

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministre de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Saad Dahleb de Blida

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR



DEPARTEMENT
AERONAUTIQUE



Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en
Aéronautique (Option Installations)

Thème

Elaboration d'un outil d'aide à la
sectorisation de l'espace aérien Algérien

Réalisé par :
KHELLADI Abdenmour

Encadré par :
Mr : A.ZABOT
Mr : A. BISKRI

Promotion 2004-2005

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de loin ou de près pour à réaliser ce modeste travail.

Mes remerciements sont avant tous adressés à Monsieur ZABOT AMAR, BISIKRI ALI mes directeurs de thèse, pour m'avoir guidé, grâce à leurs compétences, durant la préparation de cette mémoire, mais aussi pour leurs soutiens aux moments difficiles.

Je remercie également M^r.ARROUDJ, Directeur DDNA pour m'avoir permis de travailler dans de bonnes conditions durant mon stage au sein de son direction.

Mes sincère remerciements au personnel de là DDNA, le DENA de l'établissement national de la navigation aérienne ENNA

Je remercie l'ensemble des enseignant de l'institut d'aéronautique

Dédicace

A ma mère, mon père,
mes frères, tout ma famille
Et mes amis,

Madjid, Nounou, Hamid, Ibrahim, Mohamed,
Ramou, Hadjadj, salim...

*A tous ceux qui m'ont aidé
et tous ceux que j'aime.*

Résumé

Nous étudions ici le problème de sectorisation de l'espace aérien Algérien. Chaque secteur de cet espace est géré par des contrôleurs chargés du suivi des vols dans leur secteur, de la détection et la résolution de conflits potentiels entre des avions, et enfin de la coordination du passage d'un avion d'un secteur à l'autre. Ces tâches induisent des charges de travail qu'il s'agit d'équilibrer harmonieusement entre les secteurs. Quand un espace est sectorisé, certaines contraintes spécifiques au contrôle du trafic aérien, dont des contraintes géométriques, doivent être prises en compte.

Ce mémoire décrit le problème de sectorisation de l'espace aérien, les méthodes utilisées, l'organisation actuelle de l'espace aérien Algérien et enfin l'outil proposé d'aide à la sectorisation et la nouvelle sectorisation proposé.

Abstract

We study the Algerian airspace sectorization problem, each sector being managed by a team of controllers. The controllers are responsible for the monitoring of flights in their sector, the detection and the resolution of potential conflicts between the aircrafts, and finally for the coordination of passage of an aircraft from one sector to another. These tasks induce workloads which have to be balanced between the sectors. When an airspace is sectorized, some specific constraints of the Air Traffic Control, including geometrical constraints, must be taken into account.

This study describes the airspace sectorization problem, used methods, the present organization of the Algerians air space, and finally the proposed tool helping for sectorization and the new sectorization proposed.

Table des matières

Remerciements

Résumé

Introduction générale

Chapitre I : Généralités sur l'espace aérien

I.1 Introduction	1
I.2 Organisation de l'espace aérien	1
I.2.1 La division de l'espace aérien.....	1
I.2.1.1 Espaces aérien contrôlés.....	2
I.2.1.2 Espaces aérien non contrôlés.....	4
I.2.1.3 Zones spécifiques.....	4
I.2.1.3.1. Zones interdites (P).....	5
I.2.1.3.2. Zones réglementées (R).....	5
I.2.1.3.3. Zones dangereuses (D).....	5
I.3 Contrôle du trafic aérien	5
I.3.1 Services de la circulation aérienne.....	5
I.3.1.1 Le service du contrôle de la circulation aérienne.....	5
I.3.1.2 Le service d'information de vol.....	5
I.3.1.3 Le service d'alerte.....	5
I.3.2 Types de contrôle.....	5
I.3.2.1 Le contrôle d'aérodrome.....	5
I.3.2.2 Le contrôle d'approche.....	6
I.3.2.3 Le contrôle en route.....	6
I.3.3 Les charges de contrôles.....	6
I.3.3.1 Charge de résolution de conflits potentiels.....	7
I.3.3.2 Charge de coordination.....	7
I.3.3.3 Charge de monitoring.....	7
I.3.4 Capacité d'un secteur.....	7
I.4 Pourquoi une nouvelle sectorisation ?	8
I.4.1 La saturation du system.....	8
I.4.2 L'optimisation du système.....	8
I.4.3 L'évolution du trafic aérien.....	8
I.4.4 La proposition des nouveaux systèmes.....	8
I.5 Problème de sectorisation de l'espace aérien	9
I.5.1 Contrainte de temps de passage minimum.....	10
I.5.2. Contrainte de distance minimum (au sens des routes).....	11
I.5.3. Contrainte de convexité (au sens des routes).....	11
I.5.4 Contrainte de connexité de secteur.....	12

