

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA



Faculté des sciences de l'ingénieur  
Département d'Aéronautique



Mémoire de projet de fin des études en vue de l'obtention  
du diplôme d'ingénieur d'état en aéronautique.

*Option : exploitation aéronautique*

## Thème

**La congestion de l'espace aérien  
et application pour l'Algérie**

Encadré par :

*Dr BenKhedda Amina*

*Melle Drarni Fatima Zohra*

Présenté par :

*Rabah Hzila Khaled*

*Bazine Kacem*

*Année Universitaire 2008/2009.*

# Remerciement

Il n'est meilleur remerciement que notre reconnaissance à **DIEU** qui nous a donné du courage et de la volonté pour pouvoir accomplir ce modeste travail.

Nous tenons tout d'abord à remercier notre promotrice Dr benkhedda et le Co-promotrice Melle Drarni pour leurs soutiens, leurs conseils nous ont permis de mener à bien ce travail.

Un remercie aussi ;

Mr chniguer et Mr ALILI de ENNA qui nous ont donnés l'aide pour l'obtenir l'accès au stage pratique

Nous désirons remercier vivement les membres de jury, sans oublier tout le corps professoral de l'institut d'aéronautique de Blida.

Nos sentiments de profonde gratitude vont à nos professeurs qui tout au long des trois années d'étude nous ont transmis leur savoir sans réserve.

Nos remerciements vont aussi à tout ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration du présent travail.

En fin, merci à tout nos proches, famille et copains qui ont également participé à leur manière à la réalisation de ce mémoire.

# Sommaire

Résumé

Liste des illustrations, figures et tableaux

Introduction général.....	06
1. Généralités sur la gestion de trafic aérien .....	08
1.1. Introduction.....	09
1.2. Gestion de l'espace aérien.....	09
1.2.1. Division et classification de l'espace aérien.....	09
1.3. Subdivision des services de la circulation aérienne .....	10
1.3.1. Service d'alerte .....	11
1.3.2. Le service d'information de vol .....	11
1.3.3. Le service de contrôle .....	11
1.3.4. Les type de contrôle .....	14
1.3.5. Gestion des flux de trafic aérien .....	14
2. La congestion aérienne .....	16
2.1. Introduction .....	17
2.2. Problématique .....	17
2.2.1. La congestion récurrente .....	17
2.2.2. La congestion non récurrente .....	17
2.2.3. La congestion inconnue .....	18
2.3. La notion de capacité .....	18
2.3.1. La capacité d'un aéroport .....	18
2.3.2. La capacité du secteur de contrôle .....	19
2.3.3. La charge de travail des contrôleurs .....	19
2.4. Les causes de la congestion aérienne .....	20
2.4.1. L'organisation du contrôle aérien .....	20
2.4.2. Les limitations de capacité de contrôle .....	21

2.4.3. La gestion de l'espace aérien .....	21
2.4.4. La capacité limitée des infrastructures .....	21
2.4.5. Des problèmes de coordination .....	22
2.4.6. La nature et la répartition du trafic .....	22
2.4.7. Les comportements des compagnies aériennes .....	22
2.4.8. L'accroissement du trafic lié aux hubs .....	23
2.4.9. La capacité des ressources humaines .....	24
2.4.10. L'impact de l'ATFCM .....	25
2.4.11. Limitations du système ATM actuel .....	25
2.4.12. Les fréquences des vols .....	25
2.4.13. La météo .....	26
2.4.14. L'environnement .....	26
2.4.15. L'incertitude de la demande .....	26
2.5. L'impact de la congestion aérienne .....	27
2.5.1. L'effet sur les compagnies aériennes et les passagers .....	27
2.5.2. L'effet environnemental .....	27
2.5.3. D'autres effets potentiels .....	27
3. La décongestion de l'espace aérien .....	28
3.1. Introduction .....	29
3.2. Les solutions envisagées pour la décongestion de l'espace aérien.....	29
3.2.1. Première approche pour la décongestion aérienne (Augmentation de la capacité du système de contrôle) .....	29
3.2.2. Deuxième approche pour la décongestion aérienne Adapter la demande à l'offre par régulation du trafic aérien .....	42
3.3. Conclusion .....	50
4. La congestion de l'espace aérien en Algérie .....	51
4.1. Introduction .....	52
4.2. Situation en FIR Alger .....	52
4.2.1. Présentation des secteurs de contrôle .....	53

4.3. Présentation et modalités de l'enquête .....	55
4.3.1. Le questionnaire .....	55
4.3.2. L'objet des questions .....	55
4.3.3. La diffusion du questionnaire .....	56
4.3.4. L'appréciation par les contrôleurs le phénomène de congestion.....	56
4.4. Proposition pour l'Algérie .....	65
4.4.1. Les Solutions pour l'objectif d'accroître la capacité du système de contrôle .....	66
4.4.2. Les solutions pour réguler le trafic .....	66
4.5. Conclusion .....	67
Conclusion .....	68
Annexe .....	69
Bibliographie .....	73

## **LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAHIQUES ET TABLEAUX**

Figure 1.1. Représentation des classes d'espace aérien .....	10
Figure 1.2. Les services ATC .....	12
Figure 2.1. Réseau point à point versus réseau hub and spokes .....	23
Figure 3.1. Le scénario Level Caping (LC) .....	45
Figure3.2. Schéma fonctionnel des activités ATFCM pré-tactique.....	46
Figure 3.3. Organisation temporelle de l'ATFCM .....	47
Figure 4.1.la carte croisière d'Algérie.....	54
Figure 4.2. Réduction d'espacement par le système RVSM .....	63
Figure 4.3. La sectorisation proposé pour le secteur S.S .....	64
TAB.4.1.Les secteurs aériens .....	53

## **RESUME**

La congestion aérienne est un problème universel qui s'explique par une inadéquation entre l'offre du système de contrôle et la demande du trafic aérien : lorsque le volume du trafic prévu dépasse la capacité déclarée, il subsiste le problème des retards et une pénurie de capacité de l'espace aérien. En effet, un niveau de congestion élevé accroît les risques d'accidents. Pour garantir la sécurité, de nombreuses solutions ont été envisagées, notamment en cherchant à augmenter les capacités disponibles et/ou adapter le trafic à celles-ci. L'une des mesures qui peut être envisagée, en adaptant la demande du trafic prévue aux capacités disponibles, est la régulation des flux de trafic.

Le but de ce travail est l'étude de traitement de congestion dans le monde, et afin que ce travail puisse trouver une utilité auprès d'organismes chargés du contrôle aérien en Algérie, Cette étude sera appuyée par l'implémentation d'une Application sous forme. D'une enquête transmise à l'ensemble des Contrôleurs aériens en route L'intérêt de cette enquête était de connaître le diagnostic fait par les contrôleurs de la situation actuelle,

## **ABSTRACT**

The air congestion is a worldwide problem due to a mismatch between supply in air traffic control system and air traffic demand, when the forecast traffic may exceed air control system capacities there remains the problem of delays and a shortage of airspace capacity. Indeed, a high level of congestion increases the risk of accidents.

Thus, to guarantee certain security level, measures should be taken including seeking to increase available capacity and / or adjust the traffic to them. One measure that may be considered, by the adjustment of air traffic demand to the available capacities.

## Introduction générale :

Malgré la crise actuelle, probablement temporaire, le trafic aérien connaît une progression très importante depuis plusieurs décennies. Cette croissance touche particulièrement certains espaces aériens par rapport à d'autres comme l'Europe, l'Amérique ou l'Asie et, l'accroissement continu de la demande du trafic aérien non assortie avec celle des capacités du système de contrôle, a engendré des problèmes de congestion des secteurs aériens. Les contrôleurs exposent leurs difficultés en ces termes : Le trafic est en expansion, mais l'espace n'est pas extensible. Dans le passé une des solutions utilisée est l'augmentation des capacités des secteurs de contrôle par : le recrutement de personnels supplémentaires, les innovations techniques accompagnées de nouvelles méthodes de travail augmentant le rendement des contrôleurs, les restructurations de l'espace aérien. Ces mesures et ces innovations ont permis d'absorber toujours plus de trafic tout en améliorant ou en maintenant un niveau de sécurité élevé. Citons pour illustration de ces évolutions l'introduction du radar, l'automatisation des coordinations inter-centres et inter-secteurs, l'introduction d'interfaces homme-machines de plus en plus évoluées, la définition «d'autoroutes aériennes» et la mise en place des différentes réformes telles les schémas de route RNAV, l'espacement VHF à 8,33 kHz ou encore la réduction de l'espacement vertical RVSM, le redécoupage de l'espace aérien en secteurs plus petit...etc.

Ces solutions ont toutes pour objectif d'accroître la capacité du système de contrôle pour traiter un trafic en constante évolution. Cependant, compte tenu de la croissance exponentielle de la demande du trafic aérien ces dernières années le problème de congestion persiste. Les organismes de gestion de trafic aérien se sont orientés vers une autre approche pour réduire la congestion.

La demande de trafic aérien connaît non seulement de fortes variations saisonnières (périodes des vacances notamment), mais aussi des variations quotidiennes avec des heures de pointe, variables en fonction des secteurs.

De plus le phénomène de congestion se traduit par une concordance espace temps du trafic dans les secteurs, ainsi il est possible de réduire les surcharges en séparant les aéronefs dans l'espace (Allocation de routes Alternatives, contournement des zones congestionnées) et/ou dans le temps (Allocation de créneaux): ce mécanisme de régulation du trafic aérien est appelé ATFCM (Air Traffic Flow and Capacity Management).

Dans notre espace aérien, sur certains secteurs et durant certaines périodes de la journée, apparaissent des pics de trafic assez importants qui appellent à une prise en charge de ce problème de saturation, d'autant plus, que l'analyse statistique et les prévisions de hausse de trafic, nous font constater que d'ici peu ( court ou moyen terme), des problèmes de gestion peuvent se poser et compromettre sérieusement la sécurité des aéronefs, si rien n'est entrepris, pour la maîtrise de la demande de trafic. Cette sécurité des aéronefs restant l'impératif des services de la circulation aérienne et leur raison d'exister.

Il est temps de commencer à prévoir des solutions pour gérer les flux de trafic et les mettre en œuvre afin de pouvoir faire face le moment venu à toutes les situations.



Le mémoire est organisé de la manière suivante, en premier lieu une Introduction générale à l'étude.

Chapitre 1 : Généralité sur la Gestion du trafic aérien ; à savoir les trois grands axes : la gestion de l'espace aérien, la gestion des flux et le contrôle du trafic.

Chapitre 2: La congestion aérienne : ce chapitre traite la problématique de la congestion aérienne et explique la notion de capacité et sa relation étroite avec la congestion. Une description détaillée des causes et des conséquences de manque de capacité sera ainsi donnée.

Chapitre 3 : La décongestion de l'espace aérien, face à un déséquilibre entre "l'offre" du système de contrôle et "la demande" de trafic aérien, plusieurs solutions sont envisagées soit par l'augmentation des capacités des secteurs de contrôle ou par la régulation de trafic aérien.

Chapitre 4: La congestion de l'espace aérien en Algérie ; expose les résultats d'une enquête transmise à l'ensemble des contrôleurs aériens chargés des services dits (*en route*), un premier temps le diagnostic fait par les contrôleurs de la situation actuelle, leur point de vue sur la congestion et les causes qu'ils leur attribuent, ainsi que sur leurs conditions de travail.

Nous terminons par une conclusion: après avoir fait le point sur la solution proposée dans ce mémoire.

# **Chapitre 1 :**

## **Généralités sur la gestion de l'espace aérien**

### **1.1. Introduction :**

Au cours des dernières années, le nombre de vols contrôlés ne cesse de croître dans des proportions très importantes. Même si la crise actuelle a entraîné un ralentissement de cette évolution, les prévisions à long terme montrent que ce ralentissement ne devrait être que provisoire.

Dans ce contexte la gestion du trafic aérien s'est lentement organisée, pour se diviser aujourd'hui en trois grands axes : la gestion de l'espace aérien, la gestion des flux et le contrôle du trafic.

### **1.2. Gestion de l'espace aérien :**

Les aéronefs évoluent dans l'espace aérien suivant deux modes de vols [1] :

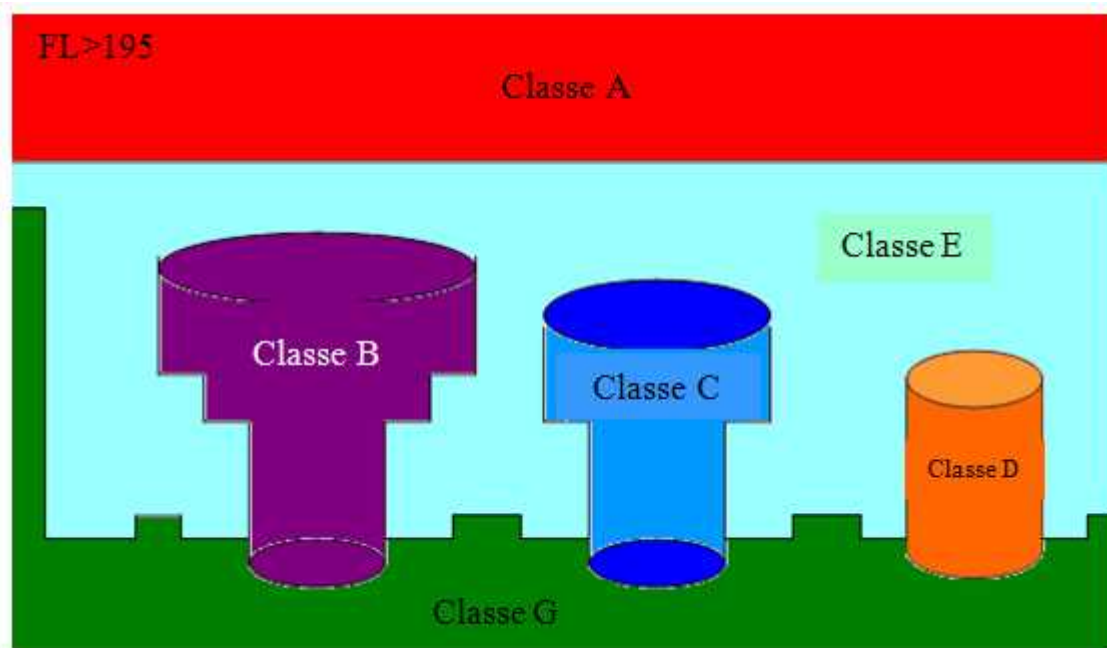
- **Vol VFR (Visual Flight Rules)** : Les aéronefs en régime de vol VFR doivent assurer eux mêmes leur séparation les uns par rapport aux autres par des moyens visuels. Ils doivent être équipés d'un moyen de radiocommunication pour entrer dans la plupart des zones entourant les aéroports.
  
- **Vol IFR (Instrument Flight Rules)** : Les aéronefs en régime de vol IFR doivent être équipés d'instruments et d'appareils de radionavigation et de vol sans visibilité extérieure appropriés à la route à suivre. Ils doivent également déposer un plan de vol et doivent obtenir une autorisation de décollage ou de survol.

#### **1.2.1. Division et classification de l'espace aérien :**

Pour assurer la sécurité aux aéronefs et adapter l'espace aérien aux besoins de ces différents utilisateurs, cet espace a été divisé en six catégories nommées "classes". Dans chaque classe on trouve des vols contrôlés et d'autres non contrôlés. L'expression "vol contrôlé" veut dire qu'il peut

bénéficier de la séparation par rapport à d'autres vols non contrôlés, ou de l'information de trafic par rapport aux autres vols non contrôlés.

Voici une image qui nous permet de mieux comprendre les différentes classes



**Figure 1.1. représentation des classes d'espace aérien.**

**Classe A :** réservé aux vols IFR (VFR interdit) au dessus du niveau de vol 195 et se situe au dessus des aéroports denses et très importants. Les services rendus sont séparation **IFR / IFR**, l'information de vol et d'alerte.

**Classe B, C, D :** les vols IFR et VFR sont autorisés, autour des aéroports importants tels que B est plus important que C et C plus important que D, les services rendus sont les séparations, l'information de vol et d'alerte, en plus de l'information de trafic dont bénéficient Les classe C et D.

**Classe E :** les vols IFR et VFR sont autorisés, il s'agit de l'espace contrôlé situé en dessous du niveau 195 et loin des aéroports. Dans ces espaces les vols ne sont pas tous connus. Les services rendus sont les séparations, l'information de trafic et l'alerte et dans la mesure du possible l'information de trafic.

**Classe F et G :** ces espaces sont non contrôlé donc ils ne sont soumis à aucune clairance mais le contact radio est obligatoire pour les vols IFR et non pour les VFR. Tous les aéronefs bénéficient du service d'information de vol sur demande

### **1.3. Subdivision des services de la circulation aérienne :**

Conformément au paragraphe 2.3 de l'annexe 11 à la convention relative à l'aviation civile internationale ; les services de la circulation aérienne sont subdivisés en trois : le service de contrôle, le service d'information de vol, et le service d'alerte.

Commençons par détailler le service commun à tous les types d'espace, à savoir le service d'alerte.

#### **1.3.1. Service d'alerte :**

Sa mission principale est de déclencher l'alerte auprès des organismes de recherche et de sauvetage auprès des Centres de Coordination de Sauvetage (RCC pour *Rescue Coordination Center*) lorsque les aéronefs ont besoin d'aide (aéronefs ne s'étant pas reporté dans les délais réglementaires ou ayant envoyé un message ou signal d'urgence ou de détresse). Les Centres de Coordination de Sauvetage (RCC) déterminent les moyens à mettre en œuvre et organisent les opérations de recherche et de sauvetage dites opérations recherche et sauvetage (SAR : *Search And Rescue*).

Tous les services ATC sont tenus d'assurer le service d'alerte.

#### **1.3.2. Le service d'information de vol (FIS : Flight Information Service) :**

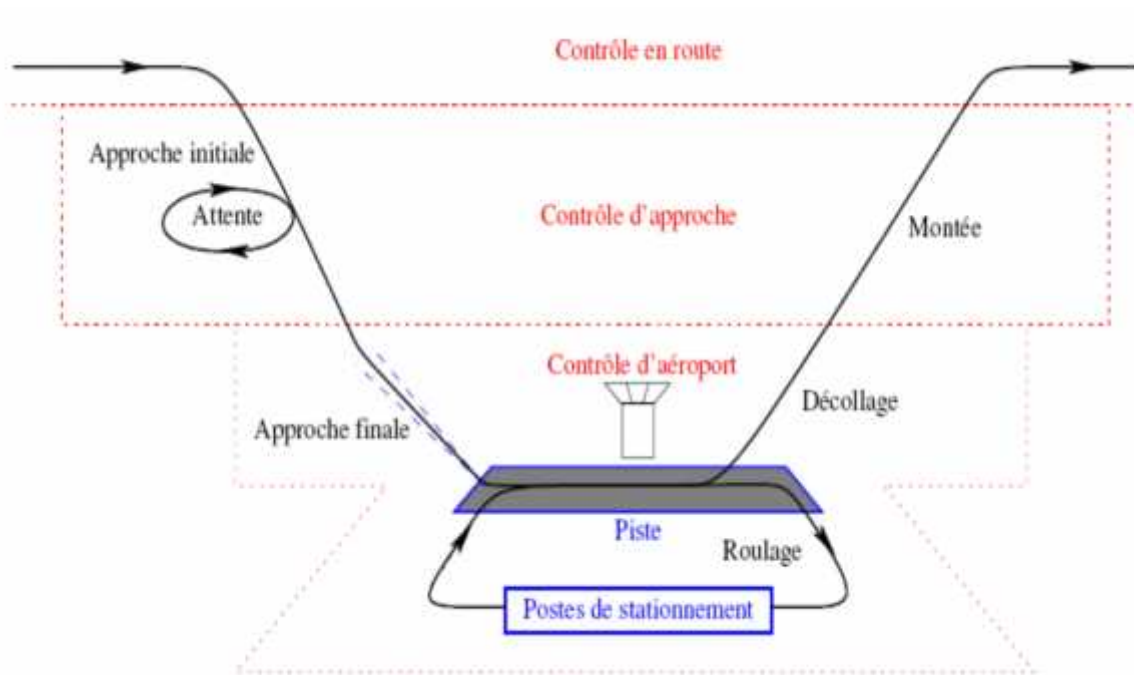
Le rôle de ce service est de délivrer toute information utile à l'exécution sûre et efficace des vols. Il permet de disposer durant le vol de renseignements concernant les conditions météorologiques sur le parcours, l'état des aérodromes et des installations radioélectriques, la présence éventuelle, si elle est connue par l'organisme, d'un aéronef dont la trajectoire pourrait interférer avec celle d'un autre appareil. L'information de vol peut aller jusqu'à la transmission de suggestions des manœuvres pour empêcher les collisions.

