en fonction de la distance parcourue.

La figure. IV-6 présente la courbe du nombre de vols en fonction de la distance parcourue.

TOUS FLUX					
	Total	Dép -> Arr	Dép -> Bal	Bal -> Arr	Bal -> Bal
Flux	11313	10017	631	656	9
% des flux	100 %	88,5 %	5,6 %	5,8 %	0,1 %
Vols	29687	26700	1446	1531	10
% des vols	100 %	89,9 %	4,9 %	5,2 %	0,03 %

TAB. IV-1- Répartition du trafic en Europe selon la nature de l'origine et de la destination.

Concernant la répartition des flux en Europe selon la nature des points d'origine ou de destination (aéroport de **Départ** ou d'**Arrivée**, ou **Balise** d'entrée ou de sortie), on constate sur le tableau IV-1 qu'une écrasante majorité (plus de 85%) des flux et des vols sont purement intra-européen.

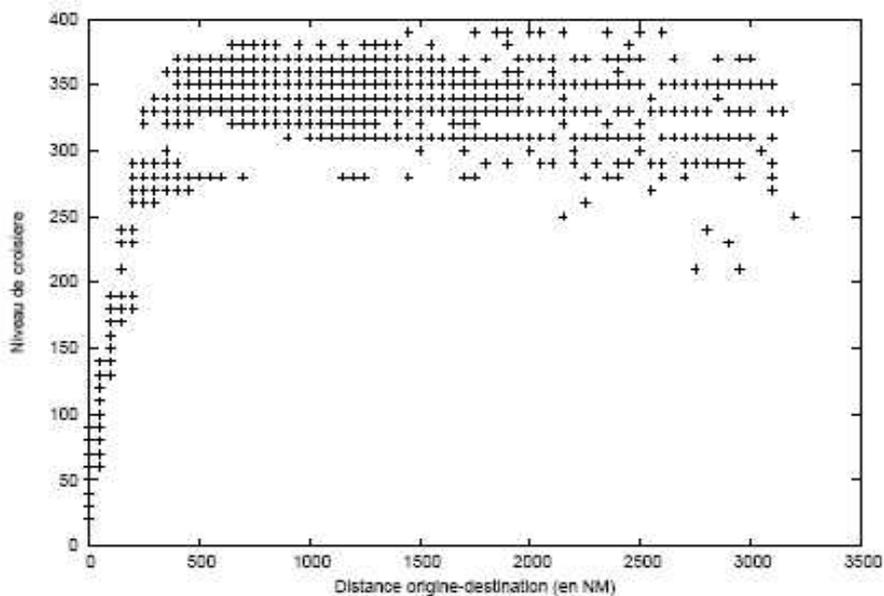


FIG. IV-7- Europe : niveaux de croisière demandés (seuil de représentation à 5% du total de la classe), en fonction de la distance parcourue.

Voyons maintenant la distribution des niveaux de croisière demandés. Pour l'obtenir, on comptabilise le nombre d'occurrences pour chaque valeur de niveau de vol et pour chaque tranche de distance (0 à 50 NM, puis 50 à 100 NM, etc...). Sur la figure IV-7 sont représentés les niveaux de croisière en fonction de la distance parcourue. Un point est affiché chaque fois que le nombre d'occurrences est supérieur à 5% du total des vols dans la tranche de distance. On constate que pour les faibles distances, les niveaux de croisière les plus demandés semblent s'élever en fonction de la distance à parcourir. Pour les longues distances, on a un nuage de points relativement difficile à exploiter. Il nous manque en fait la représentation du nombre d'occurrences pour chaque point.

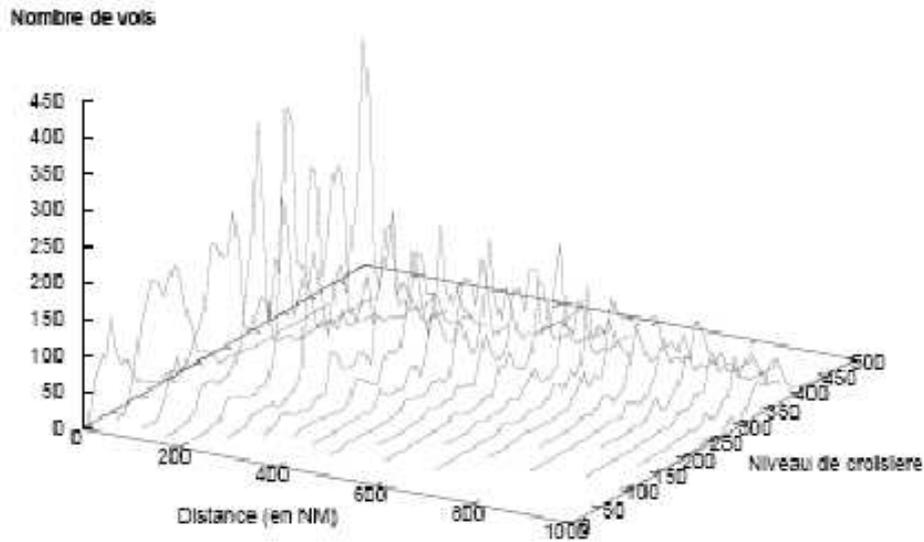


FIG. IV-8- Europe : nombre d’occurrences des niveaux de croisières demandés en fonction de la distance parcourue.

La figure IV-8 présente pour chaque tranche de distance le nombre de demandes pour chaque niveau de vol. Cette vue tridimensionnelle nous permet de mieux nous rendre compte des hauteurs relatives des différents pics de demandes, mais elle reste relativement peu lisible. Plutôt que de représenter le nombre de demandes, visualisons le pourcentage du nombre de demandes par rapport au total des demandes dans chaque tranche de distances.

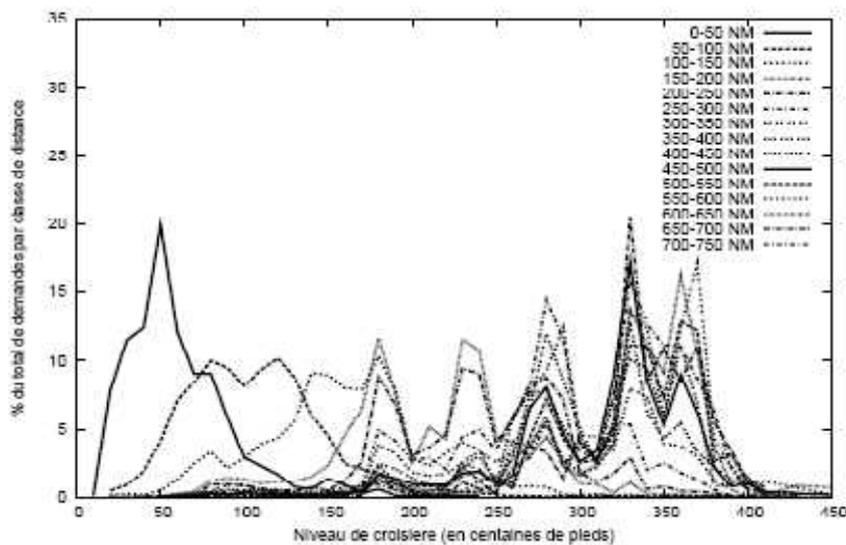


Fig. IV-9-Europe : pourcentage des demandes (par rapport au totale de chaque classe) par niveau de croisière, pour les 15 premiers tranches de distances.

La figure IV-9 superpose ces courbes de pourcentages pour les quinze premières tranches de distances, et permet d'identifier clairement les pics, en particulier dans l'espace aérien supérieur. Les trois premières classes de distances sont un peu à part des autres. Pour les flux d'une longueur maximale de 50 milles nautiques, la quasi-totalité des demandes est entre les niveaux FL20 et FL120, avec soit un seul pic assez large autour du FL50, soit deux pics assez proches, l'un au FL50 et l'autre au FL80. Les courbes des tranches 50-100 NM et 100-150 NM semblent confirmer la deuxième hypothèse, car elles présentent toutes deux un pic aux alentours du FL80. Entre 50 et 100 milles nautiques, on a donc un pic au FL80 et un autre au FL120, presque confondus en un seul dont la base est assez large. Disons que le gros de la demande est entre le FL50 et le FL150. Sur la courbe de la tranche 100-150 NM, on peut identifier un petit pic au FL80, deux pics plus importants au FL140 et au FL180, et un dernier plus modeste au FL230.

Pour les autres classes de distances, on identifie cinq pics de demandes, autour des niveaux FL180, FL230, FL280, FL330, et FL370. Pour les moyennes distances, l'importance relative de ces pics dépend de la distance : plus on va loin, plus les niveaux de croisière demandés sont élevés, comme on pouvait s'y attendre. Ainsi on a deux pics majeurs aux FL180 et FL230 pour la tranche 150-200 NM, trois pics majeurs aux FL180, FL230, et FL280 pour la tranche 200-250 NM, un pic majeur au FL280 et trois plus modestes aux FL180, FL230, et FL330 pour la tranche 250-300 NM, deux pics majeurs aux FL280 et FL330 pour les tranches 300-350 NM et 350-400 NM. Au-delà des 400 milles nautiques, ce sont les niveaux autour des FL280, FL330 et FL370 qui sont les plus demandés, le pic autour du FL280 diminuant progressivement avec la distance. Remarquons l'existence d'une certaine demande, assez faible certes, autour du FL400.

IV-2-4- Conséquences sur la problématique :

Au vu de la rapide analyse que nous venons de faire sur une seule journée de trafic, on constate finalement que considérer l'ensemble de la zone Europe mène à des configurations de flux totalement différentes. Dans le premier cas, c'est à un trafic essentiellement intra-européen que l'on a affaire, et l'on sera dans une problématique finalement assez proche de celle du problème simplifié de séparation de flux. Par contre, lorsque l'on se restreint à un espace géographique plus petit, la proportion du trafic entrant ou sortant de l'espace aérien via des balises frontalières augmente considérablement. Il faut donc s'interdire de changer de point d'entrée ou de sortie, il faut pouvoir allouer des niveaux de vol séparés en entrée ou en sortie, pour les flux se terminant sur une même balise.

Un autre point intéressant, qui ressort de l'étude de la distribution des niveaux de vol demandés pour la croisière, est qu'il apparaît judicieux de considérer séparément les flux en espace aérien inférieur et ceux en espace aérien supérieur, voire même de ne tenter d'allouer des trajectoires 3D séparées que dans le supérieur. On n'invente là rien de nouveau, puisque dans la réalité opérationnelle le réseau de routes comme la sectorisation sont déjà fortement différenciés selon que l'on se trouve au-dessous ou au-dessus du FL195 (19500 pieds), niveau de coupure entre les espaces inférieur et supérieur.

La séparation de chaque problème selon un niveau de coupure se justifie par l'analyse des flux (cf. figure IV-8 et les commentaires associés) : on retrouve en espace inférieur des vols sur de courtes ou moyennes distances, avec des valeurs plutôt disparates pour les niveaux de croisière demandés (cf. l'allure des distributions pour les distances inférieures à 150 milles nautiques), à l'exception d'un pic de demandes bien identifié autour du FL180. Par contre, en espace aérien supérieur, on trouve des vols sur de plus longues distances, avec une distribution des niveaux de croisière pour laquelle on identifie clairement des pics de demandes (FL230, FL280, FL330, et FL370 en espace supérieur). Notons que dans la définition des sous- problèmes inférieur et supérieur, on peut aussi choisir de placer le niveau de coupure au-dessous du FL 180, qui est un pic de demandes bien identifié que l'on peut prendre en compte comme les autres dans l'espace supérieur. Une bonne valeur de coupure dans ce cas semble être le FL145

	Coupure au FL195		Coupure au FL145	
	Sol -> FL195	Au-dessus du FL195	Sol -> FL145	Au-dessus du FL145
Flux	3443	8515	1920	9674
Vols	7246	22441	3656	26031
% des vols	24.41 %	75.59 %	12.32 %	87.68 %

TAB. IV-2- Répartition des flux et du trafic en Europe selon le niveau de coupure entre espace inférieur et espace supérieur.

Le tableau IV-2 montre, en Europe, la répartition des flux et des vols en fonction du niveau de coupure choisi entre espaces inférieur et supérieur. Constatons qu'une écrasante majorité des vols (entre 75% et plus de 90%) demandent des niveaux de croisière au-dessus du niveau de coupure, ce qui incite à considérer en priorité l'espace supérieur dans notre optimisation des flux.

Pour le problème en espace inférieur (si l'on choisit de le traiter) on peut s'attendre à avoir quelques difficultés à identifier un ou plusieurs niveaux de vol préférentiels pour chaque flux origine- destination, au vu de l'allure des courbes de distribution des niveaux pour les courtes ou moyennes distances. D'un autre côté, les flux étant plus courts, ils ont statistiquement moins de chances de se croiser dans le plan, ce qui devrait faciliter la recherche de trajectoires séparées.

Pour le problème en espace supérieur, on a essentiellement deux options possibles pour le choix des niveaux préférentiels et la recherche de trajectoires 3D séparées :

- allouer une seule trajectoire 3D par flux, en prenant comme niveau préférentiel le niveau de croisière le plus demandé, par exemple (mais on pourrait aussi choisir un niveau parmi les plus hauts).

- allouer plusieurs trajectoires 3D par flux, en choisissant les niveaux préférentiels parmi les pics identifiés lors de l'étude des distributions (ou en refaisant une étude personnalisée pour chaque flux).

Dans le premier cas, si l'on veut rester réaliste, il faudra envisager de définir autour de la trajectoire de chaque avion représentatif une zone d'incertitude englobant les trajectoires réelles de tous les avions appartenant au flux considéré. La détection d'interférences entre trajectoires devra alors tenir compte de ces tubes, dont l'épaisseur verticale dépendra, dans les phases évolutives, des performances de montée ou de descente des différents types

d'avions, et, dans les phases de croisière, des niveaux maximum atteignable par chaque type d'avion.

La deuxième option est potentiellement plus efficace, dans la mesure où on peut envisager d'intercaler des trajectoires appartenant à d'autres flux entre deux niveaux préférentiels d'un flux donné, mais elle nécessite de régler le problème des interférences entre deux trajectoires associées à un même flux : l'idéal serait d'inhiber la détection d'interférences pour les phases de montée initiale ou de descente finale, tout en s'assurant que les segments en croisière ou les évolutions intermédiaires restent séparées.

V.2.5 Le but de cette analyse :

Nous avons fait cette analyse dans le but de déterminer les différents sources de trafic aérien et donc les sources de congestion afin de montrer la solution apportée par le CFMU pour faire face cette congestion et cela en prenant en considération les différentes contraintes d'exploitation de l'espace aérien Européen.

V.1. Introduction :

Le présent bulletin des statistiques de trafic aérien pour l'année 2006 regroupe les données du trafic aérien enregistrées dans l'espace aérien et sur les aérodromes algériens.