Chapitre II : Etat de l'art

II.1 Introduction :	14
II.2 Méthodes Mathématiques :	14
<i>II.2.1 Algorithme génétique :</i>	14
II.2.1.1 Principe des algorithmes génétiques :	14
II.2.1.2 Approche de Daniel Delahaye (1995) :	16
II.2.1.3 Approche de Manuel et al. (2002):	19
<i>II.2.2 Partitionnement de graphe et Programmation par contrainte :</i>	19
II.2.2.1 Partitionnement de graphe :	19
II.2.2.2 Programmation par contrainte :	21
II.2.2.3 Approche de TRAN DAC Huy (2004) :	22
II.3. Limitations de ces modèles Mathématiques :	24
<i>II.3.1 Modélisation de la charge de contrôle :</i>	24
<i>II.3.2 Prise en compte de la troisième dimension :</i>	24
<i>II.3.3 Limitation de l'exploration de l'espace d'état :</i>	24
<i>II.3.4 Prise en compte des zones militaires :</i>	25
<i>II.3.5 Problèmes politiques liés à la souveraineté de l'espace aérien :</i>	26
<i>II.3.6 Prise en compte de la propagation des flux :</i>	26
II.4 Méthodes pratiques :	26
II.5 Conclusion :	27
Chapitre III : situation actuelle est analyse de trafic	
III.1. Situation actuelle :	29
<i>III.1.1 Organisation de l'espace aérien :</i>	29
<i>III.1.1.3. CTA :</i>	31
<i>III.1.1.2. Réseau de routes :</i>	33
III.1.1.2.1 Routes ATS domestiques :	33
III.1.1.2.2. Route ATS internationales:	33
III.1.1.2.3 Route RNAV :	33
<i>III.1.3 Moyen CNS:</i>	35
<i>III.1.3.1 Communication :</i>	35
III.1.3.1.1 Couverture VHF/HF :	35
III.1.3.1.2 Télécommunication :	36
<i>III.1.3.3 Surveillance:</i>	37
III.1.3.3.1 Couverture Radar :	37
III.1.3.3.2 ADS :	39
III.1.4 Organisme de contrôle :	39
<i>III.1.4.1 ACC :</i>	39
<i>III.1.4.2 Contrôle d'approche :</i>	40
<i>III.1.4.3 Contrôle d'aérodrome :</i>	40
III.2. Analyse de trafic :	40
<i>III.2.1 Evolution du trafic route 1994-2004 :</i>	40
III.2.1 Survol avec Escale :	40

III.2.1 Survol sans Escale :	40
III.2.2 Evolution de Trafic par secteur (1999-2004):	42
III.2.3 Prévision du trafic route :	43
III.3 Problèmes observées sur la situation actuelle :	44
1. Trafic par secteur :	44
2. Les limites géographiques des secteurs hauts (supérieur) et basse altitude (inférieur) :	44
3. Violence de certaines contraintes de sectorisation :	45
3.1 Distance de passage minimum :	45
3.2 Distance minimum entre point de conflit et frontière des secteurs :	45
4. Nombre de route ATS :	45
Chapitre VI : Logiciel et nouvelle sectorisation	
IV.1 : Introduction :	47
IV.2 : Représentation de l'application :	47
IV.2.1 : Microsoft Access :	47
IV.2.2 : ArcView :	48
IV.2.1.1 : Les Projets sous ArcView :	48
VI.2.1.1.1 Views : Vues	49
VI.2.1.1.2.Tables : Tables	49
VI.2.1.1.3. Charts : Diagrammes	50
VI.2.1.1.4. Layouts : Mises en page	50
VI.2.1.1.5. Scripts :	50
VI.2.2. Les tables de la base de données :	50
VI.2.3. Description des interfaces :	51
VI.2.3.1. Partie MS Access :	51
VI.2.3.2. Partie ArcView :	54
V.3. La nouvelle sectorisation propos�e :	59
VI.4.Conclusion :	63
Conclusion générale	
Bibliographie	
ANNEXES	

INTRODUCTION GENERALE

Dans le cadre du projet de fin d'études du cycle Ingénieur, Option Installations, de l'Institut d'aéronautique de Blida, nous avons choisi d'élaborer un outil d'aide à la sectorisation d'espace aérien et de l'appliquer à l'espace aérien Algérien.

L'accroissement de trafic aérien entraîne une augmentation de la charge de travail du contrôleur, on multiplie le nombre de secteurs ainsi que la coordination et les points de transfert nécessaires entre secteurs, le système de contrôle ATC deviendra saturé, il devient nécessaire de restructurer l'espace aérien.

La sectorisation de l'espace aérien a pour objectif d'exploiter le plus efficacement possible de l'espace aérien, l'utilisation maximale de la capacité du système de contrôle de la circulation aérienne (ATC) et de réduire la charge de travail du contrôleur et enfin de réaliser un équilibre entre la demande de trafic aérien et la capacité de système de contrôle disponible.

Notre mémoire est divisée en quatre chapitres dont le contenu est le suivant :

Le premier chapitre donne des généralités sur l'espace aérien et le contrôle de trafic aérien et introduit le problème de sectorisation.

Le deuxième chapitre présente les méthodes utilisées pour résoudre notre problème et les raisons de choix de notre approche.

Le troisième chapitre représente la situation actuelle et l'analyse de trafic pour déterminer les problèmes de la sectorisation actuelle.

Le dernier chapitre décrit les logiciels utilisés pour la réalisation de notre outil, l'outil élaboré et la nouvelle sectorisation proposée.

Chapitre I

Chapitre I Les séries

I.1 Introduction

Depuis le 17 décembre 1903, date à la quelle les frères Wright ont effectué le *premier vol piloté* avec un appareil à moteur *plus lourd que l'air*, l'aviation a beaucoup évolué. Malgré une baisse temporaire due à l'événement du 11 septembre 2001, la croissance du trafic aérien est estimée à 5% par an pour les prochaines quinze années.

Contrôler ce trafic afin d'assurer la sécurité est une tâche complexe et indispensable de la gestion du trafic aérien (ATM - Air Traffic Management). donc le système de contrôle de la circulation aérienne (ATC) doit être adaptable aux variations temporaires ou plus au moins permanentes du volume et de la conception de la circulation.

Habituellement, tout accroissement de la circulation ou le nombre d'avions dans un secteur entraîne une augmentation de la charge de travail du contrôleur et une saturation du système de contrôle, cet état de saturation doit être certainement éviter parce qu'il provoque un phénomène cumulatif de surcharge sur les secteurs amonts pouvant remonter jusqu'aux aéroport de départ. Lorsque l'espace aérien devient saturé, il devient nécessaire de le restructurer afin d'augmenter la capacité du système.

I.2 Organisation de l'espace aérien

I.2.1 La division de l'espace aérien

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

- **L'espace aérien inférieur** appelé FIR (Flight Information Region) : va de la surface au niveau de vol FL195 inclus .
- **L'espace aérien supérieur** appelé UIR (Upper Information Region) : va du FL195 à l'infini. L'espace aérien supérieur est de classe A (réservé aux vols IFR) jusqu'au FL660. Cette portion d'espace classée A est appelée UTA (Upper Traffic Area). Au-delà du FL660, l'espace aérien est classé G. Le niveau de vol maximum utilisable par les vols VFR est donc le FL195.