Le service d'alerte et le service d'information de vol sont fournis pour tous les aéronefs se trouvant à l'intérieur d'une région d'information de vol FIR.

#### **1.3.3. Le service de contrôle (ATC : Air Traffic Control) :**

L'Objectif général du service de contrôle est d'empêcher les abordages aériens entre les aéronefs, d'accélérer et de régulariser la circulation aérienne et d'empêcher les collisions sur l'aire de manœuvre entre les aéronefs qui évoluent au sol et les obstacles (grue, véhicule, etc. ...).

En fonction de la phase du vol, le service ATC a été subdivisé en trois parties : le contrôle d'aérodrome (décollage/atterrissage), le contrôle d'approche (en évolution), et le contrôle en route (évolution/croisière).



**Figure 1.2. Les services ATC.**

### **a) Le contrôle d'aérodrome :**

Fournit le contrôle sur les aérodromes et leurs abords immédiats ainsi que le contrôle de la circulation des aéronefs et des véhicules au sol afin d'éviter les collisions. Il est assuré à partir de la tour de contrôle TWR.

### **b) Le contrôle d'approche :**

Également fourni au voisinage des aérodromes. Le travail des contrôleurs aériens consiste à ramener les aéronefs entrants de leur point d'entrée dans la zone d'approche jusqu'à la piste ou la limite avec le contrôle tour de contrôle, et à guider les aéronefs au décollage, depuis leur transfert par la tour de contrôle jusqu'à leur point de sortie de la zone d'approche, tout en respectant les cadences d'utilisation des pistes.

### **c) Le contrôle en route :**

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

Après décollage et pendant son évolution, le passage de l'aéronef d'un organisme à un autre obéit à des règles de coordination et de transfert bien définies.

Le contrôleur recevra la coordination relative à un vol, par message ou par téléphone, entre dix à vingt minutes avant que ce vol n'arrive dans son secteur.

Chaque secteur est pris en charge par deux contrôleurs :

a) Le contrôleur « exécutif » :

Il est responsable d'assurer la séparation entre aéronefs (aussi bien dans le plan horizontal que vertical), les communications vocales avec les commandants de bords, ainsi que la résolution de conflits.

Si la séparation entre deux aéronefs n'est pas respectée, une alarme dite "filet de sauvegarde" va être déclenchée pour attirer l'attention du contrôleur.

Pour accomplir les fonctions de contrôle, le contrôleur dispose d'un téléphone, d'une image radar, des bandes de progressions en papier qui lui servent d'aide-mémoire qu'on appelle strips, sur lesquelles on retrouve l'indicatif de l'aéronef, le code transpondeur, la vitesse, niveau de vol demandé, la route, les temps de passages des balises suivantes, les autorisations données etc.

Les strips sont classés de différentes manières et triés par couleurs. Chaque couleur a une signification, par exemple les rouges représentent les départs, les verts les arrivées, les bleus les transitaires du nord vers le sud, les jaunes les transitaires du sud vers le nord. En cas de conflit ils sont posés côte à côte jusqu'à ce qu'il soit résolu.

Les strips papier étaient jusqu'à une date récente confectionnés manuellement ; mais depuis avènement de l'automatisation, les imprimantes prennent en charge cette tâche au niveau de chaque secteur.

b) Le contrôleur assistant :

Il est responsable de la coordination des vols avec les organismes ATC des secteurs de contrôle adjacents et des aérodromes situés dans son secteur.

Le processus de coordination s'effectue en trois phases :

- annonce du vol et des conditions proposées pour le transfert de contrôle.
- négociation des conditions de transfert de contrôle et acceptation ;
- transfert de contrôle à l'organisme ATC accepteur.

La coordination est une tâche très importante dans le contrôle de la circulation aérienne. Les procédures de coordinations sont codifiées par l'OACI et font l'objet de lettres d'accords entre les organismes de la circulation aérienne.

### **1.3.4. les types de contrôle:**

On distingue deux types de contrôle:

### **a. Le contrôle radar :**

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

### **b. contrôle aux procédures (classique) :**

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

### **1.3.5. Gestion des flux de trafic aérien (ATFM) :**

Les aéronefs peuvent librement déposer leurs plans de vol et choisir leurs itinéraires. Que se passe-t-il si tous les avions veulent passer au même endroit au même moment ? En effet, la capacité de contrôle est limitée : à travers un même secteur on ne peut faire passer qu'un certain nombre d'avions par heure. Si plus d'avions veulent passer, et que rien n'est fait, alors le risque de collision augmente fortement. Le contrôleur n'est plus à même de gérer tous les avions et de garantir qu'il n'y aura pas d'accident. Il faut trouver des méthodes qui vont nous assurer que jamais une telle situation ne se produira. On appelle cela la gestion des flux (Air Traffic Flow Management ou ATFM).

L'option généralement choisie aujourd'hui est de modifier l'heure de décollage de certains vols. On impose donc aux avions de décoller à une heure donnée. Il est obligatoire de respecter l'heure imposée. On parle de créneaux de décollage car une tolérance de 5 minutes avant l'heure et de 10 minutes après l'heure est admise. L'avion a donc une plage d'un quart d'heure durant laquelle il peut décoller. Si un avion manque son créneau il ne peut décoller avant d'en avoir obtenu un autre.

La gestion du trafic aérien, sur une région fortement morcelée comme l'Europe, prend une dimension supranationale. On ne peut concevoir de gérer les flux d'avions à l'échelle de pays de la taille des Etats européens. La gestion des arrivées sur une grande plate-forme comme Paris-CDG nécessite des mesures qui s'appliquent dès la Belgique. L'agence EUROCONTROL a pour but de servir le développement du trafic aérien en Europe, d'assurer sa sécurité, sa fluidité et de développer

des solutions aux problèmes communs. La CFMU (Central Flow Management Unit) est l'organe d'EUROCONTROL en charge de fournir les services ATFM (Air Traffic Flow Management).

Elle attribue les créneaux aux avions pendant les périodes de fort trafic. Elle donne ainsi la valeur des retards et elle indique quels secteurs en sont la cause.



## **Chapitre 2 :**

### **La congestion de l'espace aérien**

#### **2.1. Introduction :**

Le secteur du transport aérien est depuis sa création en constante croissance, cette croissance touche particulièrement certains espaces aériens par rapport à d'autres comme l'Europe, l'Amérique ou l'Asie et cela conduit à d'énormes problèmes de congestion qui mènent les services de contrôle à leur limite de capacité, voir la surcharge et la saturation.

#### **2.2. Problématique :**

Chaque système de contrôle a une capacité en termes de nombre d'aéronefs par heure. Quand la demande dépasse l'offre, on ne peut pas accepter tout les vols en même temps sous peine d'avoir un dépassement de capacité du secteur aérien.

Donc La congestion aérienne est un problème universel, que connaissent particulièrement tous les grands aéroports et les Centres de Contrôle Régionaux, ce qui engendre une dégradation de la qualité de service et un risque accru d'accidents. La congestion aérienne se divise en plusieurs types:

##### **2.2.1. La congestion récurrente :**

La congestion récurrente est une congestion répétitive dans l'espace Et/ou le temps (de la journée, du mois ou de l'année). Elle exprime la notion de récurrence de la demande du transport, et plus précisément le fait que le volume de la circulation aérienne excède l'offre du système ATC pendant des périodes, des jours ou des heures donnés liée aux déplacements dus aux activités habituelles de la société (étude, travail, congés, loisirs, pèlerinage...) ce qui engendre "des heures de pointe". Son traitement nécessite des améliorations opérationnelles et des mesures agissant essentiellement sur la demande [2].

##### **2.2.2. La congestion non récurrente :**

La congestion non récurrente appelé aussi la congestion incidente, est due aux phénomènes aléatoires ou événementiels, et est causée localement par un accident,

la météo, les activités militaires, événements exceptionnels, Événements sportif (coupe du monde de football, Jeux Olympique)...etc. Elle peut se produire à toute heure du jour, mais elle est particulièrement pénalisante Lorsqu'elle s'ajoute à la congestion récurrente. Elle est mieux maîtrisée par des améliorations opérationnelles en temps réel stratégies de la gestion des incidents.

### **2.2.3. la congestion inconnue :**

Lorsque un utilisateur envisage de choisir un chemin ou un horaire de départ qui il n'a jamais expérimenté, ou dont il ne se souvient plus donc il risque de rencontrer ou de produire une congestion [3].

### **2.3. La notion de capacité :**

La notion de capacité permet de quantifier les limites de tout système offrant à des usagers un service partagé, donc la capacité d'un espace est le nombre maximum des vols qui peuvent être contrôlés et qui peuvent entrer dans cette espace en une heure : elle est définie par la demande (la charge) ne devant pas être dépassée pour que le service effectif rendu par le système correspond à l'attente des usagers.

Sa valeur dépend de plusieurs paramètres tels que le type de trafic à écouler (IFR, VFR, en évolution ou stable...), le personnel (nombre d'effectif, qualification...), l'organisation (procédures, les structures de route, sectorisation...), disponibilité et types des moyens techniques (radar, communication, calculateurs, simulateur...), les conditions Météo...etc. IL faut bien noter que le terme capacité ne fait que traduire un flux horaire sans faire référence ni à la répartition de ce flux horaire, ni à la pression ressenti par les contrôleurs pour le faire passer [4].

Suivant les trois phases des vols (aérodrome, approche et route) on distingue deux types de capacités :

### **2.3.1. La capacité d'un aéroport:**

Comme toute portion de l'espace aérien un aéroport admet une capacité : L'ensemble des dispositifs mis à la disposition des compagnies aériennes (installation et système de contrôle) aboutis à un débit maximal d'aéronefs pouvant être traité. Différentes définitions de la capacité d'un aéroport sont cependant distinguées :

#### **a) La capacité théorique :**

La capacité théorique de l'aéroport est le nombre de mouvements que le dispositif aéroportuaire pourrait idéalement écouler durant un temps spécifié sans tenir compte de la qualité de service. Cette capacité correspond donc à un seuil ultime ou de saturation qu'il est en pratique impossible d'atteindre : elle ne peut se calculer que par extrapolation de mesures sur le trafic réel ou par l'intermédiaire de modèles de calcul représentatifs du fonctionnement de l'aéroport [5].

#### **b) La capacité opérationnelle (pratique) :**

Correspond au débit maximal que l'aéroport peut réellement écouler, sans que la qualité de service en soit dégradée au-delà d'un seuil fixé. Ce seuil correspond en pratique à un niveau de sécurité requis (respect des règles de la circulation aérienne) et à un retard moyen ne devant pas être dépassé (3 à 4 minutes par aéronef par exemple). En général, cette capacité peut se déduire directement de l'analyse du trafic réel et de ses retards [5].

#### **c) La capacité de programmation:**

La capacité de programmation est la capacité affichée officiellement : elle est utilisée pour limiter le trafic aéroportuaire en amont, lors de l'attribution des créneaux aux compagnies. La différence entre la capacité de programmation et la capacité opérationnelle correspond à une marge de fonctionnement. Elle est relative aux incertitudes existant sur la demande : cette marge est d'autant plus importante que la demande finale de trafic dépasse la demande formulée lors de la programmation [5].

### **2.3.2. La capacité du secteur de contrôle :**

Un secteur de contrôle est un domaine limité de l'espace, qui est traversé par des routes aériennes pour le quelle une équipe des contrôleurs assure la sécurité des vols. La capacité d'un centre de contrôle se mesure par son aptitude à écouler le trafic aérien avec une sécurité maximale et dans des conditions optimales de régularité. Plus le nombre d'aéronefs dans un secteur est important, plus la charge du contrôle induit augmente. Il existe une limite au-delà de laquelle le contrôleur en charge du secteur ne peut plus accepter de nouveaux aéronefs. On dit alors que le secteur est saturé.

### **2.3.3. La charge de travail des contrôleurs :**

- Elle peut être considérée comme étant l'ensemble d'efforts mentales et physiques réalisés durant une période de temps suffisant ou insuffisant, tout en décrivant la peine et la frustration ressentie pour atteindre l'objectif et réaliser la tâche associée.
- La charge de travail et la capacité sont liées ; le flux d'aéronefs entrant dans un secteur sur une période de temps donnée est représentatif de la charge de travail du contrôleur.
- Les valeurs seuils que sont les capacités horaires sont censées représenter la limite au-delà de laquelle ; il faudrait prévoir une action pour gérer le trafic (soit le dégroupement, soit la régulation) afin de ne pas dépasser la capacité.
- A noter que pour les contrôleurs le concept de capacité en terme de flux horaire est insuffisant, sur le secteur ce sont les pointes de trafic qui sont perçues plus que le débit moyen par exemple 25 aéronefs/heure sur une courte période génère plus de stress que 55 aéronefs/heure bien réparti.
- La charge maximale de travail que peut supporter un contrôleur est celle qui reste en dessous de son seuil de saturation.
- La saturation peut être définie comme étant l'effet d'une charge mentale surabondante chez l'opérateur humain.
- Il est important de déterminer le seuil de saturation du contrôleur dans un secteur donnée pour pouvoir maintenir la charge de travail dans des proportions gérables garantissant un haut niveau de sécurité.
- Il est évident que tout dépassement du seuil de saturation augmente dans des proportions considérables le risque d'erreur humaine.
- La charge de travail dépend du type de vol et de la structure du secteur ; nous allons citer ci-dessus entre autre quelques facteurs de charge :
  - Nombre de conflits élevés.
  - Complexité des conflits.
  - Trafic évolutif.
  - Trafic mixte.
  - Routes très proches les unes des autres.
  - Existences de zones militaires.
  - Perturbations météorologiques.

- Négociations lors de coordination.
- Nombre d'avions élevé.

## **2.4. Les causes de la congestion aérienne :**

L'une des causes principales de la congestion est liée à la sous-capacité du contrôle aérien, chargé de surveiller les aéronefs en vol. Le concept de sous-capacité met en relation une offre et une demande, et signifie l'inadéquation entre les deux : l'offre est inférieure à la demande. L'offre du contrôle aérien est assurée par des services de la navigation aérienne, et la demande est celle qui émane des aéronefs sollicitant ces services afin de voler en toute sécurité. Une capacité insuffisante met non seulement en cause l'offre mais aussi la demande. A niveau de demande donnée, il est vrai qu'une meilleure organisation de l'offre réduirait la congestion. Ce raisonnement peut être inversé à offre donnée, une demande rationalisée diminuerait également la congestion [6-2].

Nous allons voir quelles sont les raisons qui limite l'offre des services de contrôle aérien, et aussi celles qui expliquent une demande si importante. qui du à la saturation des capacités de contrôle de la navigation aérienne, notamment Dans certaines régions du monde telles que l'Europe et les Etats Unis d'Amérique.

Parmi les raisons conduisant à cette limitation, nous citons :

### **2.4.1. L'organisation du contrôle aérien :**

L'organisation du contrôle et du réseau de route ne facilite pas la fluidité du trafic : en effet, les aéronefs doivent suivre des routes aériennes qui existent grâce à des balises au sol. Ce système a l'avantage de permettre de bien connaître la position des aéronefs, mais, il crée d'importants problèmes de congestion.

### **2.4.2. Les limitations de capacité de contrôle :**

Peuvent provenir du fait que les positions des aéronefs en temps réel et celles prévues ne sont pas connues avec précision des équipes de contrôle au sol (absence de système de surveillance Radar ou même insuffisance d'installations au sol des aides à la navigation "VOR, DME, ILS..."ou par manque d'équipements de communication "utilisation d'HF et absence de couverture VHF suffisante", ce qui impose des marges de sécurité" minimums de séparation "plus importantes: par exemple en route, pour deux aéronefs qui sont établis sur la même route et au même niveau, un espacement de 10 minutes (environ 80NM) est exigée avec une couverture VHF, et de 40 NM en utilisant un DME sur

leurs route. Si on utilise un Radar secondaire, ce minimum est de 10 NM, ce qui permet de multiplier par 8 le nombre de trafic admis sur la même route au même niveau en passant ainsi du contrôle procédurale "séparation en temps ou en distance" au contrôle Radar "séparation Radar". Ce minimum peut, dans certaines conditions, être réduit.

### **2.4.3. La gestion de l'espace aérien :**

S'effectue par secteur de contrôle, qui coïncide le plus souvent avec les frontières des Etats. En revanche, la séparation au niveau des frontières est susceptible d'être source d'inefficacité, puisqu'elle ne tient pas compte des flux de trafic, autrement dit le tracé des routes aériennes demeure encore très national. D'autre part cette coexistence de ciels nationaux se caractérise par l'utilisation d'équipements et de procédures en matière de régulation aérienne, qui peuvent varier d'un pays à l'autre. Cette mauvaise structuration du ciel est aujourd'hui mise en évidence, puisque désormais, cette gestion nationale de l'espace aérien se montre incapable de faire face à la croissance du trafic aérien civil et apparaît comme une des causes principales du problème de congestion.

### **2.4.4. La capacité limitée des infrastructures :**

Une première exploitation à la capacité limitée du contrôle en route est l'erreur qui peut survenir dans les prévisions du trafic.

#### **a) Limite de capacité d'infrastructure :**

A ces limitations de capacités de contrôle s'ajoutent les limites de la capacité d'accueil des aérodromes, sans doute encore plus difficile à surmonter, vu les investissements importants que cela nécessite, en effet une piste d'aérodrome est l'aboutissement (ou le départ) d'un entonnoir dans lequel le trafic vient se concentrer et voit ainsi son débit limité inévitablement par le nombre de pistes disponibles, sachant que pas plus d'un aéronef à la fois ne peut décoller ou atterrir d'une piste, le débit maximum ne pourrait excéder 40 mouvements par heure pour une même piste. A l'aéroport d'Alger (Houari Boumediene, DAAG), pour la piste 23 (équipé ILS) et pour une procédure d'attente sur "OA", la séquence théorique est de 6 minutes (c'est la séquence la plus courte en Algérie) ce qui permet d'avoir un maximum de 10 mouvements (en atterrissage) par heure, qui semble suffisant, mais en tout état de cause, on peut saturer l'attente à Alger.