V.2. Définitions :**a- Aéroport international :**

Aéroport d'entrée et de sortie destiné au trafic aérien international où s'accomplissent les formalités de douanes, de contrôle des personnes, de santé publique et de contrôle vétérinaire et sanitaire.

b- Aérodrome à usage restreint :

Aérodrome civil d'état destiné à des activités répondant à des besoins collectifs, techniques ou commerciaux, mais limités dans leur objet à certaines catégories d'aéronefs et, à certaines personnes spécialement désignées.

c- Mouvements d'aéronefs :

Atterrissage ou décollage d'aéronef d'un aérodrome.

d- Mouvements commerciaux :

Mouvements d'aéronefs appartenant à des compagnies aériennes effectuant le transport des passagers et de fret (régulier, non régulier).

e- Mouvements non commerciaux :

Comprenant les mouvements d'aéronefs effectuant des vols d'aéro-clubs, vols privés, de travail et taxi aérien, de compagnies aériennes sans chargement (entraînement du personnel navigant, mise en place, essai, etc.), Evasan (évacuation sanitaire) nationaux et étrangers.

f- Aérodromes ouverts à la CAP :

Aérodromes ouverts à la Circulation Aérienne Publique.

g- Survols d'aéronefs :

Aéronefs survolant l'espace aérien algérien et pris en charge par le CCR.

h- Survol avec escale :

Il s'agit de vol comportant au moins une escale sur le territoire national.

i- Survol sans escale :

Vols sans atterrissage (transit).

j- Vols spéciaux :

Aéronefs d'état, V.I.P, ...etc.

k- Niveau de vol:

Surface isobare liée à une pression de référence spécifiée, soit 1013,2 hectopascals (hpa) et séparée des autres surfaces analogues par des intervalles de pressions spécifiées.

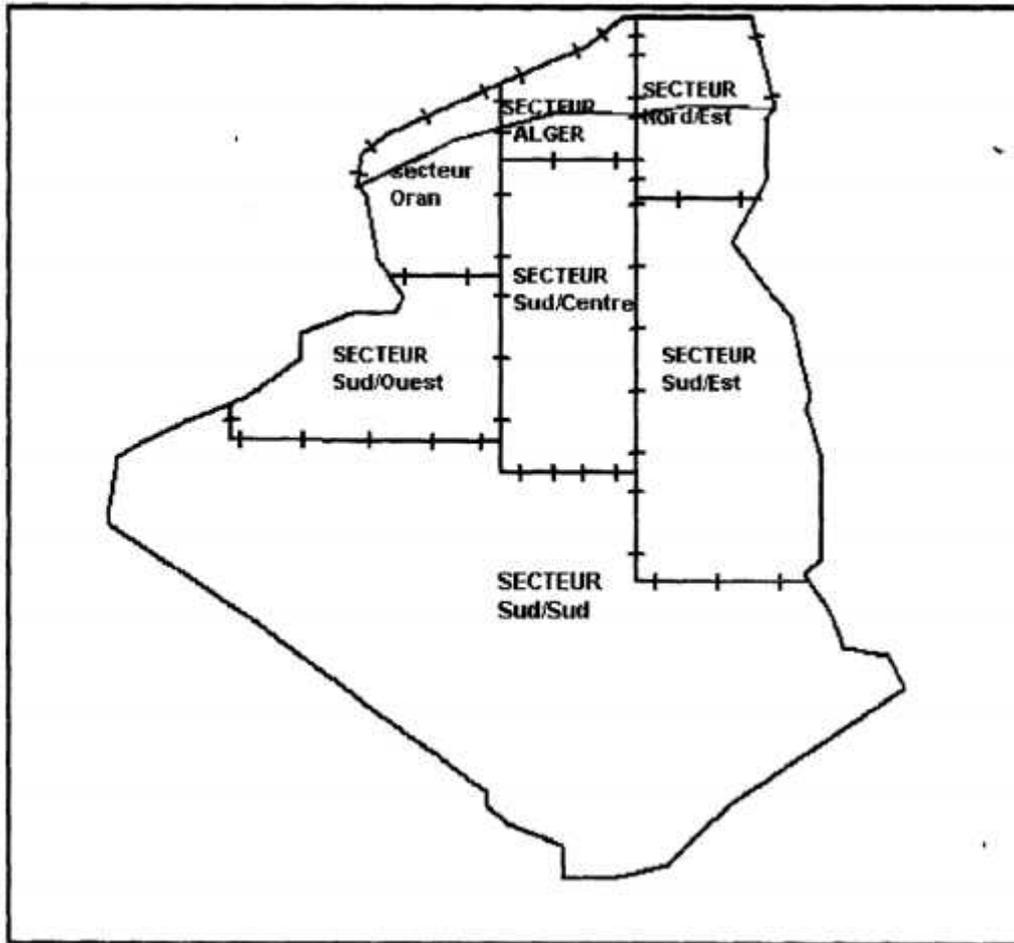
V.3. Organisation de l'espace aérien algérien :**V.3.1. Généralités :**

La position géographique de l'Espace Aérien Algérien est entre le 1 9°N jusqu'au 39°N de latitude et de 9°W jusqu'au 12°E de longitude.

L'Etablissement National de la Navigation Aérienne (ENNA), agissant pour et au nom de l'Etat algérien. Il assure les services du contrôle aérien et d'information en vol aux aéronefs traversant l'espace aérien national, qui s'étend de la partie sud de la Méditerranée contiguë au FIR(s) Marseille, Barcelone et Séville au Nord et adjacentes à l'Ouest à la FIR Casablanca, à l'Est à la FIR Tunis et Tripoli, au Sud à la FIR Dakar et Niamey.

V.3.2. Division de l'espace aérien Algérien :

L'espace aérien Algérien est composé d'une seule région d'information de vols(FIR) à l'intérieur de cette FIR. Quatre classes d'espace sont utilisées actuellement, A, D, F et G. cette FIR a été divisée en sept (7) secteurs (carte V-1).



Carte V-1: Sectorisation actuelle

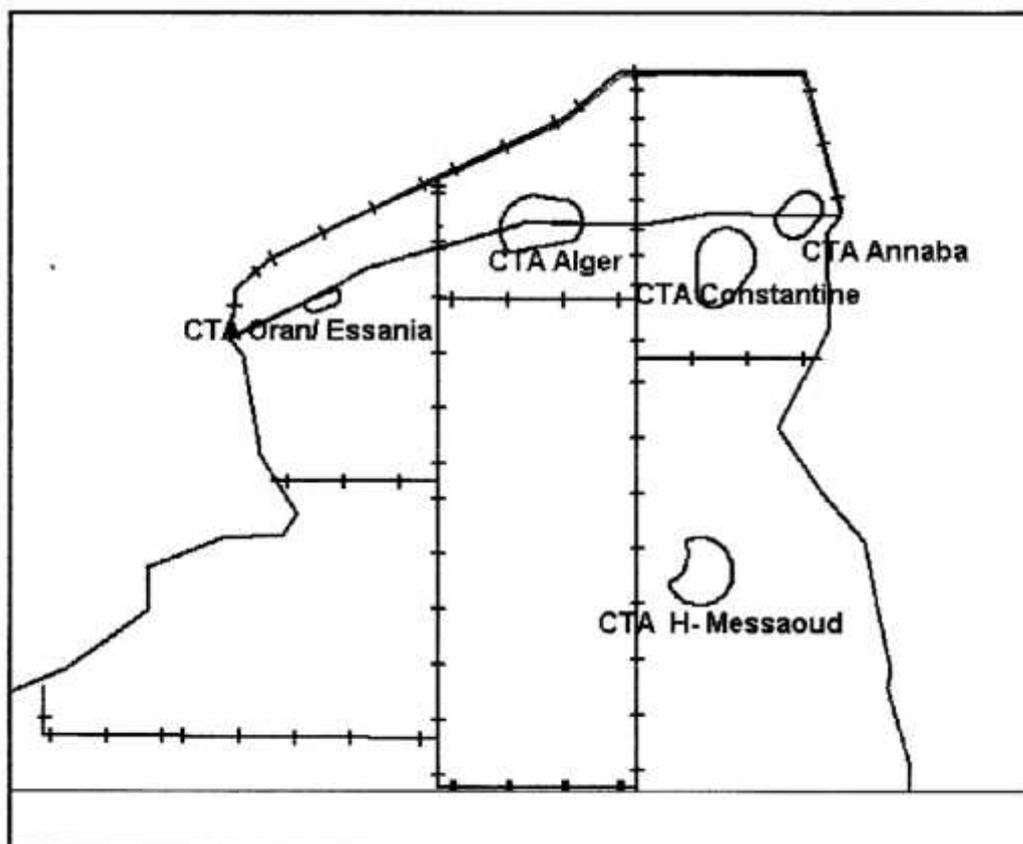
Ces Secteurs sont classés comme indiqué dans le tableau suivant:

Secteur	Classe	Limite Inférieure	Limite Supérieure
Espace supérieur	A	FL 245	FL450
SECTEUR ALGER	D	450m	FL 245
Espace inférieur	D	GND/MSL	FL 450
SECTEUR NORD/EST	D	450m	FL 450
SECTEUR ORAN	D	GND/MSL	FL 450
SECTEUR SUD/CENTRE	F	450m	UNL
SECTEUR SUD/EST	F	GND/MSL	UNL
SECTEUR SUD/OUEST	F	GND/MSL	UNL
SECTEUR SUD/SUD	G	GND/MSL	UNL

V.3.3 CTA

Pour mieux gérer les manoeuvres des avions autour des aéroports ayant la plus grande densité de trafic, l'Algérie a développé dans ce cadre cinq (5) CTA qui sont:

- ✓ CTA Alger I Houari Boumedienne
- ✓ CTA Annaba / El Mellah
- ✓ CTA Constantine/ Mohamed Boudiaf
- ✓ CTA Hassi Messaoud/ Oued Irara Krim
- ✓ CTA Oran/ Essania



Carte V.2 : Les régions de contrôle terminal

Ces régions sont classées comme indiquées dans le tableau suivant :

Désignation	Classe	Limite Inférieur	Limite Supérieur
CTA Alger/Houari Boumediene	D	450m GND/MSL	FL 105
CTA Annaba/ El Mellah	D	450m GND/MSL	FL 85
CTA Constantine/ Mohamed Boudiaf	D	450mGND	FL 105
CTA Hassi Messaoud/Oued Irara Krim	F	900 m GND	FL 105
CTA Oran/ Essania	D	450m GND	FL 40

V.4. Classification des aérodromes

La classification des Aérodroemes se fait selon les dispositions décrites dans l'arrêté du 30.06.88 qui définit le classement des aérodromes selon le dimensionnement de leurs infrastructures, leurs équipements techniques et les horaires d'ouverture et de fermeture.

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

11 Aérodroemes internationaux :

- 05 aérodromes reçoivent le trafic international régulier :
 - ❑ Alger / Constantine / Annaba / Tlemcen / Oran.
- 03 aérodromes reçoivent le trafic international restreint (escale technique refoulement, etc.) :
 - ❑ In-Amenas / Tamanrasset / Adrar.
- 01 aérodrome reçoit le trafic international en cargo et charter :
 - ❑ Hassi-Messaoud.
- 02 aérodromes reçoivent le trafic international non régulier :
 - ❑ Ghardaia et In- salah.

25 Aérodroemes domestiques :

- 21 aérodromes reçoivent le trafic national régulier.

Parmi ces aérodromes :

- ❑ 04 aérodromes mixtes : Béchar, Biskra, Ouargla, Tindouf.
- ❑ 01 aérodrome à usage restreint : Hassi- R'mel.
- ❑ 03 aérodromes militaires : Méchéria, Sétif et Laghouat sont ouverts à la CAP.
- ❑ 01 aérodrome est fermé pour travaux : In-guezzam.
- ❑ 01 aérodrome ne traite plus le trafic national régulier : Mascara.
- 02 aérodromes nationaux traitent le trafic international régulier :
 - ❑ Biskra / Bejaia

Les aérodromes sont gérés par les Directions de Sécurité Aéronautique qui sont classées selon quatre (04) niveaux :

- Niveau I (01): DSA d'Alger.

- Niveau II (06) : DSA de Annaba, Constantine, Hassi-Messaoud, Tamanrasset, Ghardaia et Oran.
- Niveau III (08): DSA de Tlemcen, Tébessa, Adrar, Béchar, Ouargla, In-aménas, In-salah et Djanet.
- Niveau IV (18): DSA de Jijel, El-oued, Touggourt, El-goléa, Tindouf, Béjaia, Tiaret, Timimoun, Batna, Biskra, B.B-Mokhtar, Illizi, In-guezzam, Bousaâda, Mascara, Mécheria, Sétif, Laghouat et Hassi R'mel.