L'espace aérien est divisé en régions ou zones, dont les quelles les services de la circulation aérienne sont spécifiques et différents. On peut diviser l'espace aérien sur la base des services rendus en deux types :

- Espace aérien contrôlé.
- Espace aérien non contrôlé.

1.2.1.1 Espaces aérien contrôlés

Les espaces aériens contrôlés correspondent aux classes A, B, C, D et E. Lorsqu'un vol est dit contrôlé, il bénéficie des services rendus par l'organisme chargé du contrôle de l'espace dans lequel il est entré. Pour les vols VFR, les conditions VMC en espace contrôlé changent selon que le vol s'effectue en-dessous ou au-dessus du niveau de vol FL100. Un espace aérien n'est contrôlé que pendant les horaires de fonctionnement de l'organisme chargé d'y assurer le service de contrôle de la circulation aérienne. Aux heures de fermeture de l'organisme du contrôle, l'espace aérien est non contrôlé.

Parmi ce type d'espace, on distingue :

-Voies aériennes (Airways) :

Ce sont des couloirs empruntés par les vols IFR. Elles ont généralement une largeur de 10 NM (18.5 Km). L'axe des AWY est défini par des balises de radionavigation.

-Région Terminale de contrôle (TMA) :

Région de contrôle établie en principe, au carrefour de routes ATS aux environs d'un ou plusieurs aérodromes importants.

-Zone de contrôle (CTR) :

C'est un espace aérien contrôlé s'étendant verticalement à partir de la surface jusqu'à une limite supérieure spécifiée. Les limites latérales d'une zone de contrôle sont d'au moins 5 NM (9,3 Km) à partir du centre de l'aérodrome ou des aérodromes concernés, dans les directions à partir desquelles l'approche peut être effectuée.

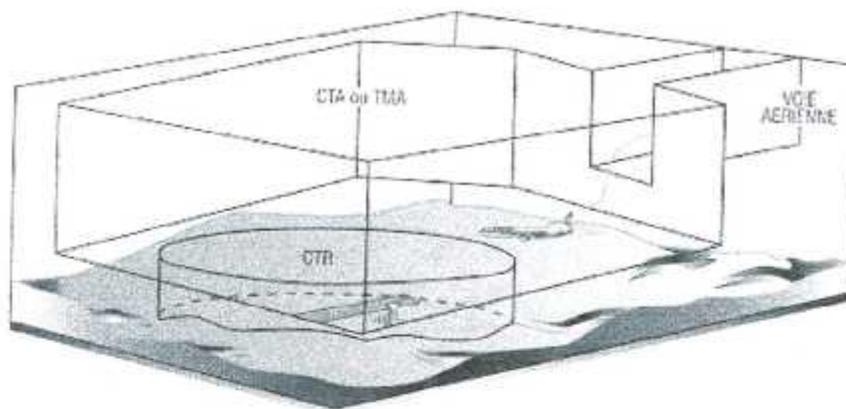


Fig. I.1 : Les voies aériennes, la TMA et le CTR.

Le schéma suivant résume ces différents types d'espace :