Un autre facteur contribue à l'insuffisance de la capacité la partie du ciel réservé aux vols

militaires. Pendant l'été 1999, en raison de la guerre au Kosovo, des couloirs de l'espace aérien ont été réquisitionnés dans le sud de l'Europe. Cette situation est en très grande partie à l'origine des importants retards observés pour l'année 1999.

#### **2.4.5. Des problèmes de coordination :**

Le contrôle aérien connaît un autre problème, celui de la coordination entre pays. La juxtaposition d'une trentaine d'administrations et de systèmes de sécurité ne permet pas d'assurer la fluidité des vols qui traversent plusieurs pays. Cette complexité du passage d'un système national à un autre contribue à une importante perte de temps.

#### **2.4.6. La nature et la répartition du trafic :**

Sont également des facteurs de première importance:

- La classification de l'aérodrome détermine la nature des vols autorisés, en fonction de leur catégorie, vitesse d'approche et de leurs natures (commercial, court ou long courrier ...), ce qui fixe indirectement l'ordre de grandeur de la capacité de l'aérodrome.
  - La configuration de l'aérodrome détermine le taux de fréquentation de chaque catégorie d'aéronef et le ratio entre les flux d'arrivée et de départ sur chaque piste.
  - Les normes de séparation entre chaque mouvement dépendent de leurs types et des capacités des pistes.
  - Enfin, les procédures d'exploitation des parkings et des voies de circulation (qui doivent être conformes aux règles de circulation), peuvent s'avérer plus ou moins efficaces en termes de retards générés. Sur ce point, la compétence technique des contrôleurs et des équipages (connaissance de la plateforme et de l'aéronef) peuvent jouer un rôle considérable.
- 
- Les impératifs de la régulation du trafic sont de plus en plus contraignants pour l'aérodrome : les créneaux imposés sont des heures trop imprécises. Leurs respects sont donc à la seule charge du contrôle d'aérodrome, pour lequel ces contraintes peuvent parfois devenir ingérables.

#### **2.4.7. Les comportements des compagnies aériennes :**

Les stratégies des compagnies aériennes dans un environnement concurrentiel, dû à la libéralisation du transport aérien annoncée en Europe au milieu des années 80, contribue à

congestionner l'espace aérien. Les compagnies aériennes se livrent à une concurrence acharnée dans une course aux parts de marché.

En matière tarifaire permet d'attirer toujours plus de passagers. A ce comportement s'ajoute une diversification des offres et une multiplication des vols, à travers un élargissement de leurs réseaux et une augmentation de leurs fréquences.

La déréglementation dans le secteur du transport aérien a montré la grande vulnérabilité du système des liaisons point à point assurée par des compagnies exploitant des lignes transcontinentales. Les liaisons les plus rentables, concernant des villes à forte densité ont attiré des nouveaux entrants venus concurrencer les compagnies en place depuis longtemps. Ces marchés conduisirent alors vite à des pertes pour les gros transporteurs. Afin d'être compétitif face aux compagnies à bas coûts et aux nouvelles entrantes mieux organisées, il leur fallait développer de nouvelles stratégies, difficiles à concurrencer.

#### 2.4.8. L'accroissement du trafic lié aux hubs :

La première étape des compagnies fut de recomposer leurs réseaux. Contrairement aux compagnies outre-Atlantique qui, à la suite de la libéralisation du transport aérien, ont adopté pour leurs réseaux une configuration de hub and spokes, les compagnies Européennes qui avaient déjà leurs réseaux organisés de cette manière, ont cherché à mieux tirer profit de ce système. Cette expression anglo-saxonne composée des mots (hub), signifiant moyeu, et (spokes) rayons d'une roue, décrit un système de plaque tournante, qui peut être représenté par un réseau de ligne en étoile autour d'un ou plusieurs centres. Cela signifie que les vols d'une compagnie partent de ville spokes en direction de leur hub où se trouve les correspondances pour d'autre villes spokes. Ce genre d'organisation conduit à une diminution du nombre de liaisons. Par exemple dans le cas de cinq villes reliées directement, dix liaisons sont nécessaires, alors qu'avec un système de plaque tournante où tous les vols transitent par l'une des cinq villes, seul quatre liaisons sont nécessaire, comme le montre la figure.

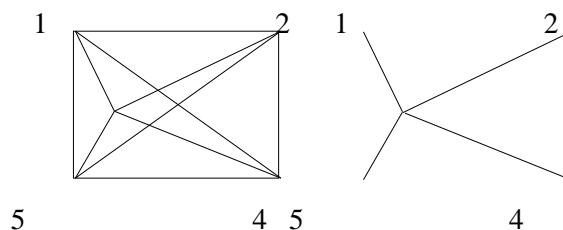


Figure2.1. Réseau point à point versus réseau hub and spokes.



Outre la réduction de nombre de liaisons, ce système implique l'utilisation plus fréquente de gros avions. La mise en place de cette stratégie a eu un double impact sur les économies que les compagnies ont pu faire relativement à leurs couts. Lorsque on parle d'économie, on pense généralement aux rendements d'échelle. Mais dans le cas des compagnies aériennes, il est plutôt question d'économie de densité qui sont des économies d'échelle pour un réseau fixé, c'est-à-dire sans nouvelle liaisons. L'augmentation du nombre de passagers se fait alors pour une moindre hausse des couts. Ceci fut le cas des compagnies aériennes qui ont choisi de développer des hubs. Sans modifier le réseau, mais par une meilleure utilisation des processus déjà existantes, en réorganisant les avions et les équipages, il fut possible, d'une part de bénéficier de l'infrastructure déjà établit sans beaucoup de cout fixes supplémentaires, et d'autre part, d'utiliser des avions plus gros, conduisant à des économies de densité.

En même temps, les compagnies ont pu réaliser des économies d'envergure. Des économies de couts peuvent provenir non seulement de l'échelle de la production, mais aussi de la production de différentes output par une seule firme plutôt que par plusieurs. L'envergure des opérations de l'industrie génère également des économies. Ce phénomène peut s'appliquer de deux manières dans le cas de transport aérien. D'une part, il est moins couteux qu'une seule compagnie assure deux liaisons ayant une ville en commun plutôt que deux compagnies aient chacune une liaison. D'autre part, ces économies d'envergure signifient que pour une même compagnie, il coute moins cher d'assurer conjointement deux liaisons, en les faisant passer par un même point d'acheminer l'ensemble des personnes qui ont en commun soit la provenance, soit la destination, plutôt que d'assurer ces liaisons séparément. Ces économies de couts ont donc été des moteurs au développement de stratégie de hub.

Cette présentation des hubs nous laisse penser qu'il ont conduit à une diminution du nombre d'avions dans les aires, alors que l'on observe chaque année une hausse de trafic de l'ordre de 8 %.

#### **2.4.9. La capacité des ressources humaines :**

Assurant le contrôle dans les airs ou dans les aérodromes est un élément fondamental dans la maîtrise de la capacité, effectivement une équipe de contrôle ne peut pas gérer simultanément plus qu'un nombre limité d'aéronefs, ce qui conduit à diviser l'espace en morceau de plus en plus petits -les secteurs- au fur et à mesure que la densité de trafic augmente, et/ou à limiter la capacité si le nombre requis d'équipes de contrôle n'est pas disponibles.

#### **2.4.10. L'impact de l'ATFCM :**

Elle a un impact positif aussi bien sur la sécurité en empêchant des surcharges, que sur la capacité moyenne déclarée en éliminant le risque des pics de trafic inattendu. Cependant, l'ATFCM peut avoir un effet très négatif sur l'utilisation de piste en ralentissant généralement les écoulements pénétrant le système. Considérant les facteurs d'une demande régissante d'incertitude décrite ci-dessus, les vols

limiteurs en les ralentissant vers le bas au début d'une période de pointe contribueront plus tard à la congestion d'aérodrome.

#### **2.4.11. Limitations du système ATM actuel :**

Les concepts et les systèmes actuels d'ATM présentent un certain nombre de faiblesses qui tiennent notamment aux facteurs suivants :

- Disparité des services et des procédures résultant de l'exploitation de systèmes de conception différente, et automatisation limitée des outils dont dispose le contrôleur;
- Recours, pour les échanges air-sol, à des communications vocales par radio proches de la saturation (parfois même saturé);
- Rigidité des divisions de l'espace aérien et des structures de route, qui reposent souvent sur des besoins nationaux et n'exploitent pas de manière optimale l'intégralité des moyens ATM disponibles;
- Absence de planification concertée et limitation des moyens d'échange d'informations en temps réel entre l'ATM, les autorités aéroportuaires et les usagers de l'espace aérien, ainsi qu'entre les civils et les militaires, ce qui se traduit par un manque de souplesse dans les réponses aux événements en temps réel et à l'évolution des besoins opérationnels des usagers ainsi qu'une sous-utilisations des capacités disponibles;
- Incapacité d'exploiter pleinement le potentiel qu'offrent les équipements électroniques de bord en termes d'amélioration des performances;
- Grave pénurie de contrôleurs aériens dans un certain nombre d'États, due à des contraintes financières nationales et à l'absence de données de planification validées à l'échelle du réseau ATM;
- Longueur des délais nécessaires à la mise au point de systèmes améliorés et à leur déploiement à bord des aéronefs ou au sol, ce qui complique la planification de la transition et entraîne des coûts élevés. Cette situation est aggravée par les retards enregistrés dans bon nombre de projets ATM.

#### **2.4.12. Les fréquences des vols :**

Parallèlement à cette nouvelle gestion des vols, les compagnies se font concurrence, non seulement en prix, mais aussi en fréquences. La libéralisation du secteur du transport aérien est aussi à l'origine de ces nouvelles stratégies, qui n'existent pas uniquement au niveau des hubs, mais également à travers les liaisons spokes. Les compagnies ont profité de leurs avions de plus faible capacité délaissés par les liaisons passant par leur hub, pour desservir des liaisons directes et offrir un service de fréquences plus important.

On peut citer l'exemple de air France, qui toutes en développant sa plaque tournante à Paris Charles de Gaulle, a créé la navette. Ce système consiste en des vols très régulier, toutes les demi-

heures ou toutes les heures, entre Paris-Orly et les villes de province bordeaux, Marseille, Nice et Toulouse.

### **2.4.13. La météo :**

Lorsque les conditions de visibilité sont dégradées, la circulation aérienne peut rapidement être paralysée. Même lorsque le contrôle dispose d'une visualisation radar de la situation, la réglementation actuelle ne prévoit pas le guidage précis d'un aéronef par le contrôle, car la responsabilité du pilote (pour l'anticollision) n'est pas remise en cause. Ces situations (dangereuses) nécessitent donc souvent des pratiques opérationnelles à la limite de la réglementation, où la responsabilité de chacun n'est plus clairement spécifiée.

### **2.4.14. L'environnement :**

Les problèmes environnementaux ont pris une ampleur conséquente pour tous les aérodromes, quelle que soit leur taille. Le développement des agglomérations et la prise en compte des nuisances sonores ou de la pollution, induisent souvent des décisions limitatives pour la croissance du trafic aéroportuaire.

### **2.4.15. L'incertitude de la demande :**

- Les Vols : La demande est déterminée par des programmes et des plans de vol déposés. Seulement 80% de la demande du trafic, dans l'ensemble, est connu le jour avant que les vols aient lieu. Pour un aérodrome coordonné, où il y a seulement du trafic commercial, plus de 95% de vols sont connus un jour avant. Certains des vols annulés ou supplémentaires, vols d'affaires... etc ne sont pas encore connus.
- Heure de Décollage. Un degré significatif d'incertitude concernant l'heure de décollage dus aux compagnies aériennes ou aux problèmes techniques affectant l'aéronef, l'embarquement de passagers, chargement du fret...etc., les retards imposé par l'ATFCM, et la fenêtre du créneau de cette dernière (l'heure de décollage doit avoir lieu dans un délai de -5 minutes et +10 minutes du temps autorisé).

- Temps de vol : Un autre facteur incertain est le temps de vol, qui dépend des compagnies aériennes, des conditions météorologiques, des mesures de temps réel d'ATC (vol direct, niveau de vol) et des procédures de départ ou d'arrivée standardisées « SID »/« STAR » par rapport à la piste en service.

## **2.5. L'impact de la congestion aérienne :**

La congestion aérienne se manifeste, aujourd'hui, principalement par des retards, mais elle risque, à plus long terme, de poser des problèmes de sécurité. Elle augmente les risques d'accident, réduit la mobilité et ralentit l'évolution économique. Elle est aussi une cause majeure des émissions polluantes (contribution de 2.5% du total des émissions polluantes) [2-6].

### **2.5.1. L'effet sur les compagnies aériennes et les passagers :**

la congestion aérienne produit des surcharges locales qui entraîneraient un retard dans l'acheminement du trafic à travers des secteurs, l'augmentation des retards a des conséquences économique et financière, une baisse de la productivité, et donc des pertes potentielles qui peuvent se chiffrer, au niveau mondial, par des milliards de dollars sur les compagnies, leurs passagers et la société dans l'ensemble

Les couts pour les compagnies ont deux origines. Les premier sont ceux qu'elles supportent directement souvent les compagnies doivent dédommager les passagers. Elles supportent également les couts liés à leur organisation, notamment en hub qui nécessite de revoir la programmation des vols à la suite même d'un seul retard. Elles subissent aussi à plus long terme une perte de compétitive, voire même des conditions de travail dégradé pour les employés. Ces couts qualifiés (opérationnel) peuvent être liés à des retards primaires ou induits. Les seconds sont des couts indirects, cout liés à l'anticipation des retards.

Les couts supportés par les passagers sont surtout liés au fait que les retards correspondent à du temps perdu. Le cout des retards pour les passagers est donc un cout d'opportunité mesuré par leur valorisation du temps.

### **2.5.2. L'effet environnemental :**

- Le surcroît de la consommation d'énergie implique l'augmentation des émissions polluantes
- La nuisance sonore qui gêne les habitants aux proximités d'un aéroport

### **2.5.3. D'autres effets potentiels :**

- Manque de sécurité et risque d'accident dû aux abordages et collisions

## Chapitre 3

### La décongestion de l'espace aérien

#### 3.1. Introduction :

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 :

Pour mieux comprendre en va voir en détailles les deux approches pour la décongestion aérienne.

#### 3.2. Les solutions envisagées pour la décongestion de l'espace aérien :

Pour palier au problème de congestion aérienne deux sorte de solutions ont été envisagées :

##### 3.2.1. Première approche pour la décongestion aérienne: Augmentation de la capacité du système de contrôle :

La capacité du système de contrôle pourrait être améliorée en apportant des solutions d'ordre opérationnelles et/ou techniques.

Sur le plan opérationnel, les secteurs de contrôle peuvent être restructurés pour optimiser les flux de trafic, le réseau de route peut être réajusté pour diminuer le nombre de conflits potentiels et améliorer l'écoulement du flux aérien, les périodes de travail des

contrôleurs peuvent être réorganisées afin d'offrir Une capacité maximale lors de forte demande, une gestion globale des flux de trafic peut encor être améliorée.

Sur le plan technique, l'introduction de nouveaux outils et systèmes (comme le RADAR, l'MLS, ADS-B, la multilatération, outils d'aide à la décision ...) de plus en plus performants peuvent accroître la capacité du contrôle aérien et améliorer en même temps la gestion des flux de trafic.

Pour cela des solutions ont été envisagées pour accroître la capacité du système de contrôle, elles sont divisées suivant la fonction sur l'aérodrome l'approche et en route ou bien des solutions qui sont communes.

### **3.2.1.1. Les aérodromes et l'espace environnant :**

Les contraintes de capacité varient considérablement d'un aérodrome à un autre. Bien entendu, la meilleure solution serait d'augmenter la capacité aéroportuaire en construisant ou en agrandissant des aérodromes, des pistes et des aérogares, mais cette solution n'est pas toujours faisable. Les états doivent alors trouver des moyens de traiter efficacement et équitablement la demande excédentaire.

#### **a) Outils économiques :**

En termes économiques, des mesures peuvent être considérées visant à augmenter la capacité ou à gérer la saturation. Certains Etats, dans lesquels l'insuffisance de la capacité aéroportuaire est particulièrement prononcée, appliquent une ou plusieurs mesures, en agissant tant sur l'offre que sur la demande.

La tarification de pointe (faire payer plus cher les vols pendant les périodes à forte demande) est une solution envisageable lorsqu'il existe une demande trop forte, qualifiées de "*périodes de pointe*", par rapport à la capacité d'une infrastructure. Elle Conduit les compagnies aériennes à étaler leurs départs de façon à lisser le trafic et réduire les encombrements.

La tarification de pointe se justifie, non seulement par un coût supérieur afin d'avoir une capacité supérieure disponible en présence d'une forte demande, mais aussi par la volonté d'opérer un certain rééquilibrage des demandes sur les différentes périodes. De ce point de vue, l'objectif d'une tarification de pointe est de déplacer la demande des périodes de pointe vers les périodes hors pointe, elle peut être utile:

- Pour assurer l'efficacité économique : une régulation par le péage permet de dissuader les déplacements à faible utilité économique durant les heures de pointe et de permettre des déplacements à forte utilité économique plus rapides durant ces heures.
- Maximisation de l'utilisation efficace des ressources disponibles.
- Bien que cette méthode permette d'étaler la demande, elle présente l'inconvénient de favoriser les compagnies les plus riches [2].

#### **b) Nécessité de lever les couvre-feux nocturnes au niveau des aérodromes:**

La croissance des activités de transport aérien dans le monde exige d'augmenter les infrastructures et la capacité des aéroports.

Les efforts déployés par les états et par l'OACI n'ont donnés que des résultats limités. Augmenter la capacité aéroportuaire devient difficile en raison de la lourdeur des investissements et du manque de place. D'une part, on souffre d'une insuffisance de capacité due à l'augmentation de la demande, de l'autre, on n'utilise pas pleinement la capacité disponible en raison des couvre-feux imposés la nuit. Le secteur de transport aérien ne permet pas de tels luxes.

Le recours actuel aux couvre-feux nocturnes dans divers aéroports du monde a en outre des effets négatifs sur la capacité de traitement de la circulation aérienne et sur les infrastructures des autres aéroports.

Il est clair qu'il faut trouver d'autres moyens plus simples pour accroître la capacité des aéroports et remédier à la situation créée par des volumes de trafic croissants. Une des possibilités est de réexaminer la nécessité de maintenir les couvre-feux nocturnes aux aéroports, de façon que les aéroports soient ouverts au trafic 24 heures sur 24. Cela se traduirait aussi par une utilisation optimale des secteurs de contrôle en route et des infrastructures d'autres aéroports que les couvre-feux nocturnes imposés ailleurs pénalisent indirectement [2].

### **c) Optimisation de la séquence de piste :**

Sur les plus grandes plateformes aéroportuaires et dans les conditions normales d'exploitation, les pistes restent les éléments les moins capacitifs car les séparations imposées entre mouvements sont restrictives derrière les avions à forte turbulence de sillage et dépendent des conditions météorologiques.