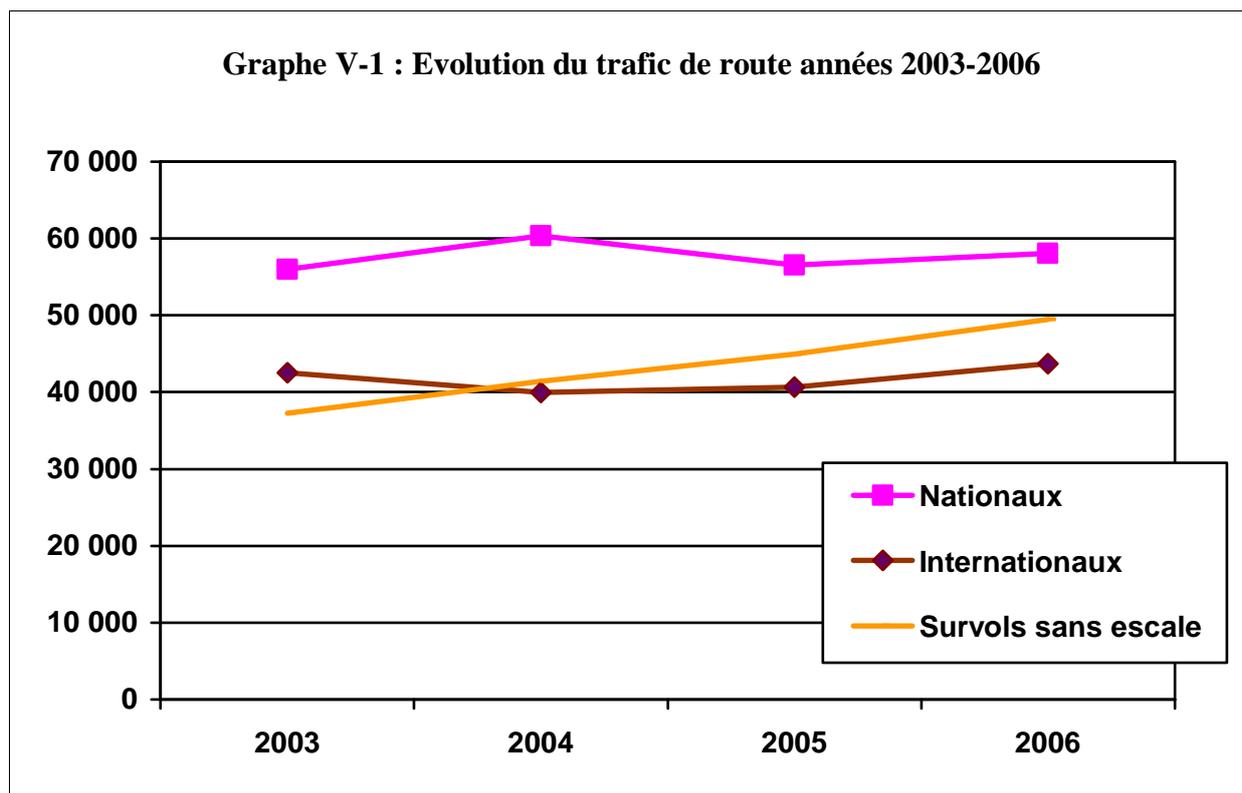
V.5. Synthèse :

En se basant sur les tableaux et les graphes ci-dessous on constate que :

V.5.1. Trafic route :

Tableau V-1 : Evolution du trafic de route années 2003 à 2006

	Trafic				Var %		
	2003	2004	2005	2006	04/03	05/04	06/05
Survol avec escale	98 536	100 340	97 216	101 814	1,8	-3,1	4,7
<i>National</i>	<i>56 010</i>	<i>60 388</i>	<i>56 550</i>	<i>58 096</i>	<i>7,8</i>	<i>-6,4</i>	<i>2,7</i>
<i>International</i>	<i>42 526</i>	<i>39 952</i>	<i>40 666</i>	<i>43 718</i>	<i>-6,1</i>	<i>1,8</i>	<i>7,5</i>
Sans escale	37 232	41 425	44 964	49 469	11,3	8,5	10
Totaux	135 768	141 765	142 180	151 283	4,4	0,3	6,4



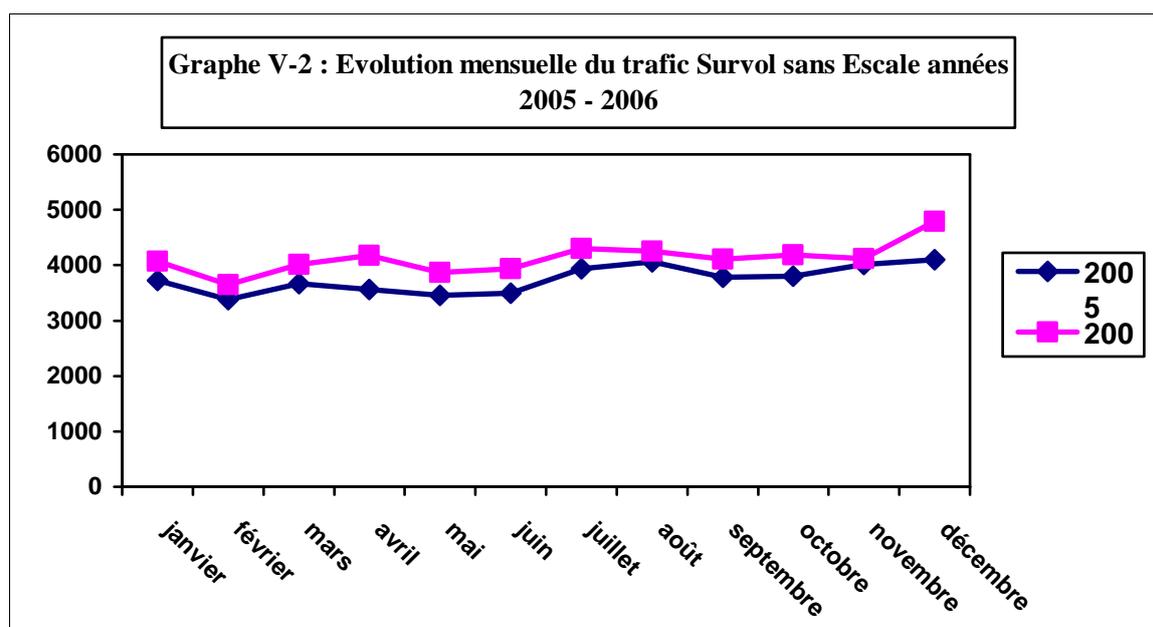
Avec 151 283 mouvements enregistrés en 2006, le trafic route a connu une progression peu significative, soit une croissance de 6,4 % par rapport à 2005

a- Survol sans escale :

Tableau V-2 : Evolution mensuelle du Trafic Survol sans Escale 2005-2006

Mois	Survol sans escale				
	2005	PART en%	2006	PART en%	VAR en %
Janvier	3 719	8,3	4 068	8,2	9,4
Février	3 381	7,5	3 652	7,4	8
Mars	3 667	8,2	4 014	8,1	9,5

Avril	3 557	7,9	4 174	8,4	17,3
Mai	3 460	7,7	3 866	7,8	11,7
Juin	3 490	7,8	3 936	8	12,8
Juillet	3 936	8,8	4 303	8,7	9,3
Août	4 060	9	4 249	8,6	4,7
Septembre	3 780	8,4	4 111	8,3	8,8
Octobre	3 797	8,4	4 185	8,5	10,2
Novembre	4 015	8,9	4 119	8,3	2,6
Décembre	4 102	9,1	4 792	9,7	16,8
TOTAL	44 964	100	49 469	100	100



Pour le survol sans escale, on a relevé en 2006, une croissance de 10% par rapport à l'exercice précédent, enregistrant ainsi, une croissance significative pour la quatrième année consécutive.

b- Survol avec escale :

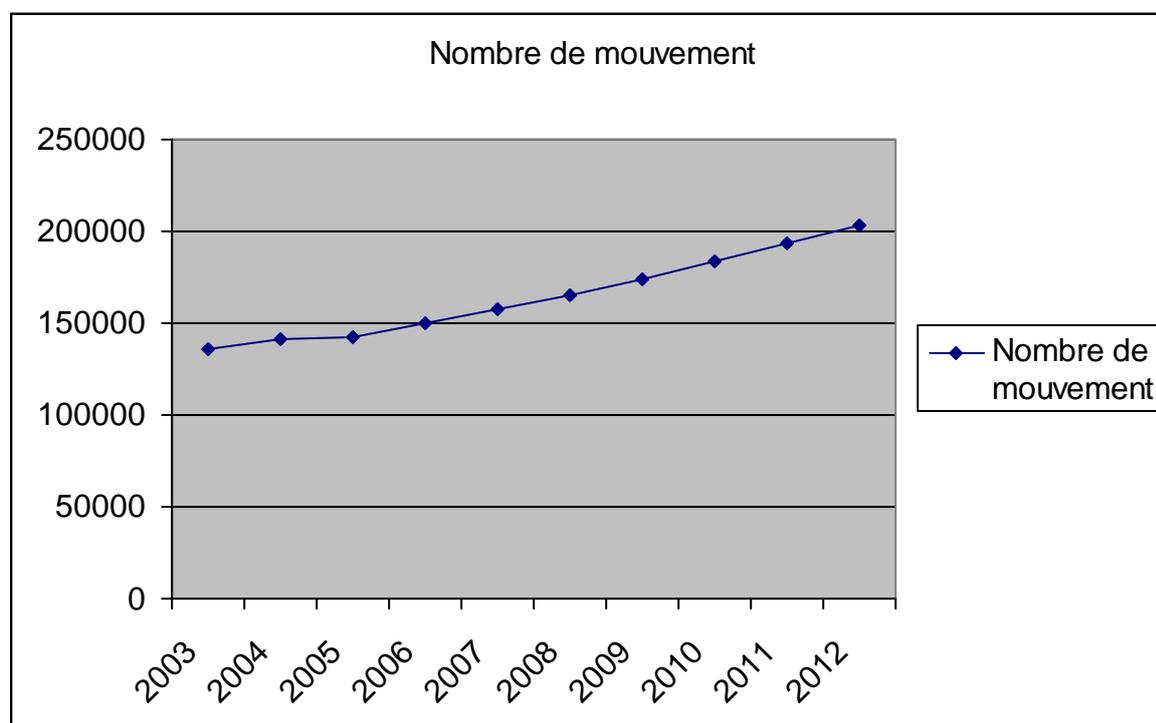
Les survols avec escale ont connu globalement une augmentation de 4,7%. Cependant, cette augmentation est due à la progression du survol avec escale national et international avec de taux de croissance soit respectivement, 2,7% et 7,5% en 2006.

V.5.2 Préviation de trafic aérien en route :

Le résultat moyen de croissance du trafic aérien est de 5,22 % (calculé par la méthode de variation moyenne) pour notre étude on va prendre cette valeur comme taux de croissance annuel jusqu'au 2012

Tableau de Préviation de trafic en route

Année	Condition	Nombre de mouvement
2003	Actuel	135898
2004	Actuel	141765
2005	Actuel	142180
2006	Actuel	151 283
2007	Préviation Taux 5,2%	157410
2008	Préviation Taux 5,2%	165627
2009	Préviation Taux 5,2%	174273
2010	Préviation Taux 5,2%	183370
2011	Préviation Taux 5,2%	192942
2012	Préviation Taux 5,2%	203013



Graphe de préviation de trafic route jusqu'au 2012

V.5.3 Evolution de trafic aérien par secteur :**Tableau V-3 Evolution mensuelle du Trafic par Secteur année 2006**

Mois	TMA ALGER	TMA OUEST	TMA EST	SUD ENTRE	SUD OUEST	SUD EST	SUD SUD	TOTAL DES MOUVEMENTS	Part en %
Janvier	3 591	3 091	5 344	2 788	1 268	4 139	3 727	23 948	8
Février	3 642	2 782	4 597	2 740	1 217	3 754	3 593	22 325	7,5
Mars	4 235	3 031	4 967	3 170	1 322	4 327	3 998	25 050	8,4
Avril	4 080	3 078	5 197	2 829	1 263	4 284	3 964	24 695	8,3
Mai	4 277	2 960	5 065	2 919	1 239	4 446	3 679	24 585	8,2
Juin	4 008	3 117	5 074	2 816	1 228	4 152	3 598	23 993	8
Juillet	4 557	3 583	5 882	2 869	1 290	4 350	3 855	26 386	8,8
Août	4 583	3 550	5 834	2 732	1 214	4 332	3 696	25 941	8,7
Septembre	3 851	3 343	5 587	2 866	1 268	4 084	3 599	24 598	8,2
Octobre	3 752	3 139	5 511	3 104	1 256	4 289	3 559	24 610	8,2
Novembre	3 801	3 243	5 186	3 134	1 272	4 486	3 821	24 943	8,4
Décembre	4 219	3 680	5 854	3 504	1 401	4 501	4 172	27 331	9,2
Total	48 596	38 597	64 098	35 471	15 238	51 144	45 261	298 405	100
Part en %	16,3	12,9	21,5	11,9	5,1	17,1	15,2	100	

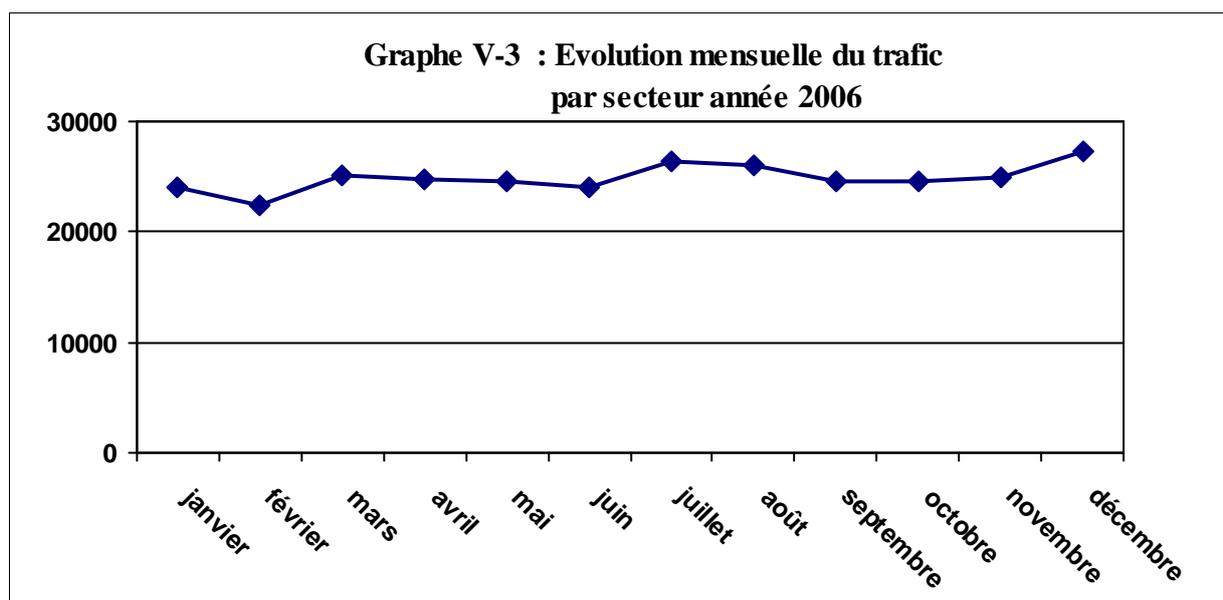
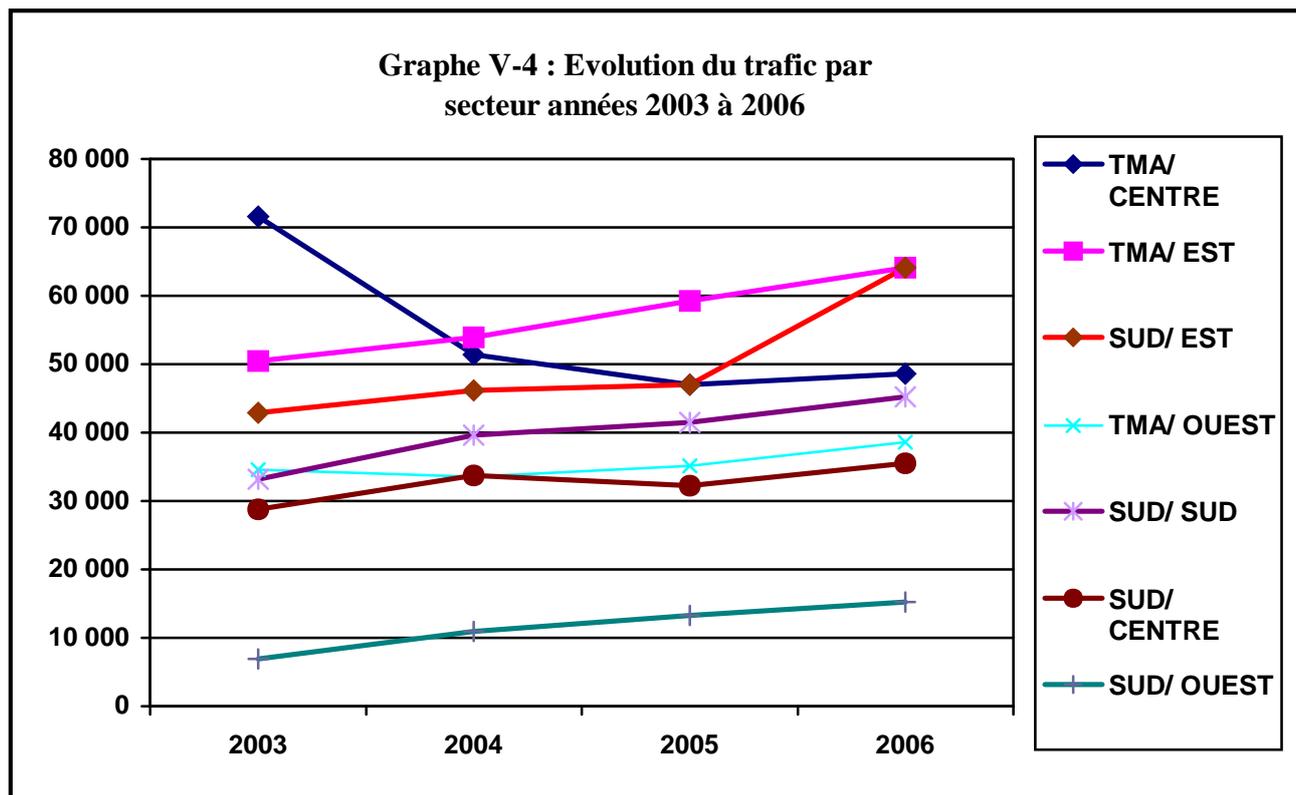