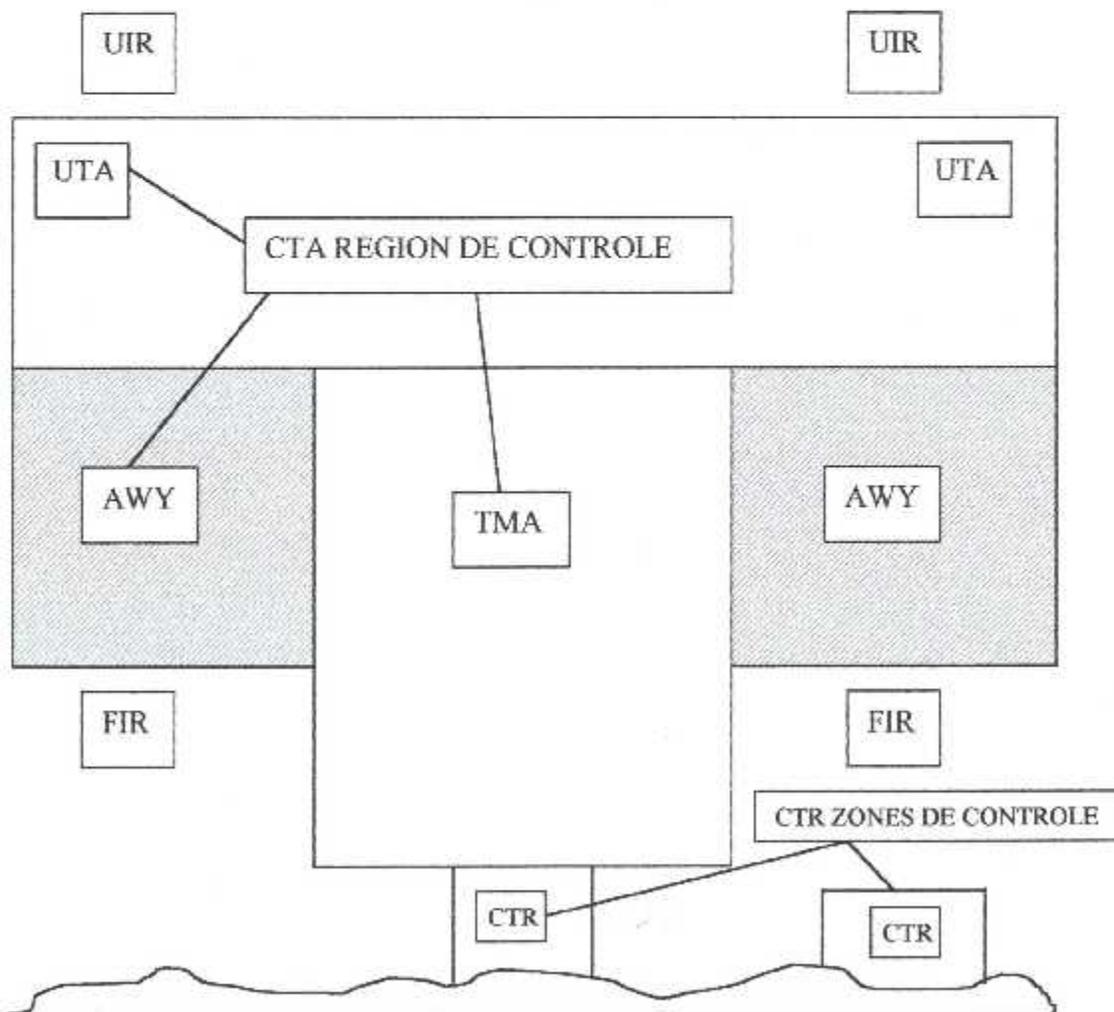


Fig. I.2 : Organisation de l'espace aérien

1.2.1.2 Espaces aérien non contrôlés

Les espaces aériens non contrôlés correspondent aux classes F et G. Le pilote peut évoluer librement dans le respect des règles de l'air et des exigences propres à l'espace dans lequel il se trouve. Il peut bénéficier des services d'information de vol et d'alerte.

	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C	CLASSE D	CLASSE E	CLASSE F	CLASSE G
Statut de l'espace	vol VFR interdit	Contrôlé	Contrôlé	Contrôlé	Contrôlé	Non contrôlé	Non contrôlé
Espacements assurés par l'organisme au sol		entre VFR/VFR et VFR/IFR	entre VFR/IFR	entre VFR spécial/IFR	entre VFR spécial/IFR	NON	NON
Information de trafic		NON	OUI VFR/VFR	OUI IFR/VFR VFR/VFR	OUI VFR spécial	NON	NON
Statut du vol		contrôlé	contrôlé	contrôlé	non contrôlé sauf VFR spécial	non contrôlé	non contrôlé
Nécessité de clairances		OUI	OUI	OUI	non sauf VFR spécial	NON	NON
Obligation du contact radio		OUI	OUI	OUI	Non sauf VFR spécial	NON	NON

Tableau I.1 : les différentes classes de l'espace aérien

1.2.1.3 Zones spécifiques

Tout espace aérien peut pour une raison ou une autre être interdite ou réglementée, soit temporairement ou en permanence, et tout espace dans lequel un danger potentiel à l'évolution des aéronefs subsiste est classé en trois types de zones:

I.2.1.3.1. Zones interdites (P)

Espace aérien de dimensions définies, au-dessus du territoire ou des eaux territoriales d'un état, dans les limites du quel le vol des aéronefs est interdit.

I.2.1.3.2. Zones réglementées (R)

Espace aérien de dimensions définies, au-dessus du territoire ou des eaux territoriales d'un état, dans les limites du quel le vol des aéronefs est à certaines conditions spécifiées.

I.2.1.3.3. Zones dangereuses (D)

Espace aérien de dimensions définies, à l'intérieur duquel des activités dangereuses pour le vol des aéronefs peuvent se dérouler pendant des périodes spécifiées.

I.3 Contrôle du trafic aérien**I.3.1 Services de la circulation aérienne**

Le contrôle du trafic aérien (ATC - Air Traffic Control) rend aux aéronefs trois services :

I.3.1.1 Le service du contrôle de la circulation aérienne

Consiste à assurer la séparation entre avions et à guider tous les avions dans des espaces contrôlés.

I.3.1.2 Le service d'information de vol

Consiste à donner tous les avis et renseignements nécessaires à la conduite du vol .

I.3.1.3 Le service d'alerte

Consiste à fournir aide et assistance aux aéronefs en difficultés et à mettre en oeuvre les moyens du SAR (Search And Rescue).

I.3.2 Types de contrôle

Le contrôle aérien peut être décomposé en trois catégories :

I.3.2.1 Le contrôle d'aérodrome

Le contrôle d'aérodrome s'effectue à partir des tours de contrôle (TWR) et consiste à contrôler les atterrissages et les décollages ainsi que toute la circulation au sol des avions.

1.3.2.2 Le contrôle d'approche

Le contrôle d'approche s'effectue par les centres de contrôle d'approche. Il s'agit de guider les aéronefs depuis la croisière vers l'axe de la piste où ils seront pris en charge par la tour de contrôle d'aérodrome. En cas de surcharge, le contrôleur peut ouvrir des circuits d'attente où les aéronefs vont attendre en faisant des stacks.

1.3.2.3 Le contrôle en route

Le contrôle en route (c'est celui qui nous intéresse) concerne essentiellement le contrôle des avions qui sont dans la phase *en route*. (Trafic en croisière entre les aérodromes).

1.3.3 Les charges de contrôles

Les avions décollent de leur aéroport de départ et rejoignent leur aéroport de destination en empruntant un réseau de routes aériennes. L'espace aérien contrôlé, constitué par un réseau de routes aériennes, ne peut pas être contrôlé par un seul contrôleur. Il est alors découpé en secteurs de contrôle, chacun étant géré par une équipe (binômes) de contrôleurs.

Un secteur de contrôle est un domaine limité de l'espace traversé par des routes aériennes, pour lequel une équipe de contrôleurs assure la sécurité des vols qui y transitent en séparant les aéronefs entre eux.

Plus le nombre d'avions dans un secteur est important, plus la charge de contrôle induite augmente (de façon non linéaire). Il existe une limite au delà de laquelle le contrôleur en charge du secteur ne peut plus accepter de nouveaux avions et oblige ces derniers à contourner le secteur en traversant des secteurs voisins moins chargés. On dit alors que le secteur est saturé. Cet état critique doit être évité car il provoque un phénomène cumulatif de surcharge sur les secteurs amonts pouvant remonter jusqu'aux aéroports de départ. En effet, lorsque le trafic ne peut être dévié, il est mis en attente dans les secteurs amonts faisant augmenter progressivement la charge de contrôle de ces derniers jusqu'à ce qu'ils soient saturés. Le seuil au delà duquel le secteur est saturé est très difficile à estimer car il dépend de la géométrie des routes qui le traversent, de la géométrie du secteur lui-même, de la répartition des avions sur les routes, des performances de l'équipe de contrôle etc.