Sur ce point, différentes améliorations peuvent être envisagées :

#### **→ Optimisation des procédures d'approche :**

La définition de procédures d'approche adaptées facilite le travail de séquençage initial des arrivées pour le contrôle d'approche, en rendant possible des changements de vitesses et de trajectoires des avions. La mise à disposition de différents hippodromes d'attente permet notamment de réguler le flux d'arrivée lorsqu'il dépasse la capacité de la piste.

Dans certains cas, les procédures d'approche peuvent également être utilisées pour modifier légèrement l'ordonnancement des arrivées, en fonction des contraintes de turbulence de sillage. Plus généralement, l'amélioration des procédures d'approche peut être vue comme un problème d'optimisation complexe, contraint par les performances des avions (qui déterminent le type de trajectoire qu'ils sont susceptibles de suivre) et dont le critère est la capacité de ces secteurs [5].



### → **Développement d'outils d'aide au contrôle :**

Le développement d'outils prédictifs (DST : Decision Support Tool) capables d'anticiper suffisamment le trafic aéroportuaire (atterrissages et départs) peut participer à la définition de meilleures séquences de piste. Là encore, la recherche d'une séquence ment optimal des vols peut se formuler assez simplement comme un problème d'optimisation, contraint par les possibilités d'ordonnement des aéronefs (en fonction des prévisions de trafic) et dont l'objectif est la minimisation des retards.

### → **□ Réduction des normes de séparation :**

Certaines conditions météorologiques particulières entraînent des baisses considérables des capacités aéroportuaires, notamment parce qu'on guide les aéronefs jusqu'à l'atterrissage, ce qui nécessite une augmentation importante de certaines normes de séparation. Deux aspects du problème peuvent être étudiés :

- La précision des équipements (embarqués ou au sol) permettant Aux aéronefs d'effectuer un atterrissage de précision (aux instruments et par mauvaise visibilité), qui relève de l'innovation technologique, ce qui permet de réduire les normes de séparation.
- L'étude aérodynamique de la turbulence de sillage des aéronefs semble également porteuse : L'effet du vent fort sur la propagation de la turbulence peut par exemple aboutir à des normes de séparation en temps beaucoup moins contraignantes que les séparations en distance normalement pratiquées. L'utilisation en temps réel d'instruments de mesure de l'importance du tourbillon (ou vortex) provoqué par un aéronef peut également apporter des gains de capacité non négligeables [8].

### → **Amélioration de la prévisibilité du trafic aéroportuaire :**

L'aérodrome apparaît comme l'endroit où le trafic aérien est le moins prévisible. L'enchaînement des actions pendant l'escale d'un aéronef relève d'une course contre la montre et dépend la plupart du temps de la gestion d'une multitude d'imprévus. Les temps de roulage sont de plus extrêmement sensibles au débit d'aéronefs demandant la piste. Dans ce contexte, l'amélioration de la prévisibilité du trafic nécessite une large diffusion des informations en temps réel, non seulement entre les positions de contrôle d'aérodrome et d'approche, mais également entre chaque intervenant sur un même aérodrome.

### → **Améliorer la Coordination entre les aéroports :**

L'échange d'informations de trafic entre différents aéroports coordonnés est encore relativement faible. La connaissance des retards prévus sur un aéroport permet pourtant d'optimiser la gestion des vols de tous les aéroports qui lui sont connectés. Dans ce cadre, des systèmes (AMAN : *Arrival Manager* et DMAN : *Departure Manager*), mis à jour en temps réel, ont été développés pour permettre d'informer les aéroports coordonnés des évolutions du trafic.

### → **Amélioration des systèmes de surveillance et de guidage au sol (ASMGCS) :**

Les premiers concepts SMGCS (Surface Movement Guidance and Control System) introduits par l'OACI ont abouti au système actuel de suivi radar du trafic au sol. Depuis les années 90, ils font donc place aux nouveaux concepts ASMGCS (Advanced SMGCS), toujours sous l'égide de l'OACI en collaboration avec la Commission Européenne, EUROCONTROL, EUROCAE (European Organisation for Civil Aviation Equipment), la FAA (Federal Aviation Administration), la NASA (National Aeronautics and Space Administration) et les aéroports. Ces concepts fixent un ensemble d'objectifs pour les futurs systèmes de surveillance et de guidage des avions au sol :

### → **La sécurité doit être améliorée par une redéfinition des rôles et des responsabilités de chacun :**

Particulièrement par mauvaise visibilité, l'emploi de la visualisation radar comme instrument de contrôle (et non comme simple source d'information auxiliaire) doit être officialisée.

Pour cela, le développement de visualisations radar plus perfectionnées, offrant une vision complète et sûre de l'ensemble des mobiles sur la plateforme, (véhicules et avions) doit pouvoir assurer le guidage des avions. Dans ce cadre, de nouvelles technologies sont proposées :

- **Le D-GPS (Differential Global Positioning System)**, capable de fournir à tout mobile un positionnement dans l'espace, avec une précision inférieure au mètre, à partir de relevements satellites et des corrections émises par un satellite géostationnaire ;
- **L'ADS-B (*Automatic Dependant Surveillance*)** permettant la diffusion de la position d'un mobile à tous les autres.

Des systèmes de détection de pertes de séparation et d'incursion piste doivent également être en mesure de donner l'alerte au contrôle (fonction de filet de sauvegarde).

La gestion du trafic au sol et en vol doit être facilitée Et améliorée par des outils de supervision technique et opérationnelle :

- ➔ L'amélioration du système de guidage vise en particulier un fonctionnement de l'aérodrome « tout-temps », au sein duquel les aéronefs peuvent continuer à circuler dans des conditions de visibilité les plus réduites (brouillard dense).
- ➔ Des outils reliés au système de visualisation radar, capables d'effectuer le suivi des aéronefs, peuvent participer à leur séquence ment dans les zones de parking et sur les bretelles d'accès à la piste. (L'aérodrome d'Alger Houari Boumediene est équipé d'un Radar de surveillance de surface 2008)
- ➔ Le Data Link (transmission automatique de certaines données entre le contrôle et l'aéronef) peut également jouer un rôle en simplifiant la tâche des contrôleurs et en rendant plus disponible la fréquence de communication radio [4].

### **3.2.1.2. L'espace en route :**

Les Solutions pour accroître la capacité de l'espace en route sont :

#### **a) Améliorer l'organisation et la gestion de l'espace aérien :**

L'organisation de l'espace aérien doit se baser sur le principe de volumes contigus d'espace aérien conçus d'après des critères de performance opérationnels, indépendants des contraintes liées aux frontières nationales, d'ou une liberté maximale pour tous les usagers de l'espace aérien, compatible avec le niveau requis de sécurité et de capacité tout en tenant compte des besoins des états en termes de sûreté et de défense.

Une optimisation de l'organisation de l'espace aérien doit se faire de façon que tous les usagers disposent d'une liberté de mouvement : La simplification passera par une harmonisation de la classification OACI des espaces aériens ATS. Cette simplification sera profitable à la sécurité, les configurations d'espace aérien étant moins complexes, et servira de base à l'adoption de règles et procédures communes et sans ambiguïté pour les vols tant IFR que VFR.

La mise en œuvre du concept d'utilisation flexible de l'espace aérien Indépendamment des frontières nationales, débouchera sur des processus de planification et de gestion de l'espace aérien menés en collaboration entre les civils et les militaires. L'utilisation dynamique des espaces aériens doit permettre le gain en termes d'espace aérien exploitable pour les civils et les militaires.

Optimisation du réseau de routes par l'amélioration du réseau actuel de routes fixes, dans l'optique de mieux tirer parti de la flexibilité accrue  
Qu'offrent le concept FUA (Concept d'utilisation flexible de l'espace aérien) et l'exploitation des techniques (RVSM, RNAV...) permettant de concevoir des structures de route et d'éviter

les concentrations d'aéronefs en des points encombrés. Dans l'ensemble, les vols pourront emprunter des routes plus directes, offrant un meilleur rendement sur le plan de la consommation, et de recourir à des itinéraires de contournement pour éviter les zones de forte densité de trafic aérien.

Optimisation de la conception des secteurs ATC : Lorsque la densité du trafic le permet, les divisions rigides de l'espace aérien disparaîtront progressivement au profit d'un forum d'augmenter la capacité en passant à une structure tout à fait souple de l'espace aérien, dans laquelle les limites de secteur seront adaptées en temps réel aux courants de trafic particuliers et aux pointes de la demande, et deviendront indépendantes des frontières nationales. Aussi l'application initiale du RVSM augmentera la capacité des secteurs.

Optimisation de l'espace aérien en régions terminales (TMA) : La reconfiguration et l'optimisation des routes d'arrivée et de départ (STAR et SID) qui servent à structurer les courants de trafic aux abords des aéroports les plus chargés vont contribuer à renforcer la capacité de l'espace aérien dans les régions de contrôle terminales (TMA) et pourraient augmenter le débit de certains aéroports. La mise en œuvre de cet objectif passera par l'amélioration des performances des aéronefs, qui déboucheront, à long terme, sur l'objectif ultime qu'est la RNAV 4D dans l'espace aérien des TMA.

Principe d'un continuum d'Espace Aérien : Pour l'accroissement de la capacité, l'espace aérien international peut être considéré comme un continuum dégagé des contraintes qu'imposent les frontières.

La planification, la structure opérationnelle, la gestion et l'exploitation de l'espace aérien doivent refléter ce principe et être mis en œuvre de manière cohérente en vu de :

- Offrir une capacité suffisante pour absorber la demande de tous les usagers, à tout moment dans de bonnes conditions d'efficacité et de rendement, et aux périodes de forte charge, sans imposer (en conditions normales) de pénalisations notables sur les plans opérationnel et économique.
- Permettre aux aéroports d'exploiter au mieux la capacité potentielle, telle qu'elle résulte de l'infrastructure en place, des restrictions d'ordre politique et écologique et de l'utilisation économique des ressources [7].

### **a) Organisation stratégique et meilleure prévisibilité :**

L'augmentation de la capacité (et également de la sécurité) découlera principalement de la mise en place de moyens organisationnels tels que l'élimination stratégique des conflits ou le lissage des flux de trafic, ce qui repose sur une amélioration de l'échange de données entre les unités au sol et l'utilisation d'assistance informatique et d'autres développements techniques, ainsi que l'exploitation de données de trajectoire de vol plus précises

### **b) Les concepts de free route et free flight : l'automatisation du contrôle aérien et de l'aéronef :**

Dans le domaine de la gestion du trafic aérien, les concepts en vogue de «Free-Route» et de «Free-Flight» espèrent répondre aux problèmes de «congestion» de l'espace aérien. En Europe, le Free-Flight a été envisagé dans le but d'alléger la charge de travail du contrôleur en s'affranchissant d'un contrôle centralisé au profit d'un contrôle embarqué, tout en utilisant des routes directes. La vision du Free-Flight ouvre la perspective d'un nouveau système où les aéronefs en croisière ne sont plus contrôlés depuis le sol, mais résolvent eux-mêmes les éventuels conflits qu'ils peuvent rencontrer avec d'autres aéronefs. En effet dans le système actuel, ce sont les contrôleurs aériens qui assurent cette fonction, le pilote étant maître de sa manœuvre mais devant se conformer aux instructions du contrôle.

### → **L'automatisation dans l'aéronef**

Les progrès technologiques en matière de circulation de l'information permettent d'envisager des liaisons de données permanentes entre le sol et l'aéronef. De plus les automatismes de l'aéronef aident le pilote lors des différentes phases de vol (montée, en route et descente), 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 transport aérien entièrement commandé par les organismes au sol, ou 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. Déterminerait les trajectoires à suivre [8].

### → **L'automatisation des systèmes de contrôle aérien :**

La fonction principale du contrôle de la circulation aérienne est d'assurer un écoulement sûr et ordonné des vols, en évitant les abordages entre aéronefs en l'air ou les collisions au sol. Sa raison d'être est avant tout la sécurité. L'automatisation du contrôle consiste à transférer à un système (totalement ou partiellement) des tâches effectuées jusqu'à présent par un opérateur humain. Tant que l'automatisation n'est pas totale, l'opérateur garde un rôle et on parlera d'assistance automatisée. L'automatisation de l'ATC peut améliorer les performances dans trois domaines :

- La sécurité : en éliminant les erreurs humaines ou en diminuant leur impact, par une meilleure information, des filets de sauvegarde et une certaine supervision de l'homme par la machine (75% des accidents sont dus à des erreurs humaines) ;
- La capacité : en utilisant la machine comme collaborateur de l'homme ;
- L'efficacité de la gestion du trafic en réduisant les restrictions imposées aux aéronefs (routes directes, niveaux optimaux,...), par exemple qu'un système totalement «FREE-ROUTE» permettant d'économiser 10% sur le coût du carburant.

### **c) Utilisation des futurs concepts opérationnels de navigation :**

Les futurs concepts opérationnels de navigation sont la navigation de surface (RNAV) et les performances de navigation requise (RNP) soutenues par un système global de navigation par satellite (GNSS).



### → **La Navigation de surface (RNAV)**

Méthode de navigation permettant le vol sur n'importe quelle trajectoire voulue dans les limites de la couverture des aides à la navigation à référence sur station au sol, ou dans les limites des possibilités d'une aide autonome ou grâce à une combinaison de ces deux moyens. Le RNAV autorise le vol dans n'importe quel espace aérien et sur n'importe quelle trajectoire à l'intérieur de tolérances de précision prescrites, sans qu'il soit nécessaire de survoler directement les installations de navigation basées au sol (VOR, NDB...). L'aéronef et les points

Tournants de sa route sont alors localisés par leurs coordonnées géographiques (Localisation par satellite ou par station inertielle ou localisation combinée).

### → **Précision de navigation requise (RNP) :**

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

### → **Le Système Global de Navigation par Satellite (GNSS) :**

Le concept GNSS (Global Navigation Satellite System) regroupe les différents systèmes de positionnement par satellite de base (GPS, GLONASS, GALILEO ...). Un récepteur

à bord de l'aéronef capte les signaux d'au moins quatre satellites synchrones (Horloges atomiques), un calculateur traite les différents signaux et détermine la position de l'aéronef.

### → **La Réduction du Minimum de Séparation Verticale (RVSM) :**

Le trafic aérien est en constante croissance sur le plan mondial. Les systèmes ATM devront évoluer afin de pouvoir absorber cet accroissement continu du trafic. De toutes les mesures actuellement mise en œuvre et normalisé par l'OACI, le RVSM a été jugée la plus rentable pour répondre à ce besoin, grâce à la mise à disposition de six niveaux de vol supplémentaires utilisables dans la bande d'espace aérien comprise entre les FL 290 et FL 410 inclus.

La mise en œuvre du RVSM apporte principalement, les avantages suivants :

- ➔ Des profils de route optimisés : La mise à disposition de niveaux de vol supplémentaires, dans la bande d'altitude la plus fréquentée, permet aux exploitants de planifier leurs vols et de les faire évoluer suivant le profil de route vertical optimal pour un type de vol donné, ou au plus près de ce profil. Ainsi des économies de carburant pourront être réalisées (suivant des études effectuées en Europe, les économies réalisables ont été estimées entre 0,5% et 1% de la consommation totale du carburant, ce qui correspond à une économie globale de 155 millions d'euros sur la période de 20 ans suivant la mise en œuvre du RVSM.
- ➔ Augmentation de la capacité ATC : Une série de simulation ATC en temps réel, effectuée au centre expérimental d'EUROCONTROL (CEE) de Brétigny, en France, a montré que le RVSM permettra de réduire la charge de travail des contrôleurs. Il ressort de ces simulations que la capacité des secteurs concernés pourra augmenter de 20% par rapport à celle d'un environnement avec minimum de séparation verticale conventionnel (CVSM). Par ailleurs, il est possible d'accroître encore la capacité en modifiant la structure de l'espace aérien grâce, par exemple, à une nouvelle sectorisation et/ou à l'introduction de secteurs supplémentaires. Pour cela les aéronefs doivent être homologués RVSM et avoir des équipements (détermination de l'altitude et de la position) plus précis [10].

#### **e) Utilisation de nouvelle technologie de communications :**

En raison d'une augmentation des besoins en communications aéronautiques et de la pénurie de fréquences que les revendications du spectre aéronautique provenant d'intérêts non aéronautiques risquent de causer, l'utilisation efficace du spectre aéronautique par les systèmes de communications devient un aspect de plus en plus critique de la planification de la navigation aérienne.

Au cours de la dernière décennie, l'OACI a pris en compte, un certain nombre de nouvelles techniques de communications air-sol et air-air, certaines numériques (liaison de données HF, liaison numérique VHF, VDL mode 2, mode 3 et mode 4, SSR mode S et CPDLC, ACARS), d'autres analogiques (espacement de 8,33 kHz des canaux). La mise en œuvre de certaines de ces techniques est en cours et contribue à l'augmentation de l'ensemble des besoins concernant le spectre aéronautique, tandis que les systèmes de communications vocales air-sol classiques continuent à fonctionner, constituant encore le moyen principal pour les communications opérationnelles. Les communications vocales entre pilotes et contrôleurs de la circulation aérienne iront de pair avec la transmission de messages textuels d'écran à écran grâce au système dénommé CPDLC (communications contrôleur pilote par liaison de données). Ce système (utilisé au CCR d'Alger) doit informatiser une part sans cesse croissante des communications air-sol effectuées chaque jour, ce qui allégera



la charge de travail aux deux bouts de la chaîne et libérera, au profit de communications plus urgentes, des canaux radio déjà très encombrés.

### → Utilisation de Two-Way Data-link ATC Communications en route:

Congestion des fréquences. Le canal VHF est saturé physiquement, on ne peut utiliser qu'une communication à la fois. De plus, il y a une relation importante entre la charge de travail des contrôleurs (et donc de la capacité du traitement de trafic) et le volume de communications nécessaire à l'accomplissement de sa tâche.

La contrainte est au départ davantage d'ordre technique que relatif à la capacité de traitement du contrôleur, mais par suite du séquence ment non optimisé des échanges, le contrôleur est occupé par des tâches qui ralentissent le traitement des flux de trafic.

Des tests en simulation ont prouvé que la possibilité d'utiliser à sa convenance la voix ou le Data Link même pour un nombre limité d'applications (texte libre, clairances en niveau) réduisait le nombre de communications vocales initiées par le contrôleur de 41%. Le temps total d'occupation de la VHF vocale, lui, diminuait de 45%.

Erreurs de communication. Outre l'aspect " saturation " et ses conséquences sur l'efficacité du contrôleur (et donc de la capacité de traitement du trafic), le canal vocal ajoute un certain taux d'erreur de compréhension entre pilote et contrôleur. En 1988, la FAA a noté que 23% des violations de séparation étaient liées à de telles erreurs.