Tableau V-4 Evolution du trafic par secteur années 2003-2006

	TRAFIC SECTEUR				VAR EN %		
	2003	2004	2005	2006	04/03	05/04	06/05
TMA CENTRE	71 619	51 418	46 966	48 596	-28,2	-8,7	3,5
TMA EST	50 480	53 951	59 272	64 098	6,9	9,9	8,1
SUD EST	42 886	46 180	47 046	64 098	7,7	1,9	36,2
TMA OUEST	34 598	33 562	35 178	38 597	-3,0	4,8	9,7
SUD SUD	33 133	39 626	41 499	45 261	19,6	4,7	9,1
SUD CENTRE	28 763	33 748	32 289	35 471	17,3	-4,3	9,9
SUD OUEST	6 948	10 959	13 279	15 238	57,7	21,2	14,8
TOTAL	268 427	269 444	275 529	311 359	0,4	2,3	13



-Sur les 4 dernières années les secteurs :

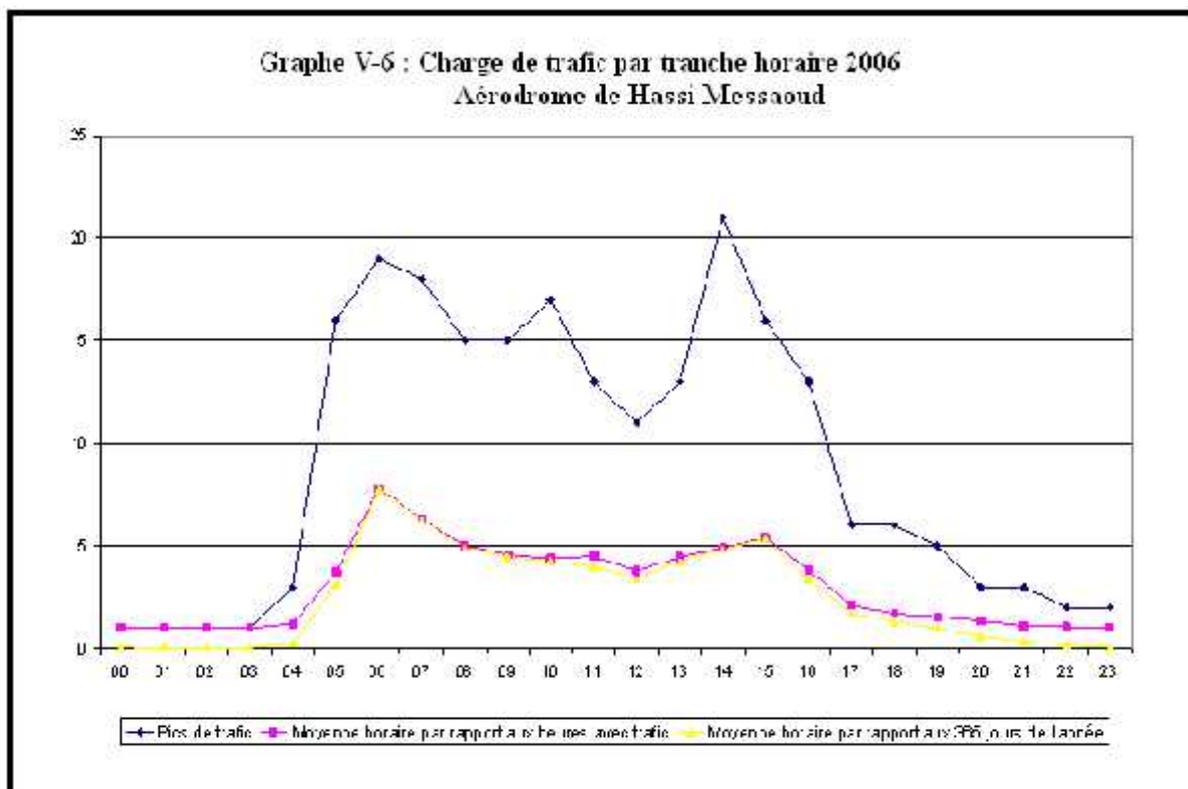
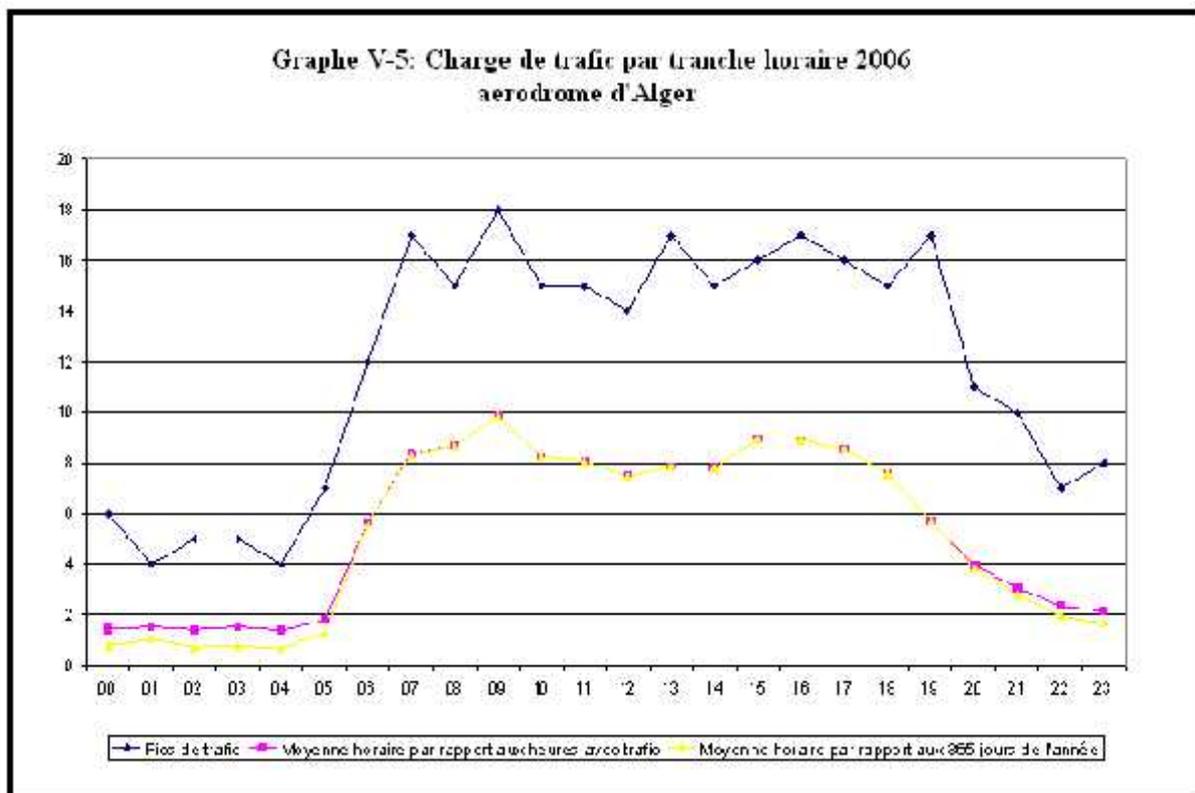
Sud-sud, sud-est et nord –est ont connu une croissance du trafic de 4,8 %, 2,30% et de 3,7%, due au trafic survolant principalement les routes R/UR978 et A/IA 411

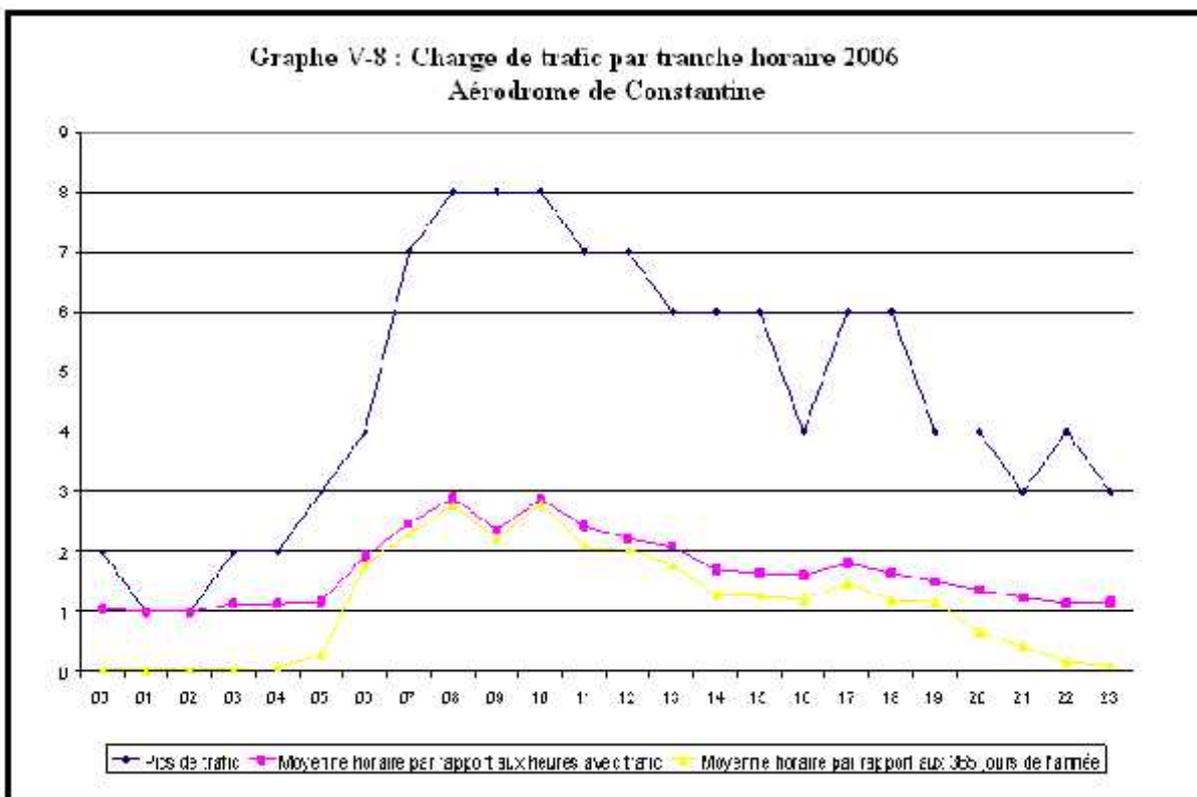
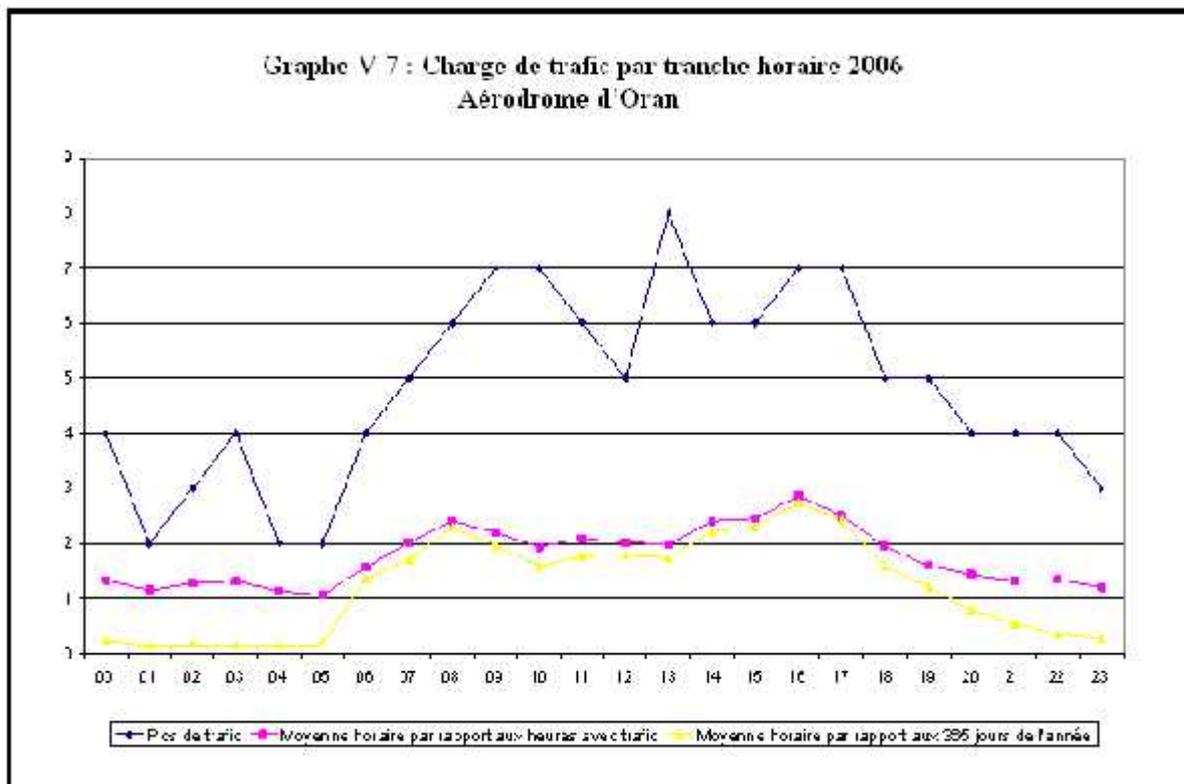
-Depuis l’année 2003 le secteur d’Alger a vu une décroissance remarquable de 6,4% (88528 mvts en 2002 et 46966 mvts en 2005).