Exigeant une concentration optimale devant l'écran et en raison d'une grande responsabilité sur la vie de plusieurs centaines de personnes, le métier de contrôleur génère un stress permanent qu'il est délicat d'évaluer. Donc la charge de travail dans un secteur dépend des critères qualitatifs et quantitatifs. Les critères qualitatifs regroupent essentiellement les facteurs humains dont le principal est le stress. Tous les contrôleurs ne réagissent pas de la même façon face à une situation de trafic difficile et il est donc délicat de fournir un modèle mathématique de stress

applicable à tous les contrôleurs. On peut seulement préciser que le stress est directement lié aux critères quantitatifs suivants :

- charge de conflit;
- charge de coordination;
- charge de monitoring.

I.3.3.1 Charge de résolution de conflits potentiels

Deux avions sont dits en conflit si la distance (horizontale ou verticale) qui les sépare risque de devenir inférieure à une distance de séparation.

Lorsqu'il y a un conflit potentiel, les contrôleurs doivent dévier l'un des deux avions en changeant de caps, d'altitudes ou de vitesses.

I.3.3.2 Charge de coordination

Tous les avions qui sont dans un même secteur communiquent au moyen de la même fréquence avec le contrôleur en charge du secteur. Lorsqu'un avion change de secteur, ce changement fait l'objet d'une négociation entre le contrôleur transférant et le contrôleur recevant, pour s'assurer que ce dernier peut l'accepter. Un transfert nécessite un travail relativement important de la part des deux contrôleurs; de plus c'est une opération au cours de laquelle des incompréhensions ou des erreurs peuvent se produire causant des pertes accidentelles de séparation. Les charges de contrôle induites par ces transferts sont regroupées dans une charge unique appelée coordination. Dans un réseau de transport sectorisé la charge de coordination est proportionnelle aux flux coupés par les frontières des secteurs.

I.3.3.3 Charge de monitoring

Dans un secteur de contrôle les avions qui ne sont pas en conflit ou en transfert nécessitent une surveillance de la part du contrôleur qui vérifie le bon déroulement des plans de vol sur l'image radar et qui essaye de déterminer les risques potentiels de conflits futurs induits par ces avions. Le monitoring est en fait la tâche principale de leur travail et représente une source importante de stress. Cette charge de contrôle est directement liée au nombre d'avions présents dans le secteur de contrôle.

I.3.4 Capacité d'un secteur

Le service de la circulation aérienne, organise les flux aériens afin d'assurer la sécurité et d'améliorer la capacité du réseau de routes emprunté par les aéronefs. Il doit répondre à la demande de trafic. L'espace aérien est divisé en plusieurs secteurs de contrôle, Ce découpage de l'espace en secteurs de contrôle doit garantir un volume de trafic maximal admissible par un contrôleur qualifié, ce volume de

trafic appelé capacité du secteur est défini en nombre d'avions pendant une période donnée (une heure par exemple).

I.4 Pourquoi une nouvelle sectorisation ?

I.4.1 La saturation du system

À cause des charges de travail et de la sécurité, qui est l'objectif prioritaire du contrôle du trafic aérien, il existe un certain nombre d'avions acceptable dans un secteur, Ce nombre définit la capacité du secteur, limite la capacité globale du réseau de trafic aérien, qui a de plus en plus de mal à faire face à la croissance spectaculaire du transport aérien. L'espace aérien devient alors congestionné, ce qui retarde certains vols.

Les retards du trafic aérien, qui coûtent plusieurs milliards d'euros par an, sont dus notamment aux secteurs en route en Europe, alors qu'aux Etats-Unis ils proviennent principalement des aéroports.

I.4.2 L'optimisation du système

Lorsqu'un secteur devient saturé, une équipe d'experts tente, avec sa propre méthodologie, de proposer une nouvelle sectorisation de la zone concernée. Ce principe de resectorisation présente malheureusement des inconvénients : les secteurs deviennent de plus en plus petits alors que les contrôleurs ont besoin d'un temps minimum pour gérer le trafic dans leur secteur. De plus la charge de coordination entre les secteurs augmente, plus il y a d'avions qui passent d'un secteur à un autre, plus il y a de dialogues entre les contrôleurs (donc plus la charge de travail globale est importante). Donc la sectorisation n'est pas optimisée au sens de la charge de coordination.

I.4.3 L'évolution du trafic aérien

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

I.4.4 La proposition des nouveaux systèmes

L'introduction des nouveaux systèmes CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance /Air Traffic Management) entraîne des changement au niveaux de : réseaux de route ATS, Méthode de contrôle et la capacité de contrôle.

De plus, la proposition des nouveaux projets comme le changement de type de service de contrôle oblige la restructuration de l'espace aérien.

I.5 Problème de sectorisation de l'espace aérien

Dans la plupart des projets cherchant à augmenter la capacité du réseau du trafic aérien, que ce soit en modifiant le système ou en optimisant l'utilisation du système, on propose un réseau de routes aériennes sur lequel on pré-affecte des demandes de trafic. Ce trafic produit une charge de contrôle répartie dans l'ensemble de l'espace aérien. On se propose de sectoriser cet espace en K secteurs de telle façon que la charge de travail des contrôleurs soit équilibrée entre les secteurs et que la charge de coordination soit minimisée.