Dans un rapport d'enquête compilé par Aviation Safety Reporting System, il est indiqué que 70 à 80% des incidents potentiellement dangereux incluent un mauvais passage d'information vocal entre le contrôleur sol et le pilote, et que la plus grande part incrimine la liaison radio. Le Data-Link de ce point de vue apporte des améliorations notables :

- Le message est adressé à un aéronef particulier (pas d'erreur d'aiguillage),
- Le message est codé et envoyé aux aéronefs de telle manière qu'il n'y ait pas de perte ou de modification d'information,
- Le message, s'il est composé par une procédure informatique (menus, proposition de choix de clairances...) aura nécessairement une syntaxe claire et précise (pas d'erreur d'interprétation),
- Le message apparaîtra sur un écran ou du papier (lisibilité). Il peut être conservé en mémoire (pas de problème d'oubli).
- Les expérimentations en simulation temps-réel ont indiquées que l'utilisation du TWDL en route réduisait les délais de manière significative, en même temps qu'elle améliorait l'efficacité opérationnelle. Les gains spécifiques sont :
- Un niveau de sécurité plus élevé observé par les contrôleurs et superviseurs sans surcharge de travail.
- L'élimination des contraintes d'espacement prévues pour éviter la saturation dans un secteur de départ, ce qui a diminué les délais au décollage (temps cumulés sur une période donnée) de 62% ;



- L'augmentation de la capacité des secteurs et une meilleure efficacité dans les opérations aériennes, la durée et la distance parcourue des vols ayant été réduites de 20% ;
- Un contrôle plus efficace du trafic quand celui-ci augmentait de 10 à 40% [8].

#### **f) La gestion de l'information :**

Les activités, telles que la prévision de trajectoires, la mise en séquence des aéronefs et la prise de décision en collaboration, exigent que toutes les parties : les services d'information aéronautique (AIS) et les services de météorologie aéronautique (MET), les services de la navigation aérienne..., disposent d'informations identiques précises sur l'environnement et les règles d'exploitation, et la disponibilité, en temps voulu, de données précises et de haute intégrité. Les services d'information aéronautique devront être améliorés et développés afin de fournir un service harmonisé et coordonné qui livrera des informations actualisées de qualité pour toutes les phases de vol et pour tous les usagers.

#### **g) Améliorer la coordination civile- militaire :**

La croissance continue du trafic aérien et la lutte contre les retards ont fait de l'amélioration de la coordination civile-militaire une des priorités de la navigation aérienne. Grâce au concept d'utilisation souple de l'espace aérien, les autorités civiles et militaires sont en mesure d'améliorer la coordination de leur circulation aérienne. Avec un double objectif : permettre aux services de la navigation aérienne de mieux écouler un trafic en croissance continue tout en préservant les activités militaires.

L'exemple de l'Europe: Le concept d'utilisation souple de l'espace aérien (adopté par la CEAC en 1994) fournit aux autorités civiles et militaires un cadre de gestion commune de l'espace aérien. Il se décline en trois niveaux de coordination: stratégique, pré-tactique et tactique (ou temps réel). Au niveau stratégique, les autorités civiles et militaires, réunies au sein d'un directoire, définissent les structures d'espace cogérées et fixent les procédures de négociation et les règles de priorité. Au niveau pré-tactique (à j-1), la CNGE alloue temporairement ces structures d'espace en fonction des besoins.

Enfin, le niveau tactique recouvre la coordination en temps réel entre contrôleurs civils et contrôleurs militaires.

#### **3.2.1.3. les Solutions communes (Améliorations opérationnelles):**

L'utilisation la plus efficace de l'espace aérien disponible et de la capacité aéroportuaire ne peut se réaliser que si tous les éléments concernés du système de la circulation aérienne ont été pris en compte au cours de la planification, au moyen d'une méthode d'analyse des systèmes. L'écoulement de la circulation est freiné par les étranglements internes au système; une limitation en un point quelconque contribue à restreindre la capacité. C'est pourquoi ni le système aéroportuaire ni le système de navigation aérienne ne doit être examiné séparément dans la planification d'améliorations.

Les améliorations opérationnelles représentent en fait les diverses étapes de réalisation du nouveau concept opérationnel d'ATM. La gestion de la circulation aérienne est constituée d'une partie sol et d'une partie air, l'une et l'autre sont nécessaires pour assurer la sécurité et l'efficacité pendant toutes les phases de vol. Le contrôle de la circulation aérienne (ATC) est l'élément principal de l'ATM. Les fonctions de l'ATM comprennent le contrôle de la circulation aérienne, la gestion des courants de trafic aérien et de la capacité (ATFCM) et la gestion de l'espace aérien (ASM). Ces trois éléments contribuent à la réalisation des objectifs d'ATM durant les différentes phases de vol.

### **a) Organisation et gestion de l'espace aérien OGEA :**

L'organisation de l'espace aérien établira des structures d'espace aérien en fonction des divers types d'activité aérienne, du volume de trafic et des différents niveaux de service. La gestion de l'espace aérien est le processus par lequel les options d'espace aérien sont choisies et appliquées pour répondre aux besoins de la communauté ATM. Les changements sont les suivants :

- Tout l'espace aérien fera l'objet de l'ATM et sera une ressource utilisable ;
- La gestion de l'espace aérien sera dynamique et souple ;
- Toute restriction d'utilisation d'un volume donné d'espace aérien sera Considérée comme temporaire ;
- Tout l'espace aérien sera géré de façon souple. Les limites d'espace aérien seront ajustées en fonction de courants de trafic ; elles ne devraient pas dépendre de frontières nationales ni d'installations.

### **b) Opérations d'aérodrome OA :**

Partie intégrante du système ATM, l'aérodrome doit fournir l'infrastructure sol requise (éclairage, voies de circulation, pistes et sorties de pistes, guidage au sol précis, etc.) pour améliorer la sécurité et maximiser la capacité quelles que soient les conditions météorologiques. Le système ATM permettra l'utilisation

Efficace de la capacité des infrastructures. Les changements conceptuels seront les suivants :

- Le temps d'occupation des pistes sera réduit ;
- Les aéronefs pourront se déplacer en sécurité quelles que soient les conditions météorologiques sans que la capacité de l'aérodrome ne soit affectée ;
- Un guidage au sol précis des aéronefs à destination et en provenance des pistes sera nécessaire dans toutes les conditions ;
- La position (à un niveau de précision suffisant) et l'intention de tous les véhicules et aéronefs sur les aires de mouvement seront connues et mises à la disposition des membres appropriés de la communauté ATM.

#### **3.2.1.4. Conclusion**

Ces solutions ont toutes pour objectif d'accroître la capacité du système de contrôle pour traiter un trafic en constante évolution. Cependant, compte tenu de la croissance exponentielle de la demande du trafic aérien ces dernières années le problème de congestion persiste. Les organismes de gestion de trafic aérien se sont orientés vers une autre approche pour réduire la congestion.

### **3.2.2. Deuxième approche pour la décongestion aérienne Adapter la demande à l'offre par régulation du trafic aérien :**

#### **3.2.2.1. Introduction :**

Face à l'augmentation constante et continue du trafic aérien (augmentation moyenne annuelle de 9% depuis 1950) , et en dépit de l'augmentation concurrente des capacités de contrôle, le système global de la navigation aérienne a atteint dans les secteurs de grand trafic (Etats-Unis, Europe de l'ouest, Asie de l'est) un degré d'utilisation proche de la saturation provoquant de nombreux retards lors des périodes les plus chargées. Les premières victimes de la saturation ont été historiquement les aéroports. Ils restent, aux Etats-Unis, le principal goulot d'étranglement. Lorsque le nombre d'aéronefs souhaitant atterrir est supérieur à la capacité de l'aéroport, les contrôleurs en charge sont obligés d'imposer des attentes en l'air très coûteuses pour les compagnies. Pour résoudre ce problème, les premières recherches dans le domaine de la régulation du trafic aérien au milieu des années 80 ont été basées sur le principe « un retard au sol coûte moins cher qu'un retard en vol ». Il serait alors plus économique de retarder les aéronefs avant leur décollage lorsqu'on prévoit une demande plus importante qu'aux capacités disponibles. Ces recherches étaient plus orientées vers le modèle américain où la capacité de l'espace en l'air n'est pas critique.

Pour pouvoir prendre en compte les espaces aériens européens, où la saturation des espaces en route est également un problème majeur, il a été nécessaire d'étendre les recherches aux cas où la capacité de l'espace aérien en route est aussi limitative que les capacités aéroports.

Au fur et à mesure que des chercheurs se sont intéressés à ce sujet et à ses extensions, les autorités de la navigation aérienne ont dû mettre en place des mesures de régulation visant à "lisser" les pics de demande, en limitant le nombre d'aéronefs qui peuvent pénétrer dans un secteur donné pendant une durée donnée: ce mécanisme de régulation de trafic est appelé ATFM: la gestion des flux de trafic aérien et de la capacité ou Air Traffic Flow Management. Envers l'ATS, l'objectif de l'ATFM (en anticipant les situations de dépassement des capacités) est de lisser l'écoulement du trafic aérien et de protéger les contrôleurs aériens des surcharges, et envers les AOs l'objectif étant d'aider à la planification des vols et la minimisation des surcoûts liés à la congestion.

#### **3.2.2.2. La CFMU et les autres acteurs du trafic aérien :**

L'ATFM est donc un service de gestion globale du trafic aérien contribuant à assurer la circulation sûre, ordonnée et efficace des flux de trafic aérien. La CFMU fournit ce service de gestion des flux de trafic aux gestionnaires de l'espace aérien (Air Traffic Service ATS)

comprenant notamment les centres de contrôles aérien et aux utilisateurs de cet espace aérien (Aircraft Operators AOs) dont font partie les compagnies aériennes. La CFMU cherche à optimiser l'utilisation du système aérien : à la fois celle de l'espace-temps aérien (Airspace Time) et celle des capacités du système (capacités des centres de contrôles et des aéroports). Envers l'ATS l'objectif est de lisser l'écoulement du trafic et de protéger les contrôleurs aériens des surcharges. Envers les AOs l'objectif est d'aider à la planification des vols et de minimiser les surcoûts liés à la congestion [9].

### **3.2.2.3. L'évolution de la régulation aérienne : de l'ATFM à l'ATFCM :**

Depuis avril 2004 et la publication du document « Air Traffic Flow and Capacity Management Strategy » on assiste à un glissement terminologique de ATFM vers ATFCM pour désigner les activités de régulation assurées par la CFMU. Le C pour Capacity insiste ainsi sur le fait que les actions de régulation ne concerneront plus seulement la demande (le trafic) mais également l'offre (la capacité de contrôle), traduisant ainsi un rééquilibrage des objectifs de la CFMU en faveur des usagers des services de contrôle aérien [9].

### **3.2.2.4. La fonction de gestion des flux de trafic aérien et de la capacité (ATFCM) :**

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

L'expression «gestion des courants de trafic aérien et de la capacité» recouvre toutes activités relatives à l'organisation et à l'acheminement des courants de trafic aérien de façon que, tout en assurant que les vols des différents aéronefs se dérouleront de façon sûre, ordonnée et rapide, la totalité du trafic présent à un endroit donné ou dans une région donnée sera compatible avec la capacité du système ATC.

#### **3.2.2.4.1. Le but des opérations d'ATFCM :**

La gestion des courants de trafic aérien et de la capacité (ATFCM) a pour double objectif stratégique la protection du réseau ATM contre les surcharges et une meilleure adéquation entre les besoins des exploitants d'aéronefs, les aéroports, les capacités et le contrôle de la circulation aérienne.

La mise en œuvre de cette stratégie consistera à équilibrer la capacité et la demande, depuis la planification stratégique jusqu'à l'exécution tactique des vols, compte tenu des limites des aéroports et de l'espace aérien, d'événements inattendus ou de pointes de trafic anormales.

L'ATFCM sera le moyen privilégié pour assurer la ponctualité et l'efficacité des vols, tout en gérant au mieux la capacité disponible. Les principaux objectifs sont alors:

- Assurer la sécurité des services de la circulation aérienne en évitant les dépassements de capacité horaire des unités de contrôles (secteurs, arrivées, départs sur aérodrome).
- Assurer la fluidité dans l'écoulement du trafic aérien par une distribution régulière du trafic.
- Assurer une utilisation optimale de la capacité ATC disponible toute en minimisant les retards, en utilisant les espaces non encombrés pour des réacheminements (rerouteings), regroupements/dégroupements en fonction de la demande.
- Utilisation flexible de l'espace aérien.
- Assurer, dans la mesure du possible, le principe d'équité entre les vols "premier arrivé/premier servi".
- Fournir des informations aux utilisateurs ces derniers connaissent à l'avance les lieux régulés, les périodes de régulation et les raisons des retards prévus.

#### **3.2.2.4.2. Les phases d'exécution des opérations d'ATFCM :**

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

- La phase stratégique, qui consiste à définir un schéma général d'orientation du trafic en fonction des flux aériens.
- La phase pré-tactique (J-2), qui consiste à préparer, à partir de l'analyse statistique du trafic et la connaissance des effectifs disponibles le jour J, les mesures à prendre pour assurer le respect des capacités des secteurs.
- La phase tactique (jour J), qui consiste au suivi de la situation en temps réel de manière à prendre des mesures adaptatives afin de tenir compte des différences entre le trafic prévu et le trafic réel.

##### **a) La phase stratégique :**

Constitué d'un ensemble de mesures à long terme qui sont revues chaque année. Cette phase est un pré-requis aux phases pré-tactique et tactique, en terme d'organisation:

- définition des stratégies de régulation;
- définition des schémas d'orientation du trafic;
- définition des modalités d'utilisation des routes et itinéraires;
- participation à l'aménagement de l'espace (modification de la sectorisation)...etc;

C'est lors de cette phase que sont décrits les éléments qui permettront de mettre en œuvre les régulations. Elle nécessite donc une parfaite connaissance des flux de trafic des centres de contrôle ainsi que des mécanismes de régulation et d'allocation de créneaux. La phase stratégique s'applique aussi pour la gestion d'événements modifiant sensiblement les caractéristiques du trafic, comme par exemple, le salon du Bourget, la coupe de monde de football, ou encor le pèlerinage. Les modifications de la demande du trafic sont alors suffisamment importantes pour nécessiter une gestion différente de certains flux de trafic.

Cette phase intègre aussi l'analyse a posteriori d'événements permettant de faire évoluer le système: analyse d'incidents, de dépassement de capacité, de la répartition du trafic etc[9]. .

### Notion de scénario :

Pour prévenir les saturations plusieurs possibilités peuvent être envisagées, qui consistent à modifier la trajectoire spatiale des vols de manière à leur faire éviter les secteurs les plus chargés. Etant donné que les secteurs sont des polyèdres comportant un niveau de vol minimal et un niveau de vol maximal, les actions qui permettent d'éviter un secteur sont le changement de niveau de vol (éviter un secteur en passant au dessus ou au dessous) et les reroutements (éviter un secteur en suivant une autre route aérienne).

Les « scénarios » élaborés en stratégie ont pour objectif de préparer des propositions afin de désengorger certains axes sensibles. Il existe 3 types de scénario:

- RR (Re-Routeing);
- AR (Alternative Route);
- LC (Level Capping).

Les scénarios RR proposent pour des couples [aérodrome de départ; aérodrome de destination] de nouvelles routes permettant d'éviter un secteur ou un centre de contrôle.

Les scénarios AR proposent pour des couples [aérodrome de départ; aérodrome de destination] de nouvelles routes mais avec une contrainte quantitative : pas plus de n vols par heure, ou accepte des niveaux de vols normalement interdits dans le RAD (Route Available Document).

Les scénarios LC proposent pour des couples [aérodrome de départ; aérodrome de destination] des plafonnements en niveau de certaines routes pour réduire les surcharges.

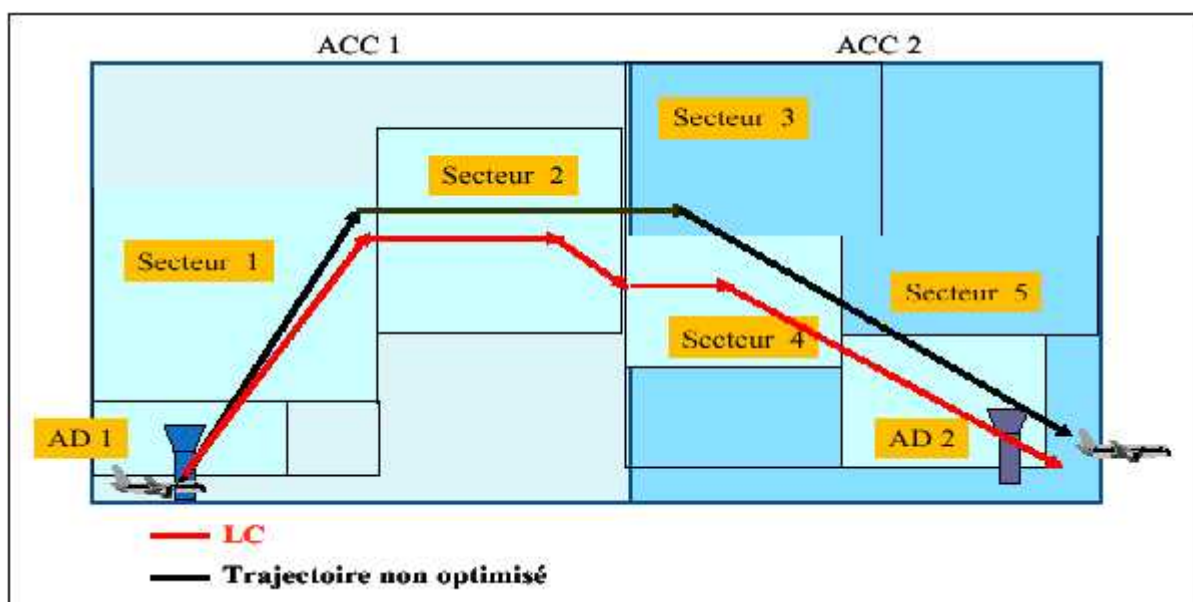


Figure 3.1. Le scénario Level Caping (LC).

## b) La phase pré-tactique :

L'objectif de cette phase est de prendre des mesures préventives afin d'éviter toute surcharge de secteurs. Basée sur une analyse du trafic passé (J-7), de l'activité militaire planifiée et du nombre de secteurs ouvrables (effectif contrôleurs), elle consiste en la détermination de configurations de secteurs (regroupements) permettant d'absorber la demande de trafic en générant le moins de délai possible. Si la demande de trafic dépasse la capacité d'accueil des différents secteurs, une demande de régulation pourra être faite à J-2.