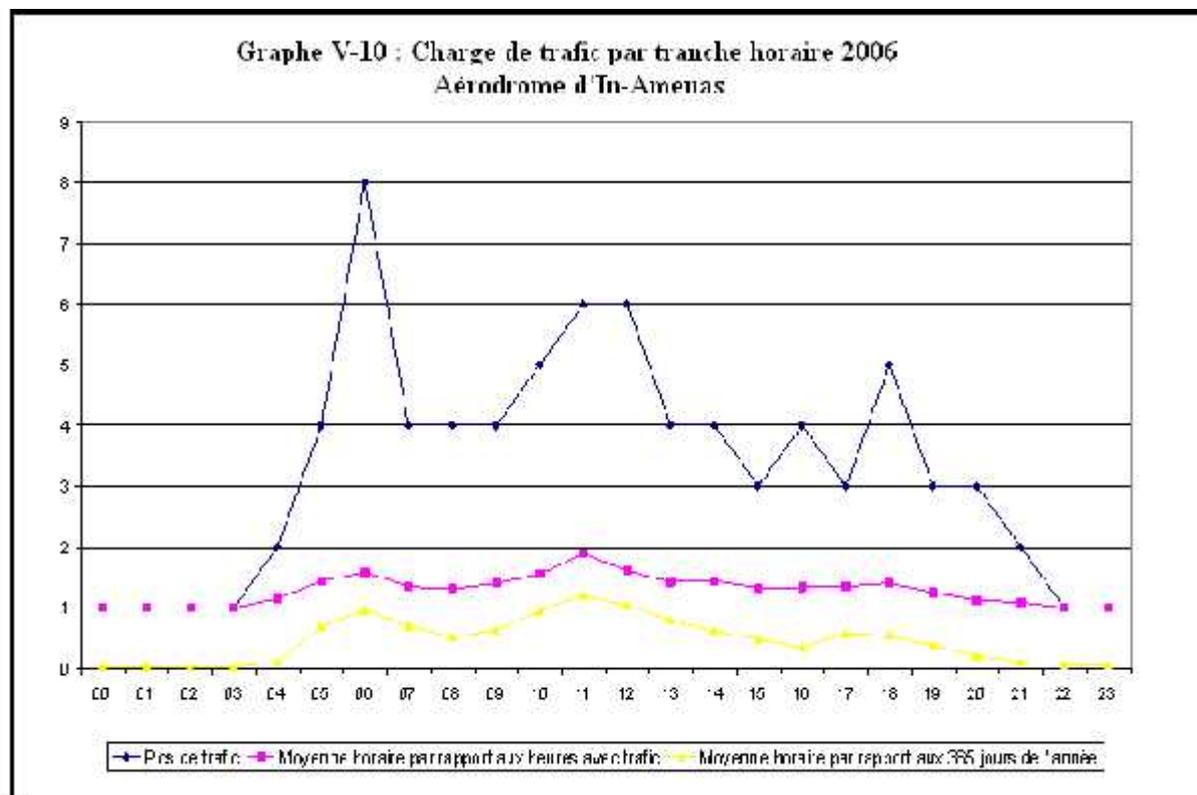
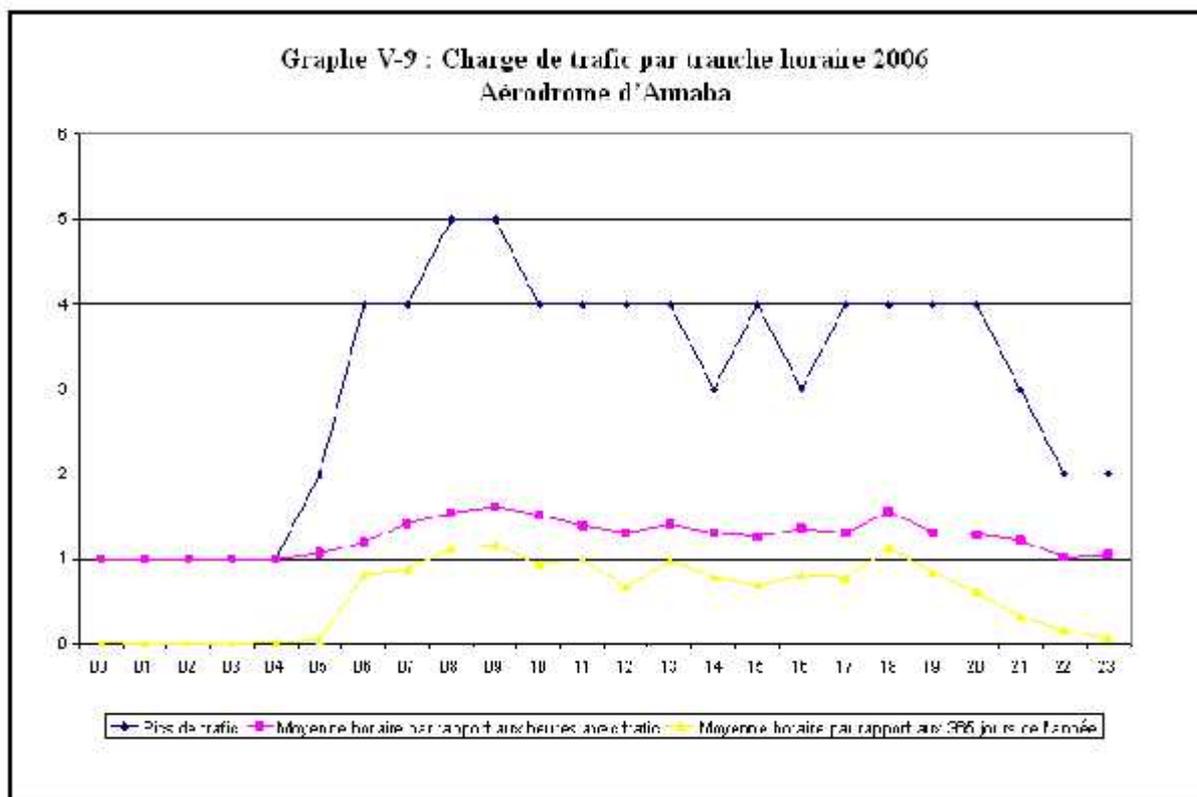
-Le secteur Nord-west croissance faible de 0,20%.

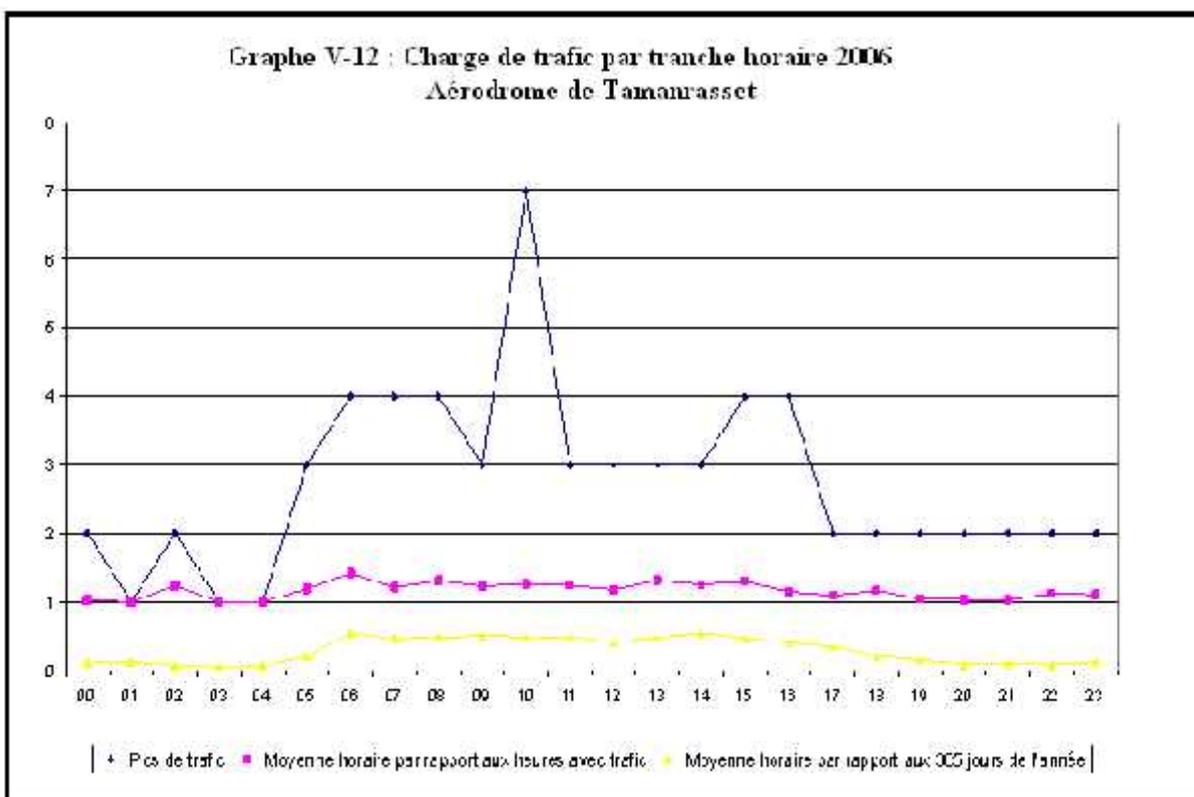
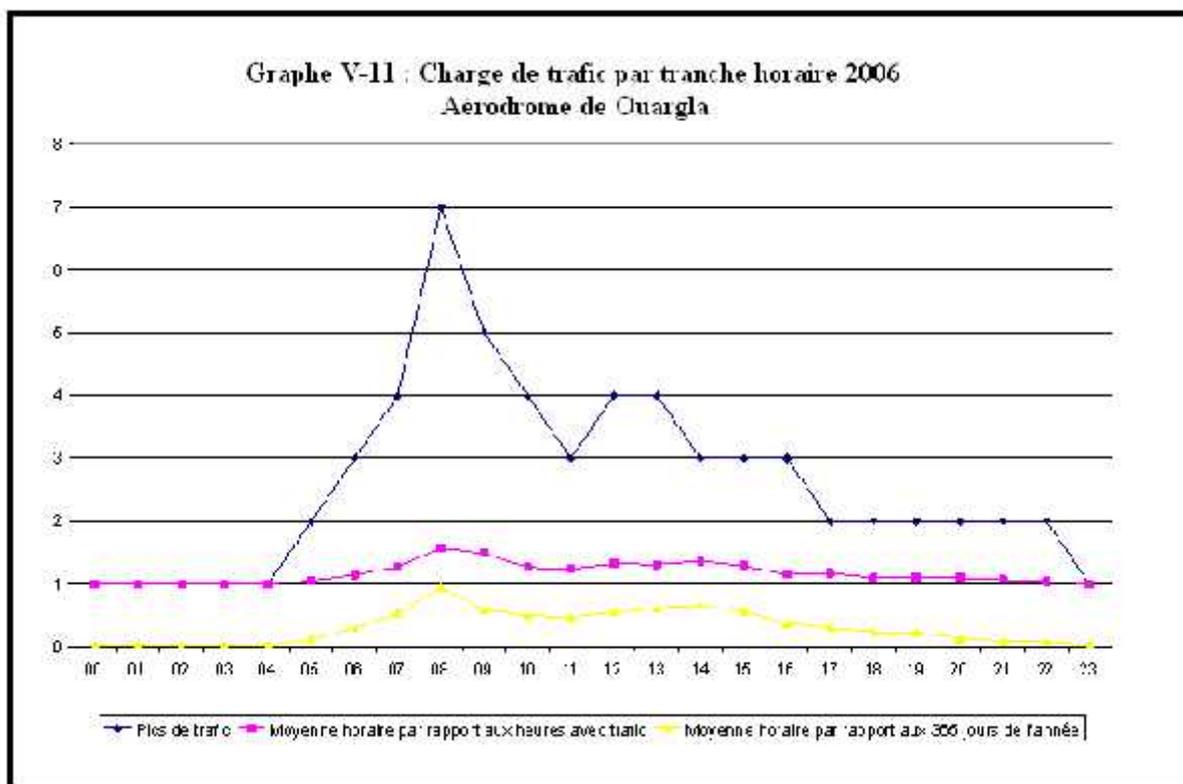
-Le secteur sud centre croissance lente de 1,25% .