Lorsque l'on met en place des frontières de secteur, ces dernières coupent des arcs de routes aériennes générant une nouvelle charge de coordination pouvant remettre en cause l'équilibre obtenu pour les deux critères conflit et monitoring. Un petit exemple simple nous permet de mieux comprendre ce problème. Sur la figure (I.3) la sectorisation est initialement équilibrée (à 50) pour les charges de conflit et de monitoring. Si l'on tient compte des coordinations dans l'équilibrage, on constate un déséquilibre net des nouvelles charges de contrôle dans les secteurs. De fait, ce n'est qu'après avoir pris la décision de sectoriser que l'on sait a posteriori si les secteurs sont équilibrés ou non. Ce premier objectif d'équilibrage est important mais doit être complété par un objectif connexe de minimisation des coordinations. En effet, si l'on se contente seulement de rechercher l'équilibrage, on risque d'obtenir des aberrations en terme de contrôle dont un exemple extrême est décrit dans la (figure I.4). On remarque sans difficulté que le cas 2 est nettement meilleur en terme de contrôle quand bien même il est moins équilibré.

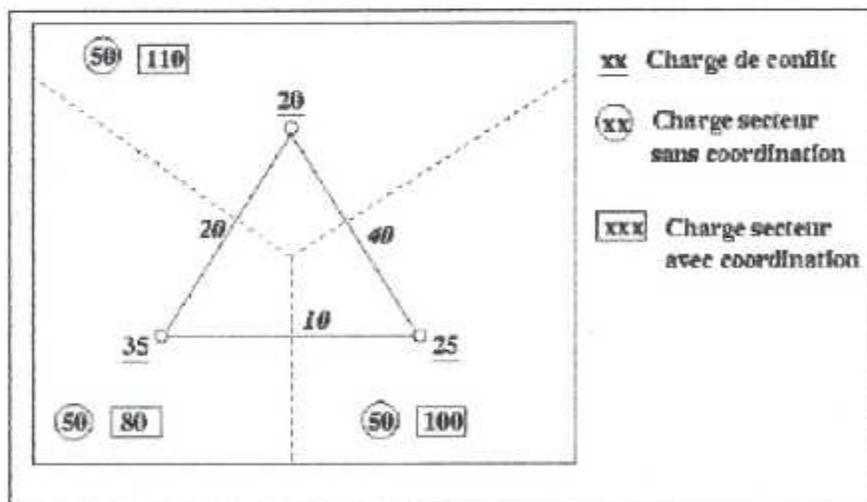


Fig. I.3 : Influence de la coordination sur l'équilibrage

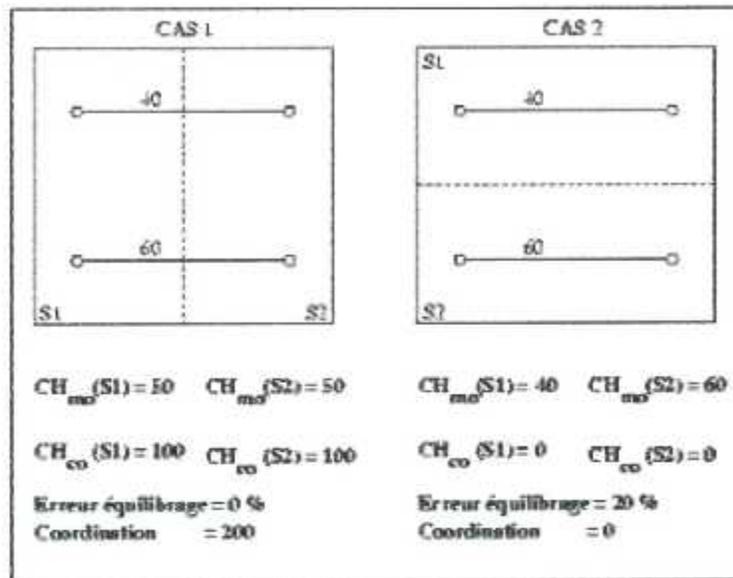


Fig. I.4 : Importance de la minimisation des coordinations

En plus de cette contrainte d'équilibrage et l'objectif de minimisation de la charge de coordination, certaines contraintes spécifiques du contrôle du trafic aérien doivent être prises en compte :

I.5.1 Contrainte de temps de passage minimum

Cette contrainte exprime qu'un avion doit rester dans chaque secteur qu'il traverse une durée de temps minimum donnée, afin que les contrôleurs aient suffisamment de temps (au moins le temps de coordination nécessaire à la transmission de l'avion depuis le secteur précédent vers le secteur suivant) pour gérer correctement l'ensemble des avions dans leur secteur (voir Figure I.5).

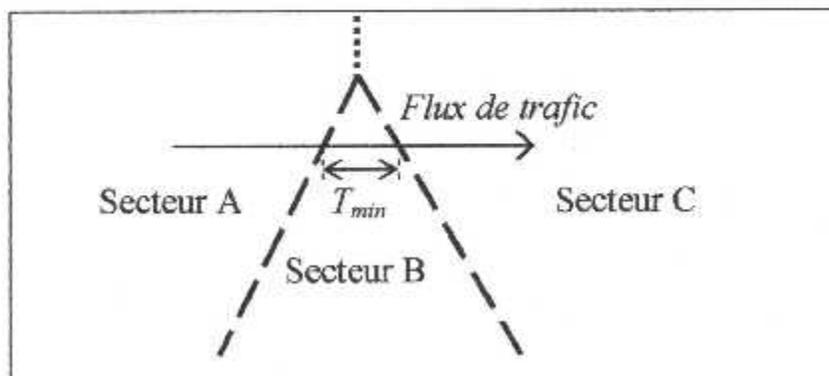


Fig. I.5 : La contrainte de temps de passage minimum

I.5.2. Contrainte de distance minimum (au sens des routes)

Cette contrainte a pour but d'assurer que la distance entre un point de croisement du réseau de transport aérien (point de conflit) et la frontière du secteur doit être supérieure ou égale à une distance donnée. Notons qu'elle est seulement "au sens des routes" pour que les contrôleurs aient suffisamment de temps (à compter du moment où l'avion entre dans leur secteur) pour résoudre les conflits potentiels qui peuvent se produire en ce point (voir Figure I.6).