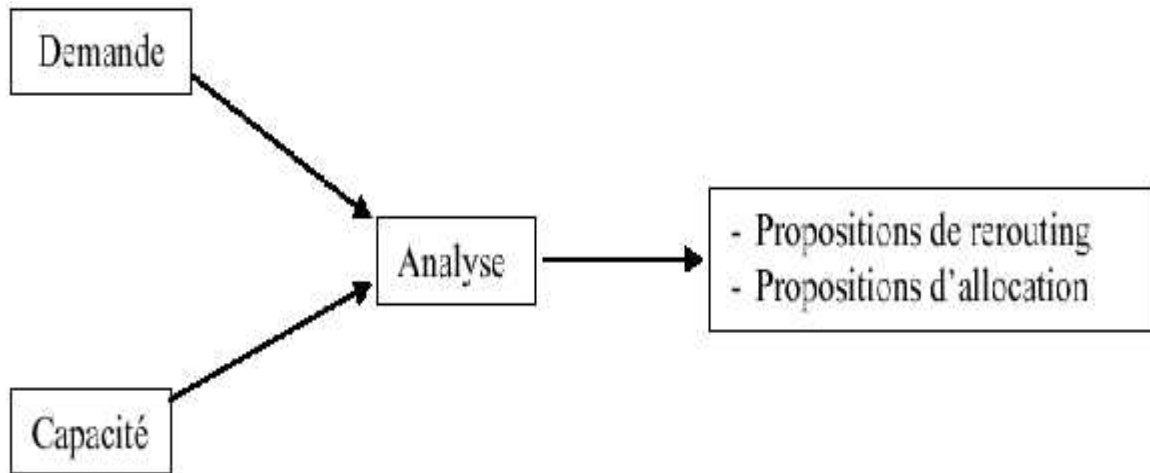


Figure3.2. Schéma fonctionnel des activités ATFCM pré-tactique

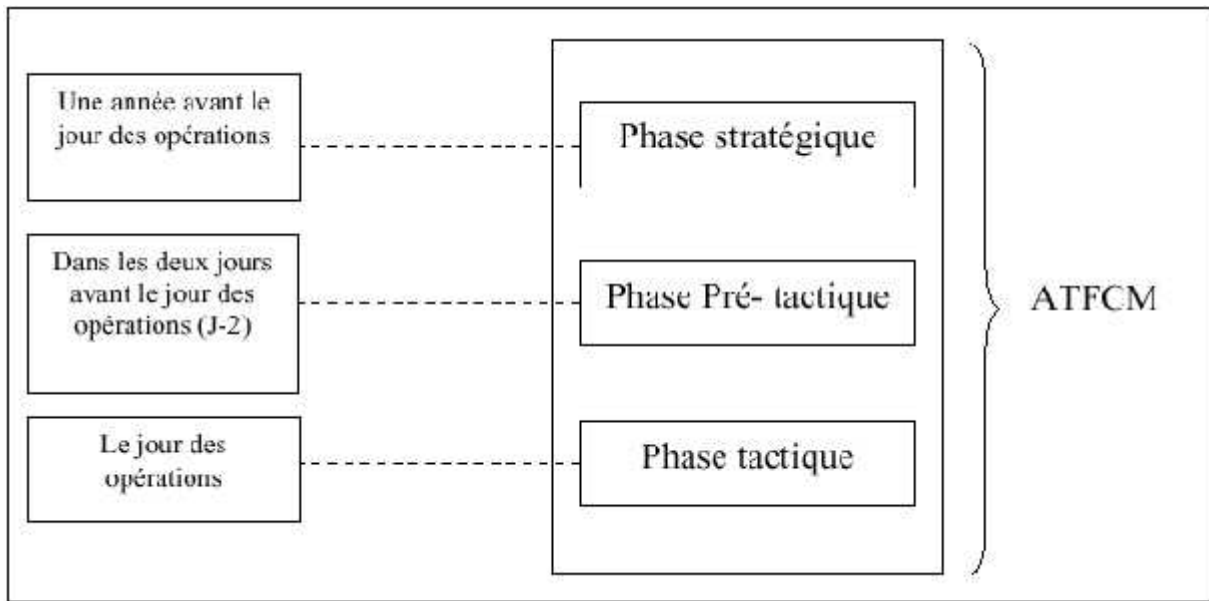
## c) La phase tactique :

L'objectif de la phase tactique est d'assurer, en temps réel, une charge de trafic gérable par les contrôleurs. Elle nécessite un travail de surveillance des charges de trafic qui pourra donner lieu à une activité de régulation.

La phase tactique est rendue nécessaire à cause des aléas de l'exploitation : évolution quantitative et qualitative des flux de trafic. Les opérations ATFCM tactiques devraient consister à :

- Exécuter les mesures tactiques convenues en Pré-tactique afin de réduire et de régulariser les courants de trafic là où la demande prévue dépasse la capacité;
- Surveiller l'évolution de l'état de la circulation aérienne le jour J.





**Figure 3.3. Organisation temporelle de l'ATFCM.**

#### **3.2.2.4.3. Type de vols exemptés des mesures de régulation :**

Dans le contexte de l'ATFCM, il convient d'exempter des mesures de régulation les types de vol ci-après:

Les vols provenant de zones non associées à la zone de responsabilité de l'autorité Algérienne sont exemptés de l'obtention de créneaux pour entrer dans les zones ATFM soumises à régulation.

Les vols en situation d'urgence, y compris les vols qui sont l'objet d'une intervention illicite;

- Les vols effectués à des fins humanitaires;
- Les vols effectués à des fins médicales;
- Les vols effectués pour des missions de recherche et de sauvetage;
- Les vols d'Etat ou avec statut de chef d'Etat;
- Autres vols expressément demandés par les pouvoirs publics.

#### **3.2.2.4.4. Les formes de régulation :**

Les mesures de régulation de la demande peuvent prendre différentes formes. Dans les systèmes les plus simples, les ACC qui exercent la régulation à l'égard des centres de contrôle régional voisins diffusent des avis demandant que les aéronefs concernés soient espacés selon des intervalles prescrits.

Par exemple un aéronef toutes les 10 minutes, en parle dans ce cas des " taux d'acceptation". Les aéronefs sont parfois appelés à suivre des trajectoires prédéfinies c'est " le schéma d'orientation de trafic" ou encore un rerouting qui consiste à dérouter l'appareil en vol en lui



imposant un changement de route et/ou de niveau de vol. Une autre forme de régulation consiste à retarder les aéronefs en vol en leur appliquant des attentes en route, ou en leurs demandant d'évoluer à des vitesses réduites pour permettre d'absorber au moins une partie des retards.

L'Attente en route ou le vol à un régime réduit ne sont pas attrayant pour les exploitants à cause de l'économie de carburant qui en résulte. Il faut toute fois observer qu'une vitesse réduite en route risque fort d'augmenter l'encombrement sur le tronçon de route et de conduire à une complexité accrue dans les secteurs.

Une forme améliorée et plus complexe de régulation des arrivées aux secteurs congestionnés est possible avec un système automatisé, c'est le processus " d'Allocation des Créneaux au Départ ".

Donc on distingue Deux mesures de régulations pour la décongestion de l'espace aérienne

#### **3.2.2.4.4.1. Les actions spatiales :**

Pour prévenir les saturations, une première possibilité consiste à modifier la trajectoire spatiale des vols, de manière à leur faire éviter les secteurs les plus chargés. Etant donné que les secteurs sont des polyèdres comportant un niveau de vol minimal et un niveau de vol maximal, les actions permettant d'éviter un secteur sont le changement de niveau de vol qui pourra permettre de passer au dessus ou en dessous d'un secteur saturé et les reroutements qui permettent d'éviter un secteur en suivant une autre route aérienne. Pour le reroutement on peut envisager de prévoir une réserve de carburant supplémentaire destinée à la régulation pour les vols planifiés prévus pendant une période chargée et susceptibles d'être soumis à des régulations, on va voir quelques exemples de recherche dans ce domaine [9].

#### **a) Les problèmes de routage et de reroutement dynamique :**

Deux types de problèmes présents dans la littérature spécialisée présentent des points communs avec le problème d'optimisation de la régulation court terme, mais abordés à des échelles de temps différents : plus en amont pour les problèmes d'allocation de routes et de niveaux, plus en aval pour les problèmes de reroutement dynamique.

#### **b) Allocation de route et de niveaux de vols aux aéronefs :**

Un problème courant dans la recherche sur les transports est le problème de routage des véhicules sur un réseau. Dans le cas du trafic aérien ce problème consiste à déterminer pour une journée donnée les routes, les niveaux de vol, voire les créneaux de décollage alloués aux vols planifiés. Ce problème est abordé d'un point de vue planification, c'est-à-dire plutôt dans le cadre de l'ATFCM pré-tactique, quelques jours avant le décollage. La fonction objective recherche alors à minimiser les conflits potentiels de manière à diminuer la charge des contrôleurs. Ce problème vise à rationaliser le dépôt des plans de vols.

### **c) Le reroutement dynamique :**

Dans les cas où les conditions météo sont extrêmes et dangereuses ou d'activités militaires empêchant le survol de zones complètes de l'espace aérien, la résolution du problème de reroutement dynamique consiste à trouver une trajectoire pour un aéronef évitant les zones de perturbation tout en minimisant la consommation supplémentaire de carburant. Ce problème se situe quasiment dans le cadre du contrôle aérien en temps réel [9].

#### **3.2.2.4.4.2. Les actions temporelles :**

Les saturations concernent des secteurs-périodes, les temps de parcours dépendent du temps, certains itinéraires sont ouverts ou fermés en fonction de la date ou du moment de la journée. On souhaite donc apporter une réponse temporelle, c'est-à-dire proposer des solutions qui n'utilisent pas seulement les alternatives spatiales (reroutement, changement de niveau) mais aussi les alternatives temporelles. Les actions de régulation permettant de jouer sur la dimension temporelle d'une trajectoire sont l'attente en l'air ou au sol pour les avions n'ayant pas encore décollé et la modulation de la vitesse de croisière entre deux vitesses minimale et maximale admissibles. Il existe également des points d'attente définis en fonction de critères opérationnels et environnementaux. Généralement la procédure d'attente au dessus de ces points est également codifiée,

### **a) Processus d'Allocation des Créneaux au Départ :**

Le processus de régulation par "Allocation des Créneaux au Départ", consiste à retarder les horaires de décollages des vols impliqués dans les secteurs surchargés. Ces délais sont imposés à un vol donné avant sa mise en route.

L'objectif de l'affectation de ces délais est de respecter les contraintes de capacité en route fournies par chaque centre de contrôle suivant leur schéma d'ouverture quotidien. Aussi, plutôt que de faire attendre en l'air les aéronefs, il a été décidé de leur attribuer des créneaux de départ (sous forme de retard par rapport à l'heure de départ demandée) et les faire attendre au sol, non seulement la sécurité y gagne, puisque les risques d'abordage sont moindres au sol que dans des circuits d'attente saturés, mais les compagnies y retrouvent-elles -au moins en partie- leur compte puisque l'attente au sol est moins coûteuse que l'attente en vol, ce qui permet aussi de respecter les contraintes d'environnement en réduisant les émissions de gaz polluant. Une telle régulation permet de limiter le nombre d'aéronefs entrant dans un espace donné pendant une durée spécifiée.

Elle a un double but :

- Protéger les secteurs des surcharges de trafic préjudiciables à la sécurité;
- Optimiser l'utilisation de l'ensemble des capacités de contrôle offertes aux usagers.

## **b) Le Ground Holding Problem (GHP) :**

Basé sur l'idée qu'un retard au sol est moins coûteux qu'un retard en vol, ce problème cherche à allouer des retards au décollage des avions afin d'éviter des temps d'attente en vol dus à la capacité limitée de l'espace aérien et des aéroports lors de leurs arrivées. Le GHP est aussi quelquefois appelé *Slot Allocation Problem* (SAP) dans la littérature spécialisée. Les premières approches ont été réalisées aux Etats-Unis où les problèmes de saturation sont essentiellement localisés au niveau des aéroports, ce qui explique que la capacité des secteurs n'ait pas été prise en compte dans les premiers modèles. D'une manière naturelle les chercheurs se sont d'abord intéressés à la version la plus simple du problème dont la résolution pourra ensuite servir de base pour la résolution des extensions. Dans cet esprit, la version la plus ancienne et la plus simple du GHP est le *Single-Airport Ground Holding Problem* (SAGHP) dans lequel on ne considère qu'un seul aéroport d'arrivée pour un ensemble donné d'aéroports de départ. On considère au contraire un réseau entier d'aéroports dans le *Multi-Airport Ground Holding Problem* (MAGHP).

Si aux Etats-Unis les saturations sont limitées aux aéroports, ce n'est pas le cas en Europe en raison de la proximité de grands pôles d'échanges et de la complexité induite par le découpage territorial. Pour pouvoir prendre en compte ces saturations, ils ont introduit la capacité de l'aéroport de départ ou la capacité des secteurs en vol tant pour le SAGHP que pour le MAGHP: on parle alors de *Air Traffic Flow Management Problem*, on trouve aussi des auteurs précisant « with en-route capacities » [1].

## **Conclusion**

La régulation ATFCM au sol devrait être appliquée principalement lorsque la demande est bien au dessus de la capacité de 10% ou plus. Dans le cas contraire, l'utilisation de telles mesures ne permet pas de diminuer les surcharges et génère des retards superflus. Ainsi, lorsque la demande dépasse fortement la capacité, la politique de retard au sol devient plus efficace, après tous les efforts d'accroissement de la capacité.

## Chapitre 4 :

### La congestion de l'espace aérien en Algérie

#### 4.1. Introduction :

Dans tous les échanges, une inadéquation de l'offre avec la demande se traduit par l'apparition de ((files d'attente)). Cette attente signifie que l'échange est décalé dans le temps, et se manifeste dans le cas du contrôle aérien sous forme de congestion.

Nous avons vu aux chapitres précédents l'importance que prend La congestion dans le transport aérien. Ils sont désormais une caractéristique régulièrement dénoncée de ce mode de transport. Ses effets sont dommageables pour l'ensemble de la société. Les retards sont à l'origine de nombreuses protestations, notamment de la part des passagers, à cause du temps perdu et des conséquences sur leurs autres activités. Il nous a semblé intéressant d'avoir également l'avis des contrôleurs aériens pour :

- déterminer l'origine des difficultés auxquelles est confronté leur métier ;
- connaître les solutions envisagées.

C'est pourquoi, nous avons lancé une enquête auprès de l'ensemble des contrôleurs aériens du « Centre de Contrôle Régional », dont le siège est situé à CHERARBA. Cette consultation des contrôleurs s'articule autour des trois grands thèmes que nous avons relevés :

- les problèmes inhérents au contrôle aérien ;
- les origines de la congestion aérienne ;
- la mise en place d'un service ATFM.

C'est avec un support écrit et grâce à de nombreux entretiens que les contrôleurs ont été consultés.

Les résultats de cette enquête apportent des enseignements fondamentaux. La mission essentielle du contrôle aérien étant d'éviter les accidents, les contrôleurs jugent positivement le bilan de leur activité.

#### 4.2. Situation en FIR Alger:

En Algérie, le transport aérien constitue l'une des branches les plus dynamiques de l'économie algérienne. La croissance de l'économie du pays est donc en partie soutenue par la branche « transport aérien ». Ce secteur relève du ministère des transports. Ces attributions sont définies par lois et sont exercées par le biais de la Direction de l'Aviation Civile et de la météorologie (DACM) structurée en sous Directions à savoir, la sous Direction du Transport Aérien, la sous Direction de la Navigation Aérienne (ENNA), la sous Direction de la Météorologie (ONM) et la sous Direction des Aéroports (EGSA). Ces sous Directions sont

chargées non seulement de l'élaboration des textes et règlements mais aussi de leur suivi et de leur contrôle.

Les analyses tenues ces dernières années ont montré que le trafic aérien dans la FIR Alger, bien sensible aux fluctuations économiques et aux aléas conjoncturels nationaux et internationaux, est en constante progression (3% à 4%). La position géographique à la limite des deux continents l'Europe et l'Afrique fait de cette FIR un partenaire incontournable dans les grandes rencontres qu'organise l'OACI dont elle est membre. La croissance de son industrie pétrolière, la volonté politique du développement, le développement du tourisme et des voyages d'affaires ainsi que la libéralisation du transport aérien sont à l'origine de la croissance considérable que connaît actuellement le transport aérien en Algérie.

Dans ce contexte, la capacité actuelle du système de contrôle dans la FIR Alger a bien atteint son objectif jusqu'ici, bien que parfois il est constaté une sous capacité. La demande présente des pointes dans le temps et dans l'espace : certains jours, certaines heures et certaines zones sont plus chargés que d'autres.

Ces contraintes vont probablement s'intensifier à l'avenir, à mesure que le transport aérien continuera à se développer [11] .

#### 4.2.1. Présentation des secteurs de contrôle:

La totalité de l'espace aérien Algérien est appelé « FIR Alger ». Le découpage de celle-ci (en huit secteurs de contrôle) est basé sur des constats et des analyses de trafic. Il a été établi en fonction des routes aériennes, des moyens de radionavigation, des aérodromes et également de la charge de trafic.

Secteurs	Classes	Limites inférieurs	Limites supérieurs
ALGER TMA Centre Espace Supérieur	A	FL 245	FL 445
ALGER TMA Centre Espace Inférieur	D	450 m GND/MSL	FL 245
NORD EST TMA NE	D	450 m GND/MSL	FL 450
ORAN TMA Ouest	D	450 m GND/MSL	FL 450
SUD/CENTRE	F	GND/MSL	UNL
SUD/EST	F	GND/MSL	UNL
SUD/OUEST	F	GND/MSL	UNL
SUD/SUD	G	GND/MSL	UNL

**TAB.4.1. Les secteurs aériens**

Remarque

Les secteurs sont séparés par les lignes vertes comme indiqué dans la figure.



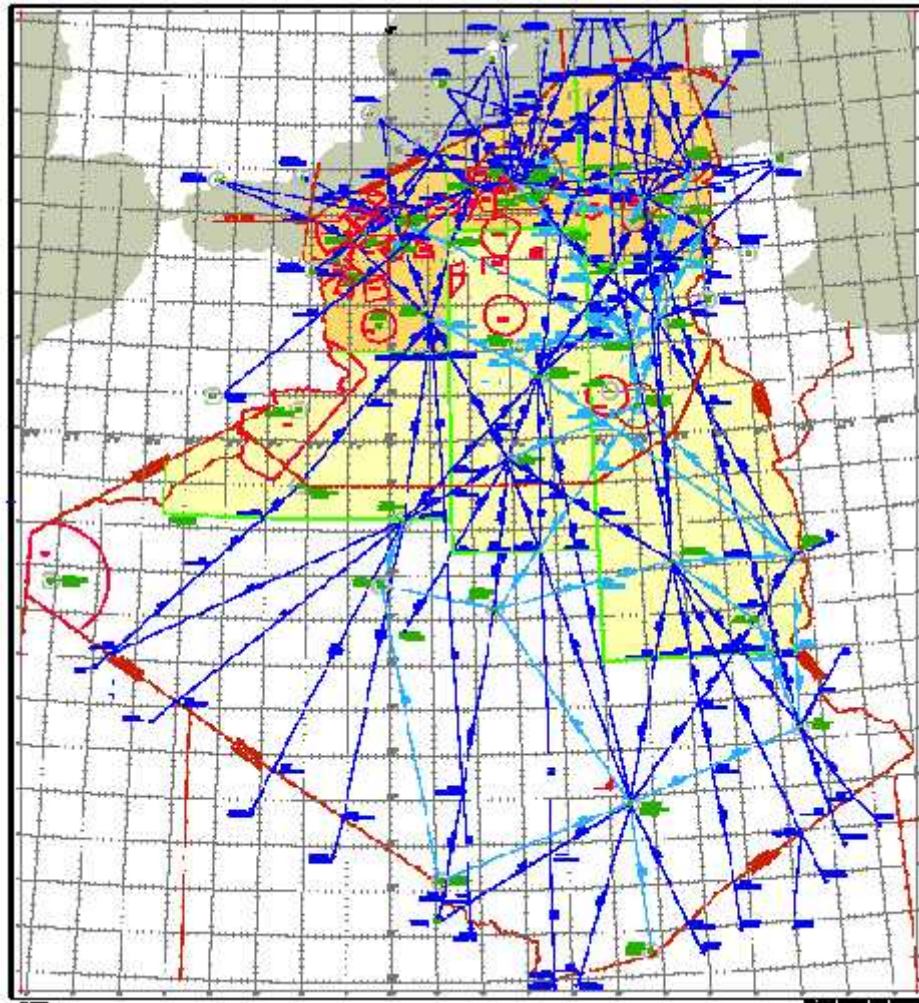


Figure 4.1.la carte croisière d'Algérie.