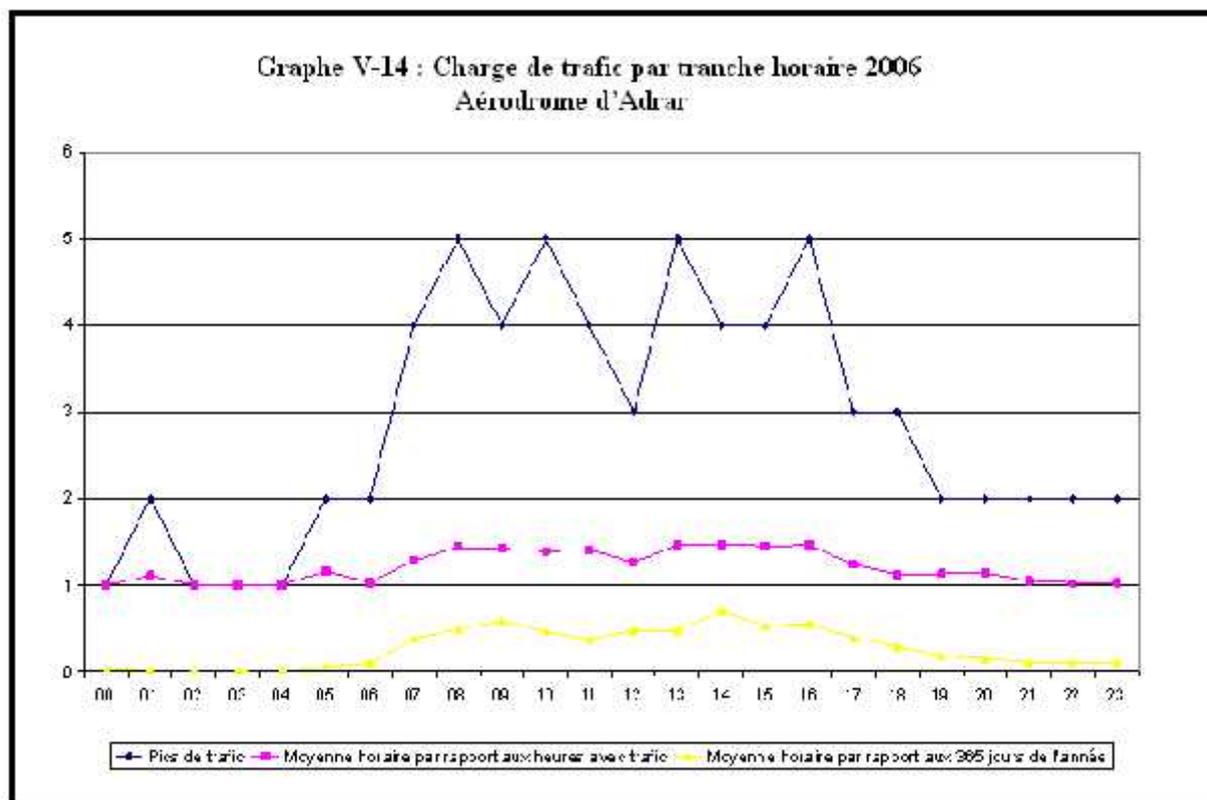
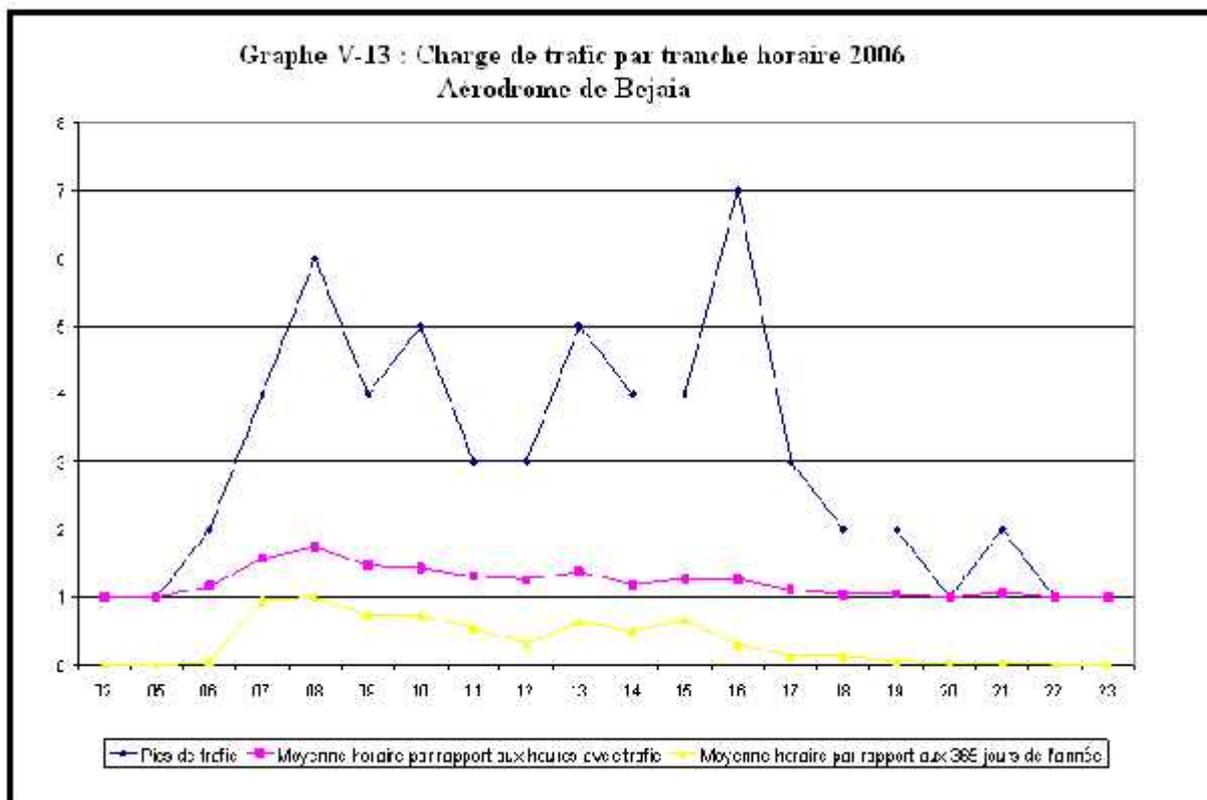
V.5.4. Trafic aéroport :

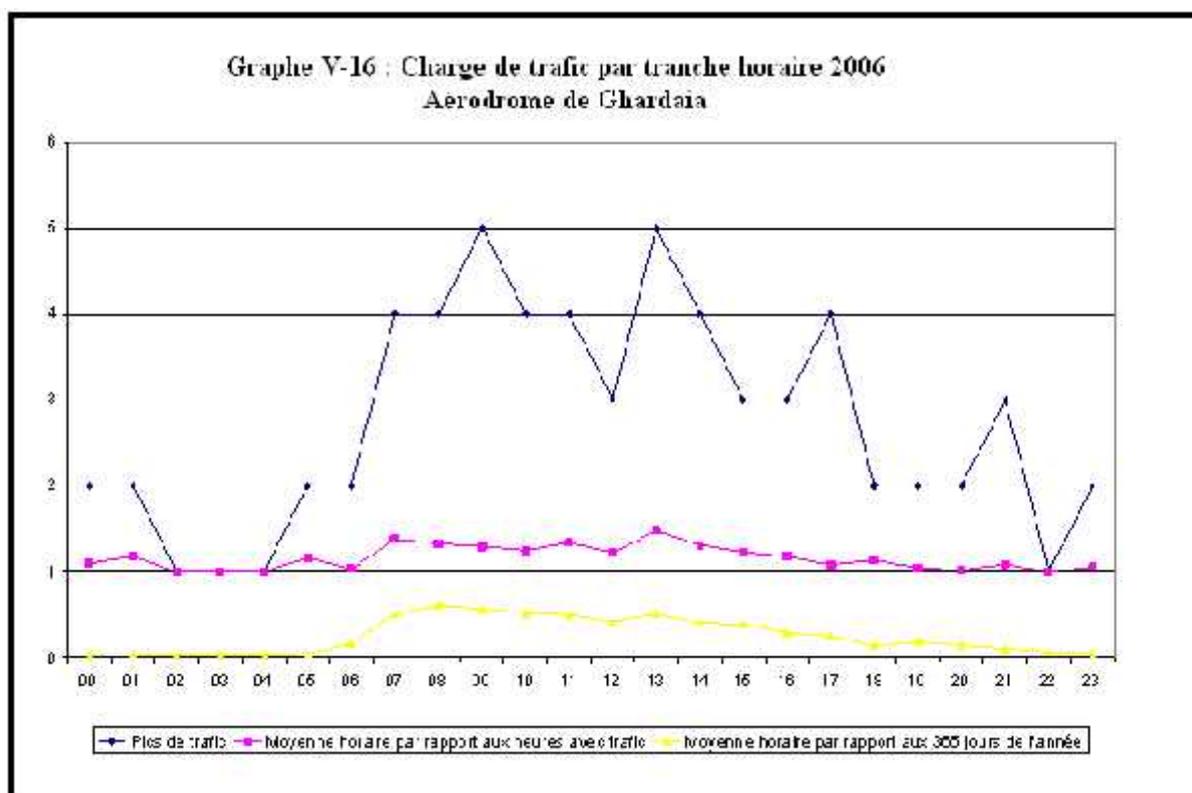
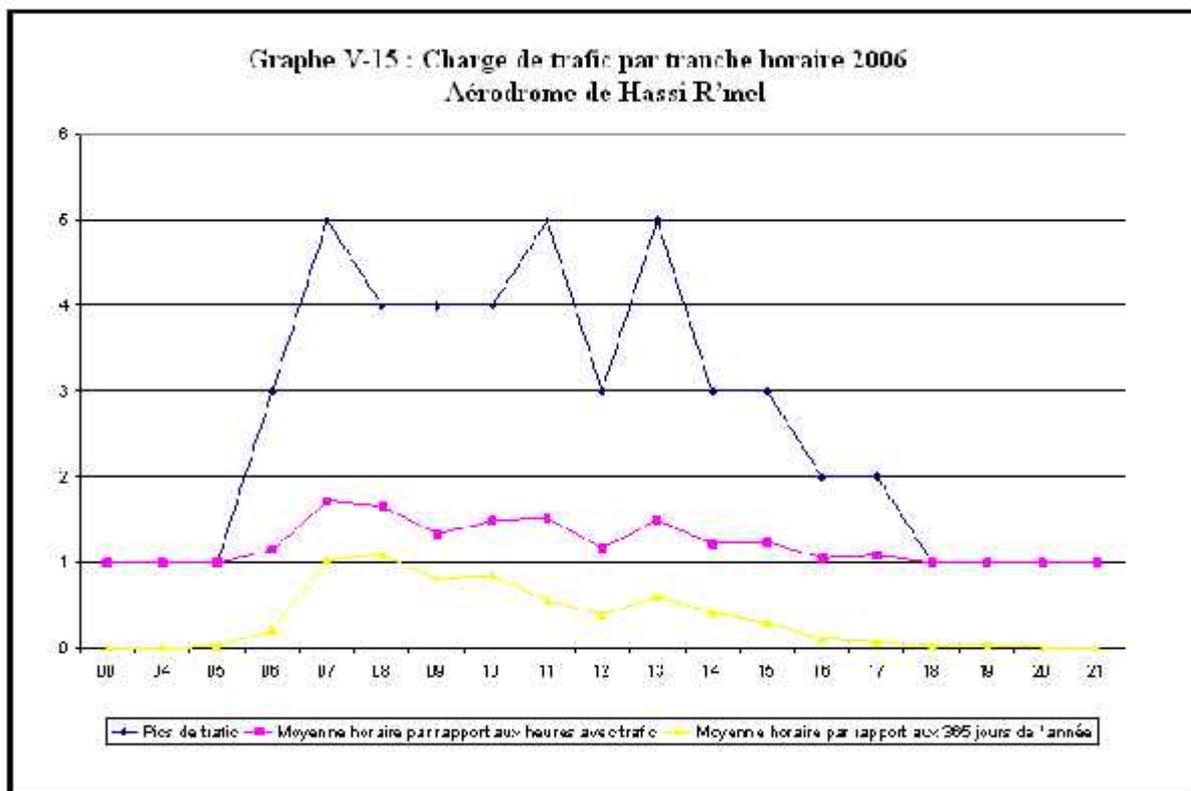


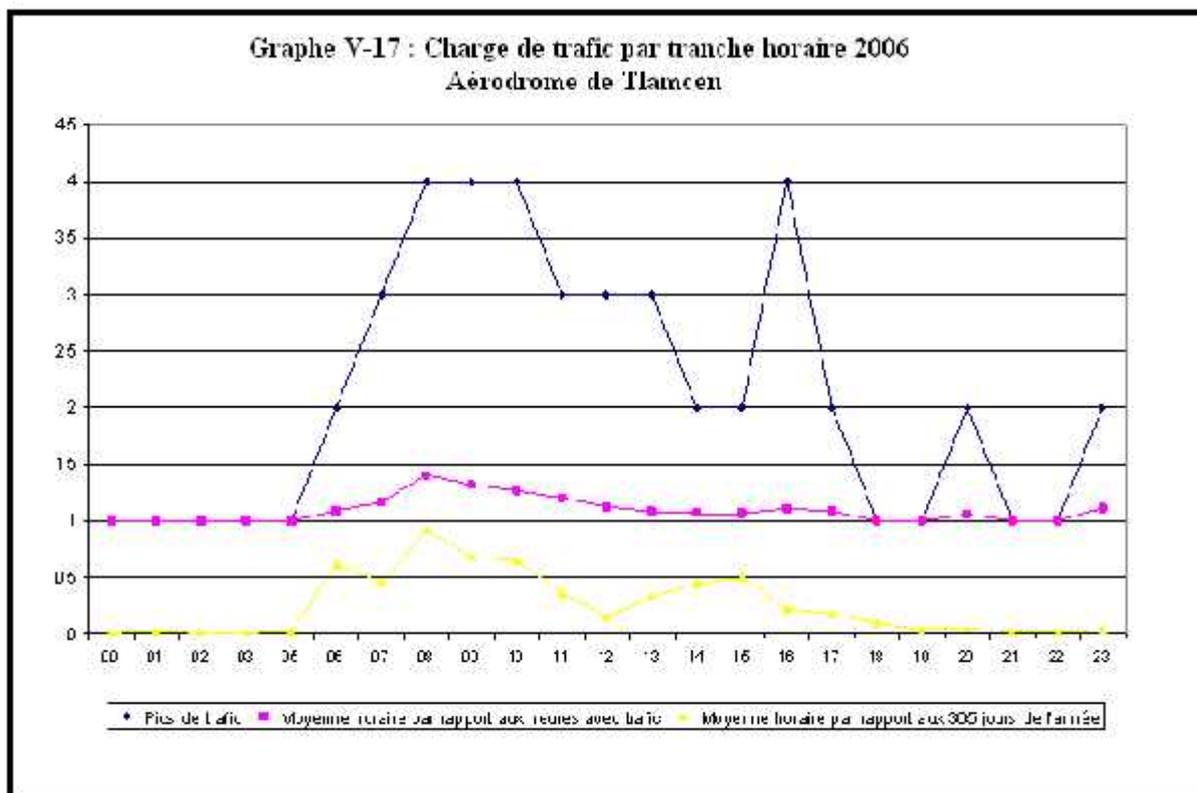












Remarque :

Moyenne horaire par rapport aux heures avec trafic = nombre de mouvements enregistrés durant l'heure considérée/nombre de jours où il y'a eu trafic dans cette heure

Moyenne horaire par rapport aux 365 jours de l'année = nombre de mouvements enregistrés durant l'heure considérée/365

Tableau V-5 : Evolution du trafic par aéroport de 2001 à 2006

	2001	2002	VAR EN% 02/01	2003	VAR EN% 03/02	2004	VAR EN% 04/03	2005	VAR EN% 05/04	2006	VAR EN% 06/05
Mouvements commerciaux	144 960	140 833	-2,8	94 344	-33	91 852	-2,6	89 473	-2,6	89 196	-0,3
<i>Nationaux</i>	<i>116 609</i>	<i>109 315</i>	<i>-6,3</i>	<i>62 837</i>	<i>-42,5</i>	<i>58 531</i>	<i>-6,9</i>	<i>55 526</i>	<i>-5,1</i>	<i>52 816</i>	<i>-4,9</i>
<i>Internationaux</i>	<i>28 351</i>	<i>31 518</i>	<i>11,2</i>	<i>31 507</i>	<i>0</i>	<i>33 321</i>	<i>5,8</i>	<i>33 947</i>	<i>1,9</i>	<i>36 380</i>	<i>7,2</i>
Mouvements non commerciaux	47 635	55 624	16,8	55 894	0,5	62 546	11,9	58 264	-6,8	58 720	0,8
Total	192 595	196 457	2,0	150 238	-23,5	154 398	2,8	147 737	-4,3	147 916	0,1