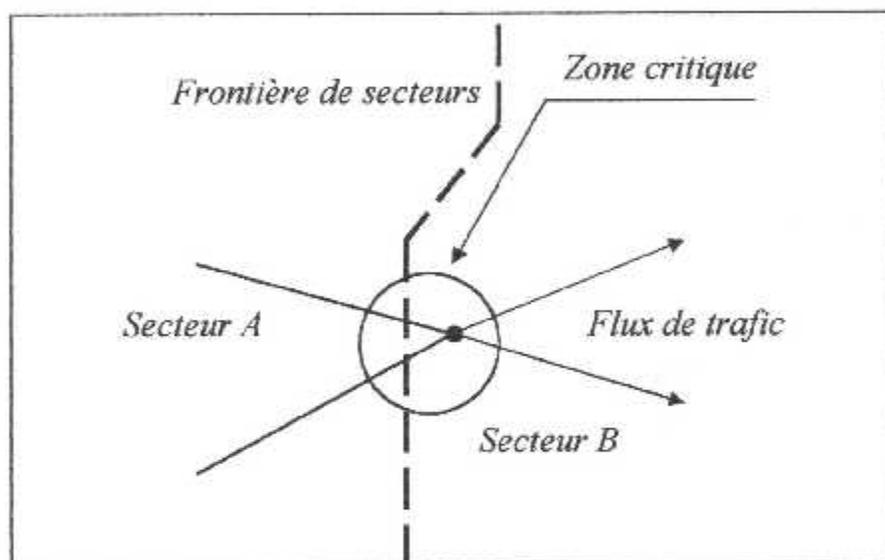


Fig. I.6 : Un point de conflit trop proche de la frontière

I.5.3. Contrainte de convexité (au sens des routes)

Un secteur est convexe au sens des routes aériennes si chacun des arcs des routes qui le traversent ne rencontre que deux frontières. Autrement dit la convexité des secteurs au sens des routes permet d'assurer que, pendant un vol reliant un aéroport de départ et un aéroport de destination, l'avion passe une fois au maximum par secteur (voir Figure I.7).

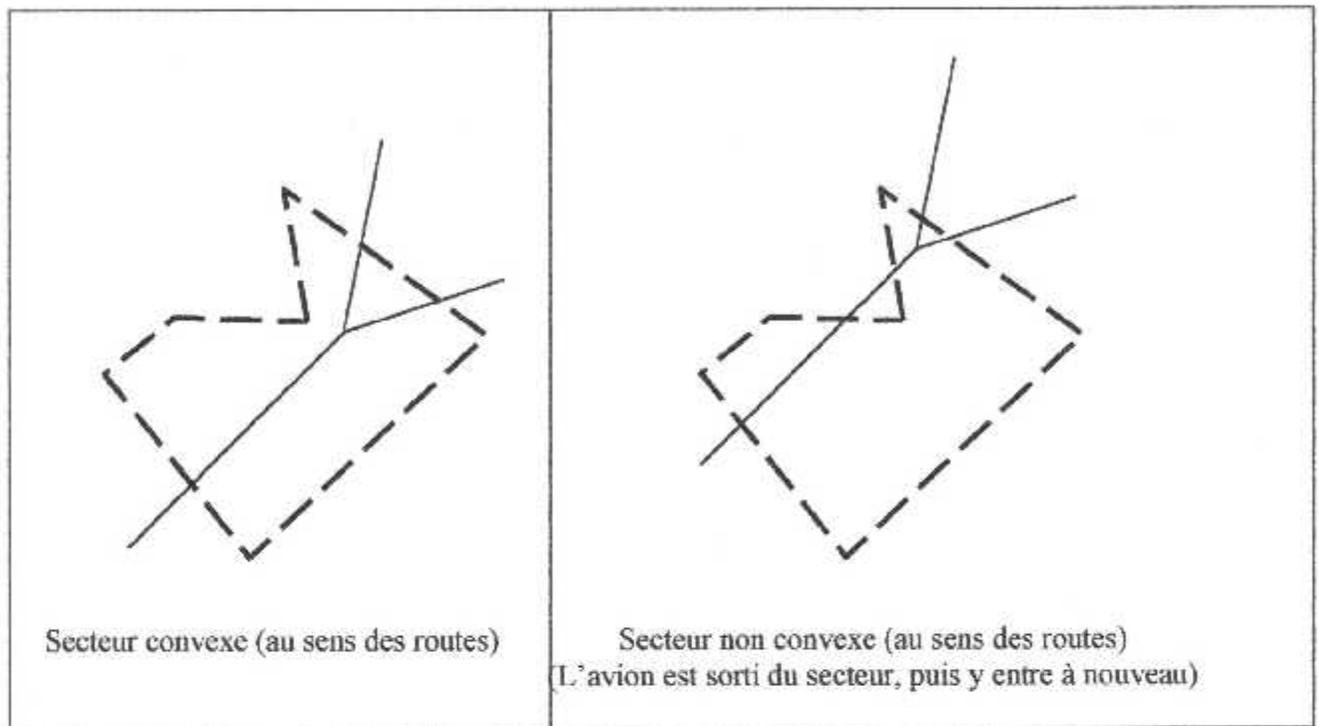


Fig. I.7: La contrainte de convexité

I.5.4 Contrainte de connexité de secteur

Elle permet d'éviter la fragmentation des secteurs, que les contrôleurs ne peuvent pas gérer correctement (voir Figure I.8).

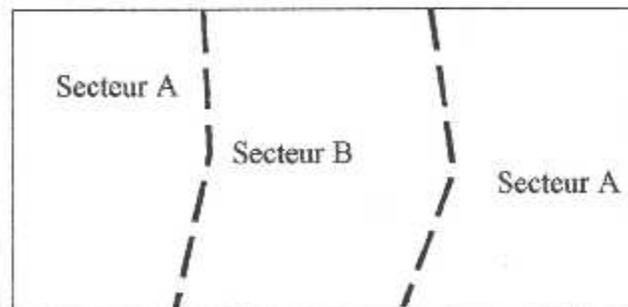


Fig. I.8 – Le secteur A n'est pas connexe

Chapitre II

Chapitre II

II.1 Introduction :

Il existe plusieurs techniques pour résoudre le problème de sectorisation de l'espace aérien qui peuvent être divisées en deux catégories :

- Des méthodes basées sur la modélisation du problème suivi par l'utilisation d'algorithmes appelées dans le présent document *méthodes mathématiques*,
- Des méthodes basées essentiellement sur l'expérience des contrôleurs appelées dans le présent document *méthodes empiriques*.