Chaque secteur a ses spécificités et ses caractéristiques :

- Le secteur Sud-Sud : Couvre la partie extrême Sud de l'Algérie. L'essentiel du trafic aérien dans ce secteur est de type transit. La plus part du temps les transits sont des vols en provenance de l'Europe à destination de l'Afrique ou l'Amérique du sud et vis versa (la pointe de trafic est le plus souvent la nuit aux environs de 00 :00 à 02 :00 GMT).
- Le secteur Sud-est : à la particularité d'avoir une forte concentration des vols VFR, le plus souvent ce sont des petits appareils effectuant des photos aériennes ou des relevés des terrains, ou des vols entre les plateformes pétrolières (au voisinage de DAUH « Hassi Massaoud ») et la plus forte pointe de trafic est aux environs de 10 : 00 GMT).
- Le secteur Nord-Ouest : pendant les périodes de forte demande de trafic, ce secteur est d'une complexité extrême dans la mesure où la majeure partie de cet espace aérien est composée de zones dangereuses ou interdites au survol d'appareils civils et actuellement les contrôleurs du secteur n'utilisent plus le contrôle aux procédures avec la nouvelle technologie radar.

- Le secteur Nord-est : ce secteur est caractérisé par sa complexité au point de vue structure du réseau de route, nombre d'aérodromes, et malgré l'évolution qui a été faite en matière des équipements (le passage au contrôle radar) les contrôleurs utilisent aussi le contrôle aux procédures à cause du manque de couverture radar.
- Le secteur Centre Alger : le trafic aérien est considérablement plus en évolution dans ce secteur que dans tous les autres secteurs. La majorité du trafic est soit en montée ou en descente (La pointe de trafic est le plus souvent enregistrée la matinée). En raison de la présence de l'aérodrome international d'Alger Houari Boumediene et de l'aérodrome de Boufarik, donc de la charge de trafic induite, ce secteur nécessite la plus part du temps plusieurs contrôleurs pour sa gestion. Dans cette optique, il a été partagé en : secteur Inférieure situé jusqu'au FL 245, et secteur Supérieure au-delà. Ces deux secteurs sont souvent regroupés par manque d'effectifs qualifiés au contrôle radar, (il faut au moins neuf ans d'expérience dans le CCR Alger pour accéder au poste de premier contrôleur).

Enfin pour toutes ses difficultés qui se trouvent dans les secteurs nous avons choisi le CCR comme exemple pour lancer une enquête auprès des contrôleurs aériens de centre régionale.

### **4.3. Présentation et modalités de l'enquête:**

Cette enquête auprès des contrôleurs aériens en route algériens a eu pour origine des discussions avec plusieurs contrôleurs à l'occasion d'un colloque sur l'avenir du transport aérien, en juin 2009 à Alger. Elle s'est alors organisée autour d'un questionnaire, dans le centre de contrôle régional, et s'est poursuivie par plusieurs entretiens avec des contrôleurs, ainsi qu'avec du personnel chargé de l'encadrement dans le centre et dans notre département aéronautique à l'université Saad Dahleb de Blida. Les contrôleurs ont donc été consultés dans cette enquête de différentes manières, les échanges furent écrits et oraux [6].

#### **4.3.1. Le questionnaire :**

Le questionnaire transmis au centre de contrôle régional (CCR), comportait huit questions. Elles se rapportaient aux problèmes de congestion en Algérie. Ce questionnaire donna lieu à très peu de réponses. Nombreux sont les contrôleurs qui n'ont pas souhaité y répondre, ne se considérant pas concernés par les préoccupations relatives à leur activité. Pour d'autres, divers obstacles les empêchèrent.

#### **4.3.2. L'objet des questions :**

Les huit questions posées aux contrôleurs dans le cadre de l'enquête s'orientaient autour de trois axes : les problèmes inhérents au contrôle aérien, les origines de la congestion aérienne et les solutions envisagées, la mise en place d'un service ATFM.

### 4.3.3. La diffusion du questionnaire :

Le questionnaire a été distribué au cours de juin 2009 au centre algérien de contrôle régional. Avec 15 réponses, c'est 10% des contrôleurs qui ont participé à l'enquête écrite.

Ce faible taux de réponses s'explique qu'il existe une certaine tradition à répondre peu aux questionnaires.

Plusieurs réponses étaient proposées à chaque question, mais souvent les contrôleurs ont souhaité donner des arguments à leurs réponses. Elles firent donc l'objet de longs développements, rendant plus difficile la synthèse, mais facilitant l'analyse des résultats. Le faible taux de réponse justifie de considérer les résultats avec beaucoup de précaution.

### 4.3.4. L'appréciation par les contrôleurs le phénomène de congestion :

La première partie des questions consistait à faire un bilan de la situation actuelle. L'objectif des questions était de rechercher les raisons qui permettent d'expliquer l'existence d'importante congestion, afin de mieux pouvoir y remédier.

#### 4.3.4.1. Le fonctionnement du contrôle aérien :

La première question ((Selon vous, comment le contrôle aérien fonctionne-t-il actuellement?)), quatre réponses, ((très bien)), ((bien)), ((moyennement bien)) et ((mal)), étaient proposées. Leurs réponses se répartissent de la façon suivante :

Très bien	5	33 %
Bien	8	53 %
Moyenne bien	2	14 %
Mal	0	0 %
Total	15	100%

Une très grande majorité des contrôleurs, un peu plus de 53 % ont répondu ((bien)). Ils justifient leurs choix en rappelant la mission essentielle du contrôle aérien, celle d'éviter toute collision entre avions. Aucun accident aérien récent en Algérie n'ayant eu pour cause une défaillance du contrôle en route, les contrôleurs expriment à travers ce résultat leur Satisfaction vis-à-vis de la raison d'être de leur activité professionnelle.

#### 4.3.4.2. Le niveau de capacité atteint :

La deuxième question : quel est le niveau de capacité atteint à l'heure actuelle ? Quatre réponses étaient proposés : ((14 aéronefs / Heure)); ((20 aéronefs / Heure)); ((25 aéronefs / Heure)); ((Indéterminé)).



14 aéronefs / Heure	<b>3</b>	<b>21 %</b>
20 aéronefs / Heure	1	7 %
25 aéronefs / Heure	<b>0</b>	<b>0 %</b>
Indéterminé	11	72 %
Total	15	100 %

La majorité des contrôleurs ont témoigné que la capacité n'est pas déterminée, ils ont argumenté par le pic du trafic qui dépasse 30 aéronefs / heure dans les saisons estivales et ils sont obligés de le subir sans aller à la régulation, mais le chef du quart affirme que le contrôleur peut refuser le trafic qui dépasse 14 aéronefs / heure et qui correspond au nombre d'aéronefs utilisés dans l'exercice de qualification.

#### 4.3.4.3. Les problèmes de contrôle aérien :

La troisième question cherchait donc à compléter leur perception du fonctionnement actuel du contrôle aérien, en leur demandant de citer ((*le principal problème auquel le contrôle aérien est confronté ?*)).

Une sécurité pas toujours assurée	3	21 %
L'existence du retard	8	53 %
Un environnement mal respecté	4	26 %
Total	15	100 %

A travers leurs réponses, on voit que les contrôleurs aériens rejoignent les passagers et les compagnies, puisqu'environ 53 % considèrent que le principal problème est (*l'existence de retards*). En revanche, alors que dans la première question ils se montraient, en majorité, satisfaits du fonctionnement du contrôle aérien par rapport à la sécurité, la principale inquiétude de 21 % des contrôleurs porte tout de même sur ((*une sécurité pas toujours assurée*)). Seuls presque 26 % déplorent ((*un environnement mal respecté (pollution de l'air, bruit. . .)*)).

#### 4.3.4.4. Les origines de la congestion aérienne :

Face à ce problème de congestion affirmé par les usagers, et aussi pris en considération par les contrôleurs, notre objectif avec les deux questions suivantes est de faire ressortir les responsabilités, d'une part, du contrôle aérien et, d'autre part, des compagnies aériennes. ((*Selon vous, pour quelle raison le Contrôle aérien peut-il être considérée en partie responsable de la congestion du transport aérien?*)), aucun contrôleur ne pense que ((*le contrôle aérien n'a aucune responsabilité dans la congestion aérienne*)).

Des capacités aéroportuaires insuffisantes	1	7 %
Une mauvaise organisation du contrôle aérien au niveau algérien	1	7 %
Un manque de coordination entre les utilisateurs civils et militaires.	4	26 %
Un sous-effectif des contrôleurs aériens qualifiés	7	46 %
Manque d'équipements sophistiqués	2	14 %
Le contrôle aérien n'a aucune responsabilité dans la congestion aérienne	0	0 %
Total	15	100 %

Seul un contrôleur, met en cause (*des capacités aéroportuaires insuffisantes*). Cependant, de manière objective, on remarque actuellement que peu d'aéroports algériens sont saturés. Mis à part les principaux aéroports algériens, tels que celui d'Alger (Houari Boumediene) ou de Hassi Mesaoud, le trafic dans les aéroports est limité par la congestion du contrôle en route, alors qu'aux Etats-Unis c'est l'inverse, les aéroports sont surchargés et limitent la quantité de trafic pour le contrôle.

Ils sont également peu nombreux, 14 %, à annoncer (*Manque d'équipements appropriés*).pour les autres Ils justifient leur réponse de la nouvelle technologie de contrôle radar qui introduire au niveau de CCR pour les TMA : Secteur Centre Alger (12 mars 2009) Secteur Nord-est (4 juin 2009), Secteur Nord-Ouest (4 juin 2009), malgré tout ça, reste toujours un problème de couverture dans la TMA Est.

Seul un contrôleur, met en cause (*Une mauvaise organisation du contrôle aérien au niveau algérien*)

A travers leurs réponses, les contrôleurs aérien confirme (Un sous-effectif des contrôleurs aériens qualifiés) environ 46 %, Ils justifient leur réponse par le faible taux de contrôleurs qualifiés au contrôle radar parmi l'ensemble des contrôleurs du CCR, 12 seulement sont qualifiés au contrôle radar.

Pour d'autres, un peu moins de 26 %, ont insisté sur (*Un manque de coordination entre les utilisateurs civils et militaires.*). Pourtant, même si les militaires peuvent à tout moment activer une zone militaire dans laquelle aucun aéronef civil ne doit circuler, beaucoup reconnaissent que des efforts ont été faits. Pour que les militaires désactivent une zone, en autorisant le trafic civil à la traverser à nouveau, dès qu'ils n'ont plus besoin et libèrent ces zones pendant les périodes de hausse trafic.

#### 4.3.4.5. La mise en cause des stratégies des compagnies :

La question suivante, très attendue par les contrôleurs, leur demandait ((*D'après vous, pourquoi les usagers du ciel, en grande majorité des compagnies aériennes, sont-ils en partie à l'origine de la congestion aérienne?*)). Les contrôleurs ont insisté sur le fait que leur responsabilité dans la congestion aérienne est partielle, notamment en précisant que si cette part était résorbée, de nombreux vols seraient encore retardés en raison des autres causes.

Les usagers déterminent eux-mêmes les routes aériennes qu'ils suivront, que les autorités de la navigation aérienne puissent modifier leurs décisions	3	21 %
Les compagnies aériennes ont recours aux nouvelles stratégies telles que la concentration de leurs vols à certaines heures.	2	14 %
La libéralisation du transport aérien.	2	14 %
Les usages sont absolument pour rien dans la congestion aérienne	0	0 %
Autre raisons	5	30 %
Ne se prononcent pas	3	21 %
Total	15	100 %

21 %, de contrôleurs qui ont mis en cause le fait que ((*les usagers déterminent eux-mêmes les routes aériennes qu'ils suivront, que les autorités de la navigation aérienne puissent modifier leurs décisions*)). Pour le moment, les compagnies choisissent elles-mêmes les routes qu'elles souhaitent emprunter. C'est pour déterminer leurs heures de passage dans les secteurs, et non leurs routes, que les compagnies doivent s'en remettre aux autorités du contrôle aérien. Les compagnies peuvent se voir refuser, ou plus exactement décaler, une heure de traversée de l'espace aérien, mais elles ne peuvent se voir imposer une autre route.

#### 4.3.4.6. Les contraintes nuisibles au travail :

La question cherchait à identifier, parmi des éléments de l'environnement professionnel des contrôleurs, ((*Quelle est la principale contrainte à laquelle vous êtes soumis et qui nuit à votre travail?*)), 0 % des contrôleurs ont répondu (( *aucune* )).

L'équipement	4	26 %
La hausse du trafic	6	39 %
L'organisation du travail	1	7 %
La fatigue	2	14 %
Le stress	2	14 %
Aucune	0	0 %
Total	15	100 %

#### **a) Les ((petites)) contraintes professionnelles**

Les contrôleurs sont peu nombreux à avoir sélectionné (( *le stress* )), avec moins de 14 %. On aurait pu s'attendre à un pourcentage plus élevé, car le stress est vraisemblablement très présent, notamment dans les périodes où le niveau du trafic atteint voire dépasse la capacité. Les chercheurs sur les comportements humains ont montré que le stress des contrôleurs était un élément favorable pour leur travail. Le caractère stimulant du stress assure une meilleure vigilance des contrôleurs, à condition qu'il apparaisse de façon régulière, en alternant avec des phases sans stress, et non pas en se développant d'une manière continue. Ce phénomène est connu des contrôleurs et c'est certainement pour cette raison que même s'ils vivent des moments de stress, ils ne considèrent pas que cela nuise à leur travail. ((*La fatigue*)) et (( *l'organisation du travail* )) ont été choisies respectivement à un peu plus de 7 % et 14 %. Au sein des centres de contrôle, tout est fait pour limiter la fatigue, ce qui doit justifier le faible résultat de cette réponse. En effet, le temps de travail, autour de 32 heures par semaine, est aménagé de façon à éviter aux contrôleurs une surcharge de fatigue et de manière à leur permettre d'exercer leur activité en étant dispos. Les contrôleurs sont répartis en équipes et les tours de service alternent plusieurs journées de travail, souvent trois, avec une période de repos, de deux à quatre jours. De plus, il existe une limite de temps légale, de l'ordre de deux heures et demie, au-delà de laquelle les contrôleurs ne peuvent travailler sans interruption. Ainsi dans les centres, des espaces pour se détendre sont mis à leur disposition afin qu'ils profitent de leurs pauses d'une demi-heure ou d'une heure. Mais cette alternance fréquente entre phases de travail et phases de repos peut aussi lasser les contrôleurs. Certains préféreraient faire plus d'heures d'affilée et pouvoir réellement profiter d'un temps disponible plus long.

#### **b) Les (( grandes )) contraintes professionnelles**

26 % des contrôleurs ont coché ((*l'équipement*)) pour sa vétusté comme les équipements des fréquences. Cependant, cette réponse est à relativiser du fait, que des nouveaux équipements ont été installés dans le centre de contrôle régionale, Il s'agit de contrôle radar.

La contrainte la plus sélectionnée, par 39 % des contrôleurs, est ((*la hausse du trafic*)). Ce choix coïncide avec les problèmes de congestion sur certain secteur de contrôle.

#### **4.3.4.7. Les mesures pour réduire la congestion :**

Le taux de croissance du trafic ayant été important depuis une dizaine d'années, nous avons voulu connaître les mesures prises face à cette augmentation et nous avons donc demandé aux contrôleurs ((*Comment la forte hausse de trafic de ces dernières années a-t-elle été gérée dans votre centre?*)).

D'après les résultats obtenus de questionnaire ainsi que la discussions avec quelques personnels chargés de l'encadrement et le chef du CCR on a constaté la mise en marche de plusieurs projets Et la planification d'autre projet à court et long terme.

Les Principaux projets réalisés par ENNA :

### **a. Projet IEBA :**

Ce projet a été confié à un groupement ex ENEL (Algérie) et Siemens (Allemagne), cette dernière société ayant été choisie sur la phase de l'étude effectuée préalablement par son bureau d'études et une consultation internationale lancée pour la réalisation Le projet IEBA a été classé d'importance nationale par décret 93/270 du 10/11/93. Ce projet est constitué de :

Phase 1 : Etude et réalisation des balisages lumineux des deux pistes d'atterrissage avec les sous stations d'énergie et un centre de contrôle pour chaque aéroport.

Phase 2 : Aménagement de la distribution électrique. (juillet 1998 - Décembre 2005) [11].

### **b. Projet TRAFCA :**

Un des objectifs affichés par le Plan National de la Navigation Aérienne ou PNNA de 1989 est d'accroître la capacité et les performances du système de navigation aérienne algérien Pour y parvenir, un projet de modernisation de l'espace aérien (TRAFCA) a été lancé en 1993.

Objectifs du projet TRAFCA :

- Améliorer la sécurité de la circulation aérienne
- Augmenter la capacité de gestion du trafic aérien
- Fournir des outils afin d'assister le contrôleur et d'augmenter la capacité de ce secteur;
- Alléger le volume de travail du contrôleur en prenant en charge les tâches fastidieuses
- Assurer l'intégrité des données ;
- Visualisation intelligente des données de trafic aérien
- Réduire la charge des canaux vocaux
- Prévoir et réguler le trafic aérien.

Ce projet est constitué de deux parties SYRAL (Système Radar Algérien) pour la partie Radar et SAACTA (Système Algérien Automatisé de Contrôle du Trafic Aérien) pour la partie Système cette partie comprend également l'équipement et la mise en œuvre d'un centre de qualification pour les besoins de perfectionnement et de recyclage pour le personnel technique de la navigation Aérienne.

La partie SYRAL :

Cette partie comprend principalement la couverture radar de la partie Nord et des Hauts Plateaux de la région d'information de vol d'Alger, par l'acquisition et la mise en service de cinq stations radar secondaires d'une portée de 450 Km. Ces dernières seront installées à Alger, Oran, Annaba, El Bayadh et El Oued à noter que la station d'Alger comporte un radar primaire complanté avec le secondaire

La partie SAACTA :

Cette partie du projet TRAFCA a porté sur :

- L'acquisition, l'installation et la mise en service d'équipements pour les besoins du Centre de Contrôle Régional d'Alger (ainsi que des approches des aéroports d'Alger, d'Oran d'Annaba et de Constantine) constitués de systèmes de traitement de données Radar corrélées avec les données plan de vol, des pupitres d'exploitation, de systèmes de gestion des communications téléphonie de radio) et des systèmes d'enregistrement de données et de replay.
- La mise en œuvre de l'ADS dans la partie sud de la FIR Alger (dans une seconde phase)
- La réalisation d'un CQRENA (Centre de Qualification, de Recyclage et d'Expérimentation de la Navigation Aérienne) doté d'équipements pédagogiques : simulateurs de contrôle de trafic aérien pour l'aéroport et pour le contrôle en route, des laboratoires techniques, un système de développement software. Ce centre permettra en outre, de qualifier le personnel technique chargé de l'exploitation du système TRAFCA ainsi que sa maintenance [11].

### **c. Le projet (RVSM) :**

La Réduction du Minimum de Séparation Verticale qui a été implémentée au nord de la FIR Alger le 25/10/2007 et pour le reste de la FIR (secteur sud-sud) le 25/09/2008 (ainsi que toute la région AFI). Ce qui permet aux systèmes ATM d'évoluer afin de pouvoir absorber cet accroissement continu du trafic.