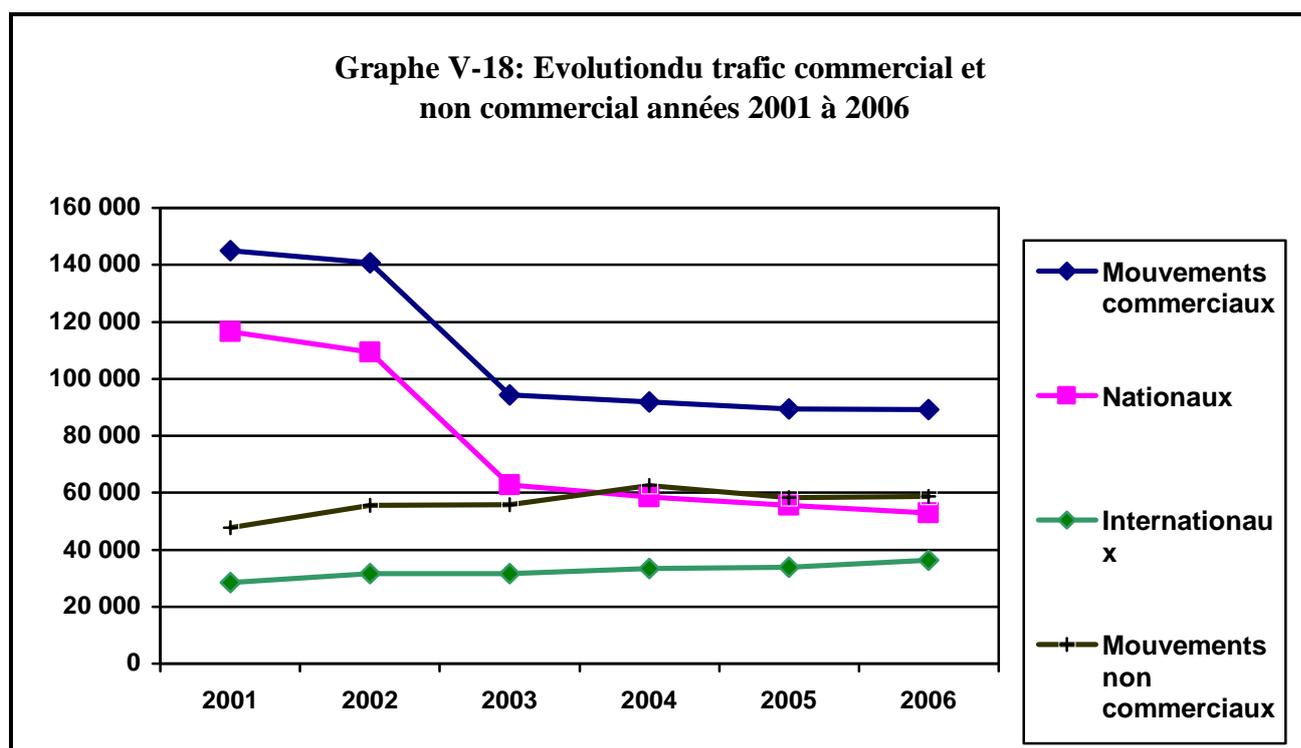


Tableau V-6 Evolution mensuelle de trafic par aéroport 2006

ALGER	4185	3614	4034	4223	4179	4188	4642	4498	3969	3949	4119	4407	50 007
H-MESSAOUD	1821	1677	1889	1764	2054	1908	1948	2029	1848	2018	2108	1926	22 990
ORAN	857	753	848	938	931	972	1132	1129	1003	854	901	979	11 297
CONSTANTINE	1016	876	1271	990	808	826	968	891	897	852	791	858	11 044
ANNABA	472	396	435	529	525	437	549	502	472	436	415	464	5 632
BATNA	319	110	211	211	500	537	673	228	572	162	213	294	4 030
IN-AMENAS	344	273	333	324	380	309	325	313	337	346	362	381	4 027
H-R'MEL	286	267	276	260	297	322	282	303	270	269	350	314	3 496
ADRAR	266	224	284	282	294	174	170	188	168	222	298	227	2 797
OUARGLA	240	186	239	332	240	244	224	206	190	209	244	234	2 788
BEJAIA	254	210	281	236	258	287	374	378	342	16	87	12	2 735
TAMANRASSET	186	189	250	234	182	198	262	216	208	254	266	249	2 694
GHARDAIA	230	214	220	208	214	154	236	190	182	195	189	246	2 478
TLEMCEEN	175	134	168	152	192	196	266	268	210	148	236	164	2 309
TINDOUF	162	198	166	189	130	194	190	218	180	124	130	188	2 069
SETIF	96	79	86	112	122	156	176	158	152	300	279	281	1 997
BECHAR	166	155	172	176	170	150	165	184	156	117	52	156	1 819
EL-GOLEA	122	90	148	172	101	109	188	186	194	141	118	172	1 741
JIJEL	120	98	156	114	126	126	172	172	160	179	118	114	1 655
BISKRA	141	138	204	144	213	182	190	208	76	0	0	0	1 496
DJANET	156	118	148	124	102	84	68	96	78	104	116	118	1 312
Reste des aéroports	166	155	172	176	170	150	165	184	156	117	52	156	1 819
TOTAL	12171	10633	12338	12335	12659	12228	14195	13409	12274	11421	11977	12276	147916

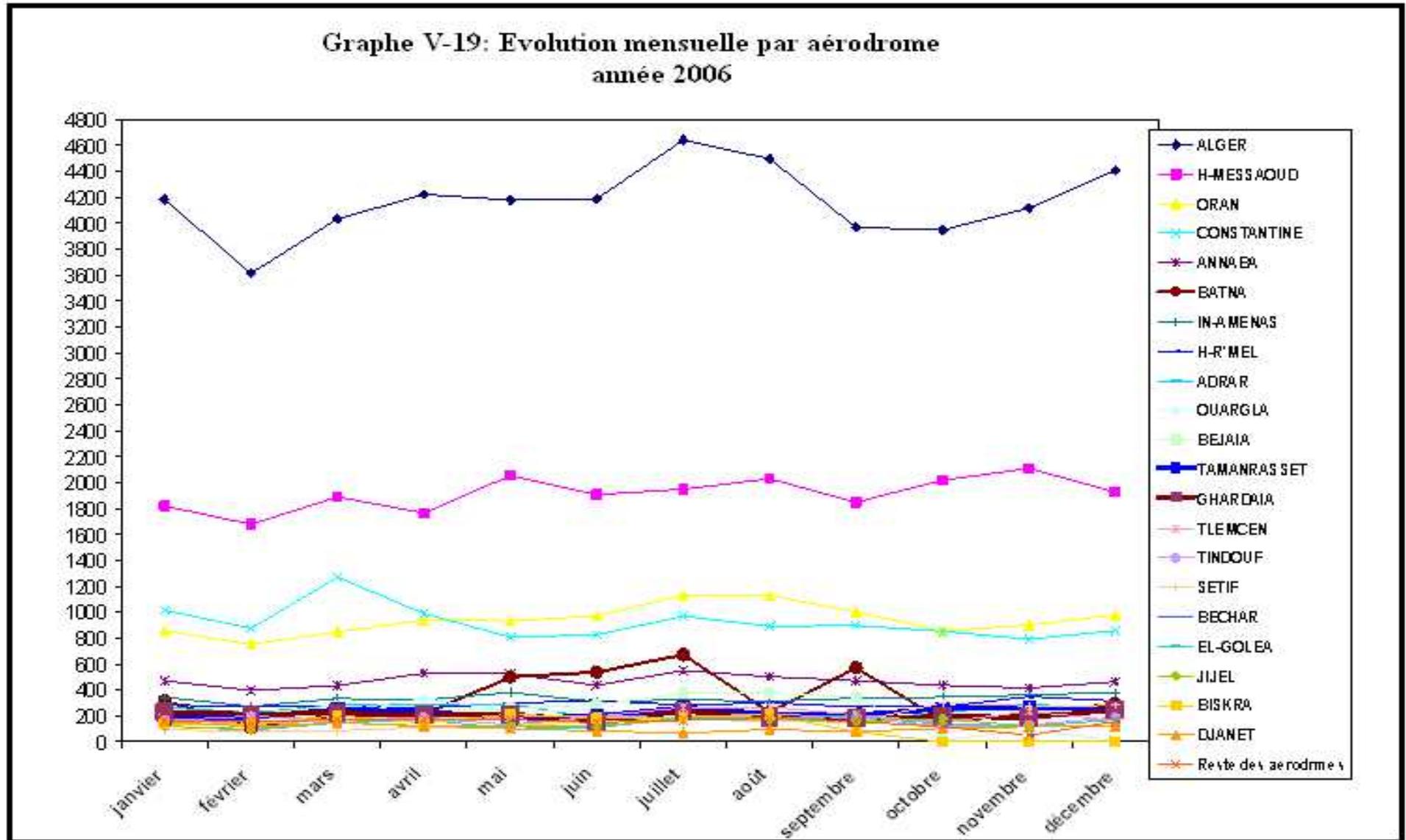
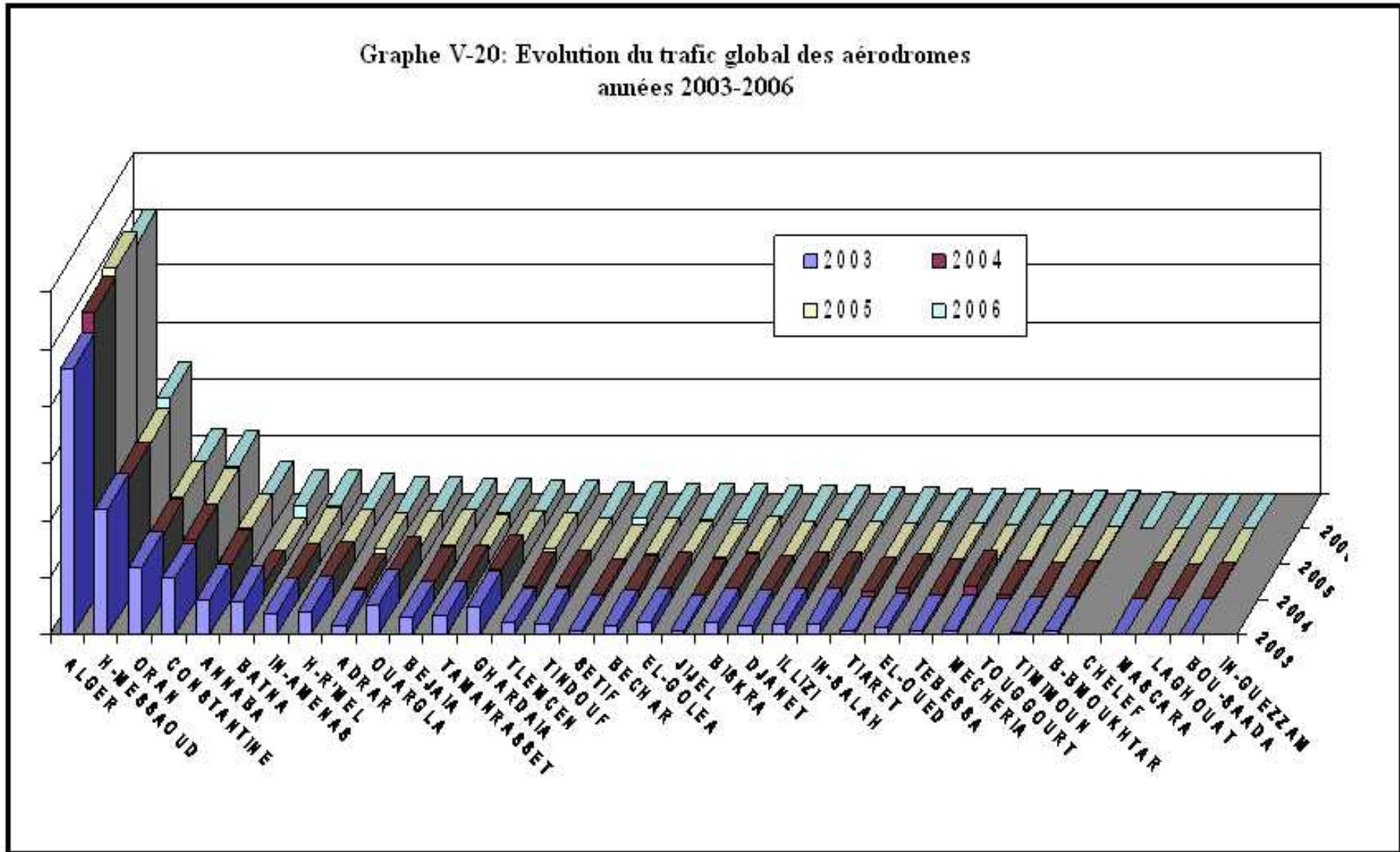


Tableau V-7 : Evolution du trafic global des aérodrômes années 2003-2006

	AERODROMES	2003	2004	2005	2006	VAR EN % 04/03	VAR EN % 05/04	VAR EN % 06/05
1	ALGER	46 663	50 252	51 886	50 007	7,7	3,3	-3,6
2	H-MESSAOUD	22 008	21 236	21 108	22 990	-3,5	-0,6	8,9
3	ORAN	11 951	11 448	11 835	11 297	-4,2	3,4	-4,5
4	CONSTANTINE	9 899	10 529	10 658	11 044	6,4	1,2	3,6
5	ANNABA	6 206	6 013	6 222	5 632	-3,1	3,5	-9,5
6	BATNA	5 892	2 486	2 059	4 030	-57,8	-17,2	95,7
7	IN-AMENAS	3 841	3 525	3 705	4 027	-8,2	5,1	8,7
8	H-R'MEL	4 011	4 063	3 558	3 496	1,3	-12,4	-1,7
9	ADRAR	1 643	1 950	2 700	2 797	18,7	38,5	3,6
10	OUARGLA	5 343	4 772	3 022	2 788	-10,7	-36,7	-7,7
11	BEJAIA	3 265	3 008	3 293	2 735	-7,9	9,5	-16,9
12	TAMANRASSET	3 296	3 368	2 575	2 694	2,2	-23,5	4,6
13	GHARDAIA	4 925	5 213	3 210	2 478	5,8	-38,4	-22,8
14	TLEMCCEN	2 167	2 253	2 686	2 309	4,0	19,2	-14,0
15	TINDOUF	1 964	2 346	2 051	2 069	19,5	-12,6	0,9
16	SETIF	686	914	808	1 997	33,2	-11,6	147,2
17	BECHAR	1 617	1 538	1 966	1 819	-4,9	27,8	-7,5
18	EL-GOLEA	2 148	2 036	1 452	1 741	-5,2	-28,7	19,9
19	JIJEL	775	918	1 144	1 655	18,5	24,6	44,7
20	BISKRA	2 087	1 969	2 082	1 496	-5,7	5,7	-28,1
21	DJANET	1 618	1 616	1 342	1 312	-0,1	-17,0	-2,2
22	ILLIZI	2 004	2 008	1 641	1 286	0,2	-18,3	-21,6
23	IN-SALAH	2 008	2 163	1 241	1 044	7,7	-42,6	-15,9
24	TIARET	676	1 334	896	1 036	97,3	-32,8	15,6
25	EL-OUED	1 228	1 885	1 219	888	53,5	-35,3	-27,2
26	TEBESSA	792	880	942	804	11,1	7,0	-14,6
27	MECHERIA	751	2 469	602	766	228,8	-75,6	27,2
28	TOUGGOURT	174	698	700	636	301,1	0,3	-9,1

29	TIMIMOUN	428	323	352	447	-24,5	9,0	27,0
30	B-B-MOUKHTAR	666	556	364	396	-16,5	-34,5	8,8
31	CHELEF				133			
32	MASCARA	106	300	260	43	183,0	-13,3	-83,5
33	LAGHOUAT	147	20	42	18	-86,4	110,0	-57,1
34	BOU-SAADA	255	309	116	6	21,2	-62,5	-94,8
35	IN-GUEZZAM	PAS DE TRAFIC						
	TOTAL	151240	154398	147 737	147 916	2,1	-4,3	0,1

Graphe V-20: Evolution du trafic global des aéroports années 2003-2006



Analyse :

Le nombre de mouvements (arrivées + départs) enregistrés durant l'exercice 2006, pour l'ensemble des aérodromes ouverts à la CAP s'est élevé

147 916, soit une faible augmentation de 0,1% par rapport à 2005.