On présente dans ce chapitre, les deux méthodes susmentionnées et les raisons du choix de la méthode la plus appropriée pour notre étude.

II.2 Méthodes Mathématiques :

On distingue deux méthodes :

1. Approche par algorithme génétique.
2. Approche de partitionnement de graphe et programmation par contrainte.

II.2.1 Algorithme génétique :

Les algorithmes génétiques sont inspirés de la théorie de l'évolution et de la génétique. Le vocabulaire employé est similaire à cette théorie. Nous parlerons donc d'individus, de population, de chromosomes, de parents, de descendants, de croisements, de mutations, etc.

Un individu, souvent codé par un *chromosome*, représente un point de l'espace d'état du problème d'optimisation. On lui associe la valeur du critère à optimiser (la *fitness*).

L'algorithme génère ensuite de façon itérative des populations d'individus sur lesquelles sont appliqués des processus de sélection, de croisement et de mutation. La sélection a pour but de favoriser les meilleurs éléments de la population, tandis que le croisement et la mutation assurent une exploration efficace de l'espace d'état.

II.2.1.1 Principe des algorithmes génétiques :

Le principe des algorithmes génétiques est illustré sur la Figure II.1. L'algorithme commence par la génération aléatoire d'une population initiale. Ensuite, deux parents P_1 et P_2 sont sélectionnés en fonction de leurs *fitness*. On applique l'opérateur de croisement avec une probabilité P_c pour obtenir deux descendants C_1 et C_2 . On modifie certains gènes de C_1 et C_2 à l'aide de l'opérateur de mutation avec une probabilité P_m pour produire deux nouveaux individus C'_1 et C'_2 . C'_1 et C'_2 sont évalués par leur niveau de *fitness* avant d'être insérés dans la nouvelle

population. Les opérations de sélection, de croisement et de mutation sont réitérées pour compléter cette nouvelle population.

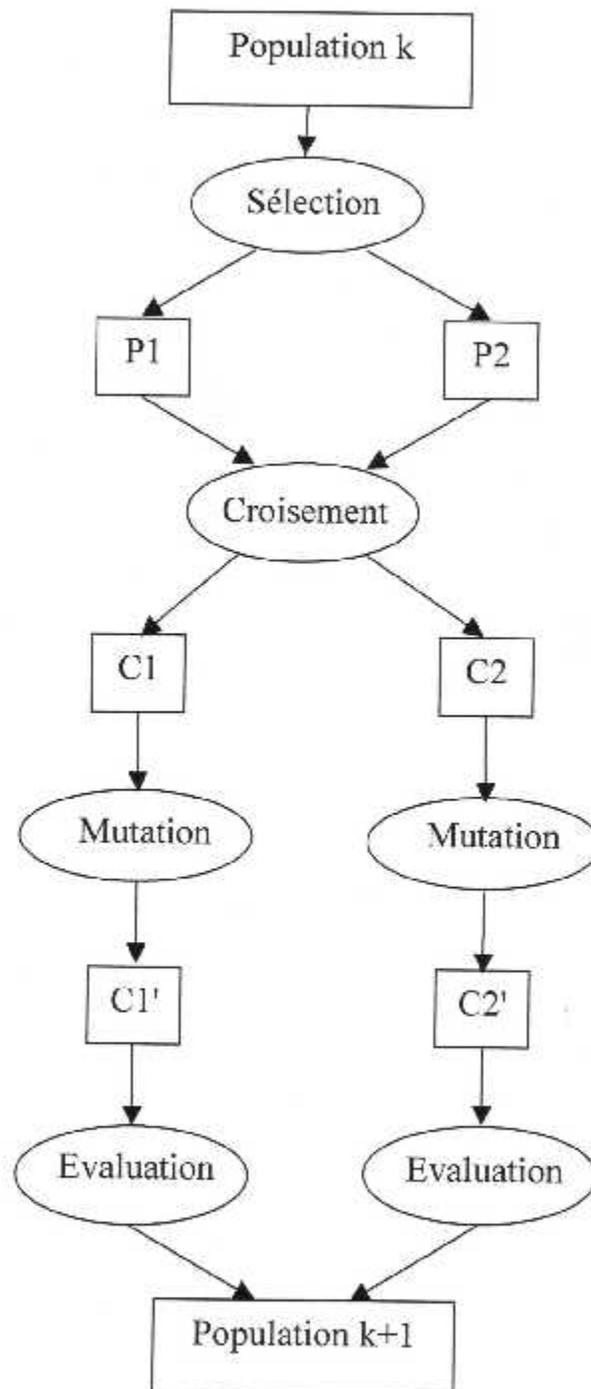


Fig. II.1. : Principe des algorithmes génétiques

Pour appliquer l'algorithme génétique à un problème particulier, on doit disposer :

- d'un principe de codage des individus (des solutions potentielles) ;
- d'un mécanisme de génération de la population initiale ;
- d'un critère permettant d'évaluer la *fitness* d'un individu afin de classer les individus entre eux (c'est le critère à optimiser) ;
- d'opérateurs de croisement et de mutation permettant de diversifier la population;
- de paramètres : taille de la population, nombre de génération à simuler, probabilités d'application des opérateurs.

II.2.1.2 Approche de Daniel Delahaye (1995) :

Le problème de sectorisation de l'espace aérien a été étudié dans le cadre de la thèse de Delahaye [1]. Le problème de sectorisation est bien défini avec les trois contraintes spécifiques (la convexité, le temps de passage minimum et la distance de passage minimum) et il est résolu à l'aide d'un algorithme génétique.

Le réseau