De toutes les mesures arrêtées actuellement, la mise en œuvre normalisée par l'OACI, le RVSM a été jugée la plus rentable pour répondre à ce besoin, grâce à la mise à disposition de six niveaux de vol supplémentaires utilisables dans la bande d'espace aérien comprise entre les FL 290 et FL 410 inclus [11].

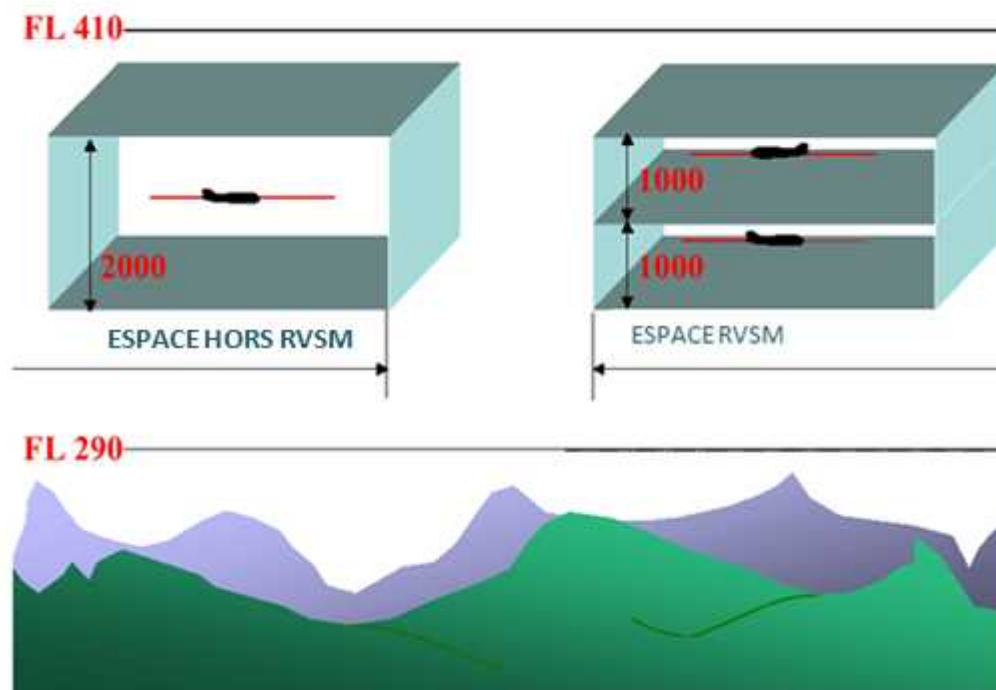


Figure 4.2. Réduction d'espacement par le système RVSM.

#### d. Système CPDLC (communications contrôleur-pilote par liaison de données) :

Ce système (utilisé au CCR d'Alger) qui permet les communications vocales entre pilotes et contrôleurs de la circulation aérienne va de pair avec la transmission des messages textuels d'écran à écran. Ce qui allégera la charge de travail aux deux bouts de la chaîne et libérera, au profit de communications plus urgentes, des canaux radio déjà très encombrés et pour donner plus de redondance au système de communication.

#### e. Le contrôle Radar :

Le passage de contrôle procédure au contrôle radar dans le CCR (Secteur Centre Alger (12 mars 2009) Secteur Nord-est (4 juin 2009), Secteur Nord-Ouest (4 juin 2009), et cette technologie facilite la tâche de travail de contrôleurs avec plus de précision et un gain considérable en terme de capacité (séparation horizontale de 10 NM entre les aéronefs contrairement au contrôle procédure 80NM)

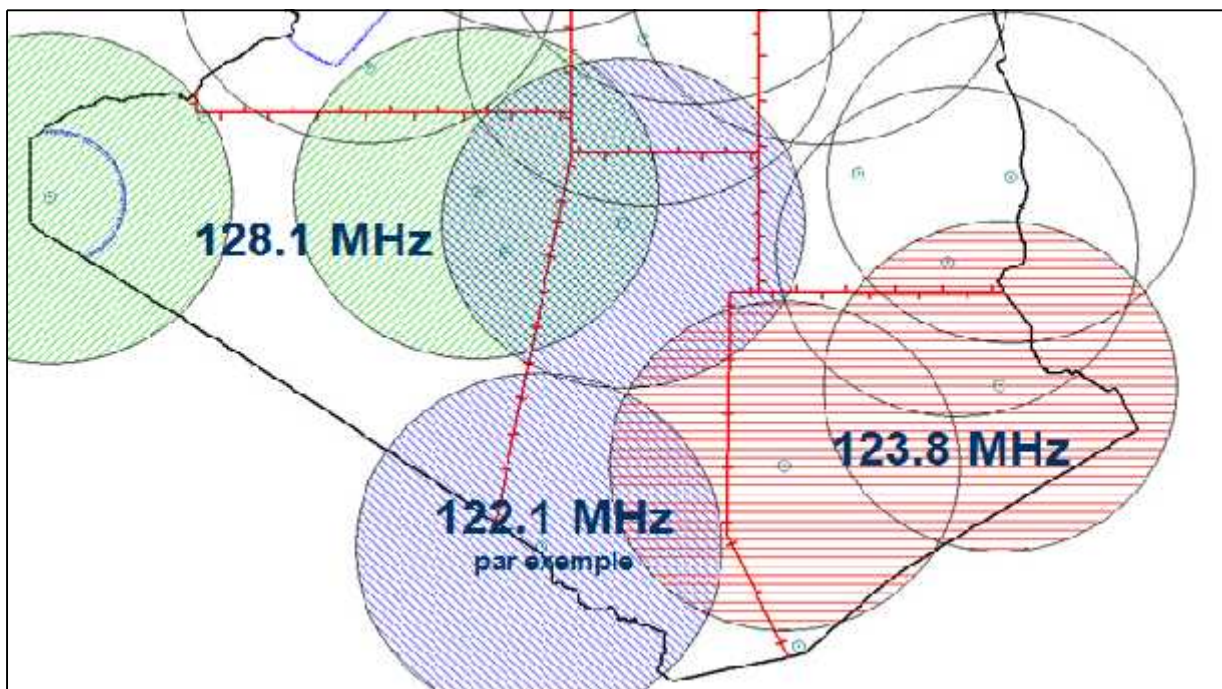


Et autres projets sont en cours de réalisation comme :

### **g. Restructuration de l'espace sud/sud:**

Le CCR a entrepris une étude qui vise à diviser le secteur extrême sud, pour mieux contenir le flux du trafic, en deux ou trois secteurs équilibrés en terme de charge de trafic, sans modifier l'actuel réseau de route et en minimisant la coordination inter secteur. Pour les buts suivants :

- Charge de trafic équilibrée (la répartition de trafic dans les secteurs)
- Espace de contrôle réduit
- Un secteur » une fréquence (Sud Sud Ouest 128.1 ;Sud Sud Centre 122.1 ;Sud Sud Est 123.8)voir la figure(4.3).
- Les pointes de trafic sont réduites



**Figure 4.3. La sectorisation proposé pour le secteur S.S.**

### **h. Le projet P.D.G.E.A. (plan de développement de gestion de l'espace aérien) :**

Afin d'alléger la charge sur le seul centre de contrôle régional et après le séisme qui frappait l'est d'Alger en mai 2003 , les responsables de l'établissement national de la navigation aérienne et avec une subvention totale de l'état ont entamé leurs étude de réalisation d' un deuxième CCR à Tamanrasset avec l'implémentation de trois radars 2 secondaires et un radar primaire malgré que la majorités des contrôleurs n'ont pas bien favorisé l'idée pour des raison de faibles trafic au sud ,d'après eux un deuxième CCR actuellement n'est pas très utile.



#### 4.3.4.8. L'appréciation par les contrôleurs de proposition D'une mise en place du service ATFM :

Nous avons présenté un projet en cours de réalisation par l'établissement national de la navigation aérienne qui vise à mettre en place ((*un service ATFM en Algérie*)).

Nous allons voir dans cette section comment réagissent les différents acteurs du contrôle aérien algérien à ces propositions.

Les réactions des contrôleurs aériens :

La dernière question posée aux contrôleurs, relative à la proposition était ((*Que pensez-vous à la mise en place d'un service ATFM ?*))

Une meilleure fluidité du trafic	2	14 %
L'espace aérien ne nécessite pas une régulation ATFM	4	26 %
Diminution de la charge de travail des contrôleurs	4	26 %
Une perte de souveraineté nationale en matière de régulation	5	33 %
Total	15	100 %

Les discussions avec des contrôleurs aériens ont été l'occasion pour eux d'expliquer leurs positions. On distingue deux courants, l'échantillon des contrôleurs qui nous avons questionné se divise en deux parties :

- une pour la mise en œuvre d'un service ATFM (14% pour une meilleure fluidité du trafic et 26% pour diminution de la charge des contrôleurs)
- et l'autre partie contre la mise en place de ce service (26% disent que L'espace aérien ne nécessite pas une régulation ATFM et 33% voient que c'est une perte de souveraineté nationale en matière de régulation).

#### 4.4. Proposition pour l'Algérie :

La capacité actuelle du système de contrôle dans la FIR Alger a bien atteint son objectif jusqu'ici, bien que parfois il est constaté une sous capacité. Dans l'espace : certaines zones sont plus chargées que d'autres.

Ces contraintes vont probablement s'intensifier à l'avenir, à mesure que le transport aérien continuera à se développer. Pour résoudre ce problème nous proposons les solutions suivantes :

#### **4.4.1. Les Solutions pour l'objectif d'accroître la capacité du système de contrôle :**

L'amélioration de la coordination civile-militaire Grâce au concept d'utilisation souple de l'espace aérien, les autorités civiles et militaires sont en mesure d'améliorer la coordination de leur circulation aérienne. Avec un double objectif : permettre aux services de la navigation aérienne de mieux écouler un trafic en croissance continue tout en préservant les activités militaires.

L'exemple de l'Europe: Le concept d'utilisation souple de l'espace aérien (adopté par la CEAC en 1994) fournit aux autorités civiles et militaires un cadre de gestion commune de l'espace aérien. Il se décline en trois niveaux de coordination: stratégique, pré-tactique et tactique (ou temps réel). Au niveau stratégique, les autorités civiles et militaires, réunies au sein d'un directoire, définissent les structures d'espace cogérées et fixent les procédures de négociation et les règles de priorité. Au niveau pré-tactique, il est alloué temporairement ces structures d'espace en fonction des besoins.

Enfin, le niveau tactique couvre la coordination en temps réel entre contrôleurs civils et contrôleurs militaires.

La redondance dans le système de fréquence, pare ce qu'avec un seul système qui tombe souvent en panne et qui peut engendrer des conséquences graves pour la sécurité des aéronefs ;

La qualification des personnels aux contrôle Radar pour palier au problème actuel de manque d'effectifs et pour mieux s'adapter avec le nouveau système de communication CPDLC (Control Pilot Data Link communication) par des formations adaptées aux contrôleurs

#### **4.4.2. Les solutions pour réguler le trafic :**

Après tous les efforts d'accroître la capacité et si la congestion aérienne persiste en recourt ver une autre approche des solutions c'est la régulation du trafic.

Mais, avant la régulation du trafic il faut bien savoir la capacité du notre système de contrôle. Suivant nos informations, actuellement l'Algérie n'aurait pas d'étude de calcul de capacité. Dans ce contexte nous proposons deux solutions majeures :

- ➔ Faire une régulation autonome de notre trafic par la mise en place d'un service ATFCM locale,
- ➔ s'intégrer avec les européens si on n'a pas les moyens de créer un système autonome et l'Algérie devient un pays membre de CFMU.

Pour des raisons économiques et politiques nous préfèrerons la régulation autonome.

## **5. Conclusion :**

Bien qu'actuellement le système de contrôle aérien en Algérie supporte assez bien la charge de trafic (les contrôleurs aériens arrivent à gérer avec plus ou moins de difficulté l'espace aérien sous leur responsabilité), dans un avenir qui semble de plus en plus proche, la charge de trafic peut atteindre un point nécessitant des améliorations significatives dans le système de gestion des flux de trafic aériens : soit par la restructuration de l'espace aérien, l'utilisation de nouveaux moyens et de nouvelles procédures ou la Régulation du trafic aérien.

Il y a lieu de noter que durant la période (99/02) où la compagnie Khalifa Airways activait, la surcharge de l'aérodrome d'Alger Houari Boumediene était telle qu'il a été décrété Aérodrome coordonnée et où a été appliqué une régulation des flux d'arrivé et départ de même qu'une optimisation de l'utilisation des espaces aux niveaux des parkings a imposé une répartition des stationnements des aéronefs de nuit sur plusieurs aérodromes nationaux.

Ceci pour appuyer la thèse que l'Algérie aura dans un proche avenir à se pencher sur la gestion de la capacité de l'espace aérien au niveau de principaux axes Nord/Sud pour le trafic de survol et même de certains aéroports particulièrement, celui d'Alger Houari Boumediene.

## Bibliographie :

1. Géraud Granger «Détection et résolution des conflits aérien: modélisation et analyse», ( octobre 2002).
2. Fatima Zahra Drarni «Décongestion des secteurs de contrôle en route par le processus d'allocation de créneaux aux départs » (novembre 2008).
3. Sofiane Oussedik, « Application de l'évolution artificielle aux problèmes de congestion du trafic aérien», Thèse d'Etat, (2002).
4. Romain Szpak, «Recherche d'une méthode générale de détermination de capacité secteur ». Mémoire d'ingénieur ENAC, (Juin 1992).
5. Jean Baptiste Thèse Optimisation du trafic au sol sur les grands aéroports ENAC novembre 2004).
6. Marianne Raffarin. « Tarification de pointe aéroportuaire. Laboratoire d'Economie et d'Econométrie de l'Aérien » (Mai -novembre 2003).
7. David Gianaza, « Optimisation des Flux de Trafic Aérien », Thèse d'Etat, Institut National Polytechnique de Toulouse (Novembre 2004).
8. Olivier Gourmel «Allocation de créneaux de décollage par décomposition arborescente de modèle CSP» ENAC Toulouse (Septembre 2007).
9. Olivier RICHARD, « Régulation court terme du trafic aérien et optimisation Combinatoire - Application de la méthode de génération de colonnes », Thèse d'Etat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble (Janvier 2007).
10. Doc OACI 4444 « Procédures pour les services de navigation aérienne. Gestion du trafic aérien » Quatorzième édition (2001).
11. Le cite officiel de l'ENNA : [WWW.ENNA.DZ](http://WWW.ENNA.DZ).

## CONCLUSION :

Le travail présenté dans ce mémoire nous a permis d'étudier la problématique de la congestion aérienne dans le monde qui se manifeste aujourd'hui principalement par des retards, qui risque, à plus long terme, de poser des problèmes de sécurité. Nous avons donc envisagé la recherche de plusieurs solutions Utilisées actuellement. Toutes visent à agir sur la demande ou sur l'allocation de la demande, afin de pallier l'actuelle sous-capacité de l'offre, ainsi que les solution envisagées Mais pourquoi mener une étude sur la congestion aérienne et les retards qu'elle occasionne?

Plusieurs raisons justifient cet intérêt. Un premier argument est lié à la sécurité, souvent, les contrôleurs aériens expliquent qu'il existe un arbitrage entre le maintien de la sécurité et la réduction des retards. Mais ce lien n'est pas toujours évident. En effet, un niveau de congestion élevé accroît les risques d'accidents. La sécurité et la fluidité ne sont donc pas deux objectifs opposés ; au contraire, la réduction de la congestion permettrait de renforcer l'un et d'améliorer l'autre.

Ensuite, une seconde justification concerne les coûts des retards. Ils représentent, chaque année, pour les passagers et les compagnies, environ dix milliards d'euros. Il semble donc important de réduire la congestion pour réduire ce gaspillage.

Si on fait une comparaison de notre espace aérien avec l'espace Européen actuellement le système de contrôle en Algérie supporte assez bien la charge de trafic (les contrôleurs aériens arrive à gérer avec plus ou moins de difficulté l'espace aérien sous leur responsabilité) mais dans un avenir qui semble de plus en plus proche, la charge de trafic peut atteindre un point nécessitant des améliorations significatives dans le système de gestion des flux aériens : soit par la restructuration de l'espace aérien, l'utilisation de nouveaux moyens et de nouvelles procédures ou la Régulation du trafic aérien.

## Présentation de l'enquête :

Dans le cadre de la préparation de notre projet de fin d'études sous le titre : **La congestion de l'espace aérienne**, nous nous sommes intéressés d'avoir l'avis des contrôleurs sur les origines des difficultés auxquelles sont confrontés les contrôleurs aériens et sur la recherche des solutions.

## Les questions :

Les questions de l'enquête s'orientent autour de trois axes : les problèmes inhérents au contrôle aérien, les origines de la congestion aérienne, la mise en place d'un service ATFM.

**NB** : Pour répondre à notre questionnaire, il suffit de cocher les cases que vous juger raisonnables.

Question 1 :

Selon vous, comment le contrôle aérien fonctionne-t-il actuellement ?

- Très bien
- Bien
- Moyennement bien
- Mal

Question 2 :

Quel est le niveau de capacité atteint à l'heure actuelle ?

- 14 aéronefs / heure.
- 20 aéronefs / heure.
- 25 aéronefs / heure.
- Indéterminé.

Question 3 :

Le principal problème auquel le contrôle aérien est confronté ?

- Une sécurité pas toujours assurée.
- L'existence de retard.
- Un environnement mal respecté.

Question 4 :

Quels sont les causes majeures de la congestion aérienne ?

Des capacités aéroportuaires insuffisantes.  
Une mauvaise organisation du contrôle aérien au niveau algérien.  
Le manque de coordination entre les utilisateurs civils et militaires.  
Un sous-effectif des contrôleurs aériens Le contrôle aérien n'a aucune responsabilité dans la congestion aérienne.

Question 5 :

D'après vous, pourquoi les usagers du ciel, en grande majorité les compagnies aériennes, sont-ils en partie à l'origine de la congestion aérienne ?

Les usagers déterminent eux-mêmes les routes aériennes qu'ils suivront, que les autorités de la navigation aérienne puissent modifier leurs décisions.  
Les compagnies aériennes ont recours aux nouvelles stratégies telles que la concentration de leurs vols à certaines heures.  
La libéralisation du transport aérien.  
Les usagers sont absolument pour rien dans la congestion aérienne.

Question 6 :

Quel est la principale contrainte à laquelle vous êtes soumis et qui nuit à votre travail?

- L'équipement
- L'organisation du travail
- L'abondance du trafic
- La fatigue
- Le stress
- Aucune

Question 7 :

Comment la forte hausse de trafic de ces dernières années a-t-elle été gérée dans votre centre?

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Question 8 :

Que pensez-vous à la mise en place d'un service ATFM ?

Une meilleure fluidité du trafic.  
L'espace aérien ne nécessite pas une régulation ATFM.  
Diminution de la charge de travail des contrôleurs.  
Une perte de souveraineté nationale en matière de régulation

Votre remarque ou commentaire sur ce questionnaire

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Enfin comptant sur votre collaboration, veuillez agréer monsieur, nos meilleures salutations distinguées.