Le trafic aérodrome se répartit en deux (02) types de trafic : trafic commercial et non commercial et voici les résultats qui ont été enregistrés pendant l'exercice 2006

a- Trafic commercial :

Le trafic commercial en 2006 s'élève à 89 196 mouvements répartis entre 52 816 mouvements nationaux et 36 380 mouvements internationaux représentant respectivement des parts de 59,2% et 40,8%.

Une baisse du trafic commercial national a affecté presque tous les aérodromes nationaux et internationaux, soit -4,9%.

Par nature, la part du trafic régulier est de loin la plus importante, soit 89,5%, suivi par le trafic non régulier avec 9,7 %.

Le trafic commercial international durant l'exercice 2006 a progressé de 7,2% par rapport à 2005.

b- Trafic non commercial :

Le trafic non commercial en 2006, totalise 58720 mouvements, se répartissant en 39731 mouvements pour les aérodromes internationaux et 19581 mouvements pour les aérodromes nationaux.

Les mouvements non commerciaux répartis entre trafic aérodrome national et international représentent respectivement 51936 et 6794 mouvements, soit respectivement une part 88,4% et 11,6%.

Par nature de trafic, les mouvements « travail taxi aérien » représentent 40,8% du total trafic non commercial, suivi par le trafic « officiel », les « vols locaux » et le « privé » avec respectivement 28,8%, 14,8% et 12,6% .

V-6- Interface Algérie ASECNA :**V-6- 1- L'agence pour la sécurité de la navigation aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA) :**

en charge d'un espace aérien de 16.100.000 Km² soit une fois et demi (1,5) la superficie de l'Europe ,elle est composé de 14 états de l'Afrique de l'Ouest centrale ,Bénin , Burkina-Faso , Cameroun, Centrafrique ,Congo ,Cote d'Ivoire ,Gabon ,Guinée Equatoriale ,Niger ,Sénégal ,Tchad ,Togo ainsi que Madagascar .

Cette agence crée en 1959, basée à Dakar, capitale du Sénégal, a pour mission d'assurer la sécurité de la navigation aérienne sur la totalité de l'espace aérien des états membres suivant les plans régionaux établis par l'OACI.

L'importance de l'ASECNA est caractérisée par son vaste champ d'action qui est la supervision de 10 centres de contrôle régionaux, 57 tours de contrôle ,25 aéroports internationaux ,76 nationaux et aussi par sa politique d'autonomie en matière de formation.

En effet l'agence dispose de ses propres écoles de formation, notamment l'école régionale de navigation aérienne et de management, l'école africaine de la météorologie et de l'aviation civile et l'école régionale de sécurité incendie.

Afin d'améliorer la sécurité, l'ASECNA coopère avec différentes organismes internationaux tels que la direction générale de l'aviation civile en France et Eurocontrol et a noué des alliances avec notamment l'Algérie, en 1998 , les pays de l'Océan indien en 2000 et avec son homologue sud africain, l'Air Traffic and navigation Services.

Avec un personnel de 5200 agents répartis sur 18 sites, l'agence tend à se diversifier dans l'assistance en escale et les services aéroportuaires en général par le biais de sa filiale ASECNA-Services qui serait chargé de fournir des prestations aux compagnies aériennes, de participer à la modernisation des infrastructures aéroportuaires (Ingénierie).

Quant au financement de cette agence africaine, il provient des rémunérations des services mis à la disposition des usagers (redevances de survols, etc....).

V-6- 2- Analyse de flux :

Trafic /courant	2000	2001	2002	2003	2004	03/02	04/03	Répart 2003	Répart 2004
Intra-Afrique	199172	224374	225398	236812	232883	5.1%	-1.7%	66.8%	64.7%
Europe-Afrique	82568	80492	78081	64690	89016	8.5%	5.1%	23.9%	24.7%

Tableau de flux Afrique

Le trafic aérien intra-Afrique a augmenté de 5.1% entre 2002/2003 et baissé de -1.7% dans la période de 2003/2004, par contre le trafic aérien Europe-Afrique dont l'Algérie est le point de cheminement entre les deux continents a augmenté de 5.1% entre 2003/2004

V-7-L'apport de CFMU pour l'Algérie :

Le trafic aérien en Algérie est en forte croissance, le taux de croissance élevé pourra mener à une congestion de trafic dans les prochaines années. Selon les prévisions de trafic aérien la resectorisation est une solution qui pourra être envisageable mais qui a des limites (on ne peut pas déviser à l'infini). Donc une bonne gestion de trafic aérien selon les besoins est la meilleure solution pour l'Algérie qui est un point de cheminement trop important entre l'Afrique et l'Europe et même le Moyen-Orient et pourra même être important pour l'Europe avec l'application de l'RVSM en Algérie et le transfert de point de passage en espace RVSM au-dessus de l'espace aérien Algérien ce qui augmentera la charge de travail des contrôleurs et la congestion de trafic ; Et même avec des problèmes des contrôleurs en Europe (grève) .

Le CFMU est un élément trop important dans l'optimisation de la gestion de flux de trafic aérien dont l'Algérie doit profiter de cette solution qui s'avère importante et nécessaire pour une meilleure gestion de l'espace aérien Algérien.

CONCLUSION

Le CFMU avec ces différentes solutions pour les problèmes rencontrés dans le contrôle de trafic aérien en route et olontours des aéroports et même dans les tarmacs des aérodromes constitue un élément essentiel dans l'optimisation de la gestion de trafic.

L'Algérie face à un trafic qui progressé à des taux élevés et un espace aérien contraignant peut profiter de cette solution pour une bonne gestion de l'ATC dans ces différentes phases.

Glossaire

A

ACC	: Area Control Centre
ADR	: Route à Service Consultatif
ADRS	: Route Supérieur à Service Consultatif
ADS	: Automatic Depending Surveillance
AIP	: Aeronautical Information Publication
ATC	: Air Traffic Control
ATFM	: Air Traffic Flow Management
ATS	: Air Traffic Service
ASECNA à Madagascar	: L'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et
AWY	: Les Vois Aériennes

B

C

CAP	: Circulation Aérien Publique
CCR	: Centre de Control Régional
CFMU	: Centre flow Management Unite
CNS	: Commuinacation Navigation Surveillance
CP-DLC	: Controller pilot Data link
CQRENA	: Centre de Qualification et Recyclage l'ENNA
CTA	: Control Terminal Area
CTR	: Control Terminal Region
CVSM	: Conventionnel Vertical Sérparation Mininmal

D

DATALINK	: liaisons des données
DME	: Distance Measuring Equipement

E

ENAC	: Ecole Nationale de l'Aviation Civile à TOULOUSE
ENNA	: Etablissement National de la Navigation Aérienne
EUROCONTROL	: Organisation Européenne pour la Sécurité de la Navigation Aérienne

F

FIR	: Flight Information Region
FL	: Flight Level

G

H

HF	: Haute Fréquence
HMI	: Homme Machine Interface

I

IFR	: Instrument Flight Rules
-----	---------------------------

J

K

L

M

N

O

OACI

: Organisation Internationale de l'Aviation Civile

P

Q

R

RNAV

: Navigation de Surface Radio Alignement

RVSM

: Reduced Vertical Separation Minimum

S

SSR

: Secondary Surveillance Radar

T

TMA

: Terminal Control AREA

U

UTA

: Upper Control Region

UIR

: Upper Information Region

V

VFR

: Visual flight rules

VHF

: Very High Frequency

W

X

Y

Z

SOMMAIRE

INTRODUCTION

CHAPITRE I : Présentation de l'Entreprise

But de travail	01
I-1- Présentation de l'ENNA :	02
I-2- Les missions de l'ENNA :	03
I-3- L'organisation de L'ENNA :	04

CHAPITRE II : Organisation de l'espace aérien

II-1- Introduction :	07
II-2- Division de l'espace aérien :	07
II-2-1- Espace aérien contrôlé :	07
II-2-2- Espace aérien non contrôlé :	09
II-2-3- Zones a statut particulier :	10
II-2-4- Division verticale de l'espace aérien :	13
II-3- Sectorisation de l'espace aérien :	15
II-3-1- Pourquoi une nouvelle sectorisation ?	15
II-3-2- Problème de sectorisation de l'espace aérien :	16
II-3-3- L'importance de la sectorisation pour résoudre le problème de congestion de trafic :	17
II-4- Routes aériennes :	18
II-4-1- Généralités :	18
II-4-2- Différents types des routes :	19
II-4-3 L'importance de l'acheminement des réseaux de routes dans la résolution de problème de cogestion de trafic :	20

CHAPITRE III : Le contexte de la gestion du flux du trafic aérien

III-1- Présentation du système ATFM existant :	21
III-1-1- Généralités :	21
III-1-2- Caractéristiques du système:	22
III-1-3- La conception actuelle :	24
III-1-4- Un système saturé :	25

III-2- Les évolutions possibles :	26
III-2-1- Les changements conceptuels :	26
III-2-2- L'automatisation dans l'avion :	27
III-2-3- L'automatisation des systèmes de contrôle aérien :	29
III-2-4- Conclusion sur les évolutions du trafic aérien :	30
III-3- Choix du contexte et des critères d'optimisation de la gestion de trafic aérien :	31
III-3-1- Une question de contexte :	31
III-3-2- ...et aussi une question de critères :	35

CHAPITRE IV : Cellule européenne de régulation du flux du trafic aérien

IV-1- CFMU :	36
Introduction :	36
IV-1-1-EUROCONTROL ou Organisation Européenne pour la Sécurité de la Navigation Aérienne :	37
IV-1-2-Simulation du trafic :	40
IV-1-3-Estimation des temps de roulage :	42
IV-1-4- Respect des créneaux CFMU :	45
IV-2- Analyse des flux origine- destination en Europe :	47
IV-2-1- Introduction :	47
IV-2-2- Définition des flux origine- destination :	47
IV-2-3- Analyse des flux origine- destination en Europe :	49
IV-2-4- Conséquences sur la problématique :	58
IV-2-5- Le but de cette analyse :	60

CHAPITRE V : Espace aérien algérien

V-1- Introduction :	61
V-2- Définitions :	61
V-3- Organisation de l'espace aérien algérien :	62
V-3-1- Généralités :	62
V-3-2- Division de l'espace aérien Algérien :	62
V-3-3- CTA :	64
V-4- Classification des aérodromes :	66
V-5- Synthèse :	67
V-5-1- Trafic route :	67
V-5-2- Prévision de trafic aérien en route :	70

V-5-3- Evolution de trafic aérien par secteur :	71
V-5-4-Trafic aéroport :	74
V-6- Interface Algérie ASECNA :	88
V-6-1- L'agence pour la sécurité de la navigation aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA) :	88
V-6- 2- Analyse de flux :	89
V-7-L'apport de CFMU pour l'Algérie :	89

CONCLUSION

GLOSSAIRE

BIBLIOGRAPHIE

Glossaire

A

ACC	: Area Control Centre
ADR	: Route à Service Consultatif
ADRS	: Route Supérieur à Service Consultatif
ADS	: Automatic Depending Surveillance
AIP	: Aeronautical Information Publication
ATC	: Air Traffic Control
ATFM	: Air Traffic Flow Management
ATS	: Air Traffic Service
ASECNA à Madagascar	: L'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et
AWY	: Les Vois Aériennes

B

C

CAP	: Circulation Aérien Publique
CCR	: Centre de Control Régional
CFMU	: Centre flow Management Unite
CNS	: Commuinacation Navigation Surveillance
CP-DLC	: Controller pilot Data link
CQRENA	: Centre de Qualification et Recyclage l'ENNA
CTA	: Control Terminal Area
CTR	: Control Terminal Region
CVSM	: Conventionnel Vertical Séparation Minimal

D

DATALINK	: liaisons des données
DME	: Distance Measuring Equipement

E

ENAC	: Ecole Nationale de l'Aviation Civile à TOULOUSE
ENNA	: Etablissement National de la Navigation Aérienne
EUROCONTROL	: Organisation Européenne pour la Sécurité de la Navigation Aérienne

F

FIR	: Flight Information Region
FL	: Flight Level

G

H

HF	: Haute Fréquence
HMI	: Homme Machine Interface

I

IFR	: Instrument Flight Rules
-----	---------------------------

J

K

L

M

N

O

OACI : Organisation Internationale de l'Aviation Civile

P

Q

R

RNAV : Navigation de Surface Radio Alignement

RVSM : Reduced Vertical Separation Minimum

S

SSR : Secondary Surveillance Radar

T

TMA : Terminal Control AREA

U

UTA : Upper Control Region

UIR : Upper Information Region

V

VFR : Visual flight rules

VHF : Very Hight Frequency

W

X

Y

Z

BIBLIOGRAPHIE

- ♣ Doc : «Respect des créneaux CFMU par le contrôle au sol» par [Jean-Baptiste Gotteland].
- ♣ Thèse doctorat : «OPTIMISATION DES FLUX DE TRAFIC AÉRIEN» par [David GIANAZZA].
- ♣ Thèse doctorat : «Sectorisation contrainte de l'espace aérien» par [TRAN DAC Huy].
- ♣ Les sites :
 - ✓ <http://www.eurocontrol.int/ais>
 - ✓ <http://www.aviation-fr.info>
 - ✓ <http://www.wikipedia.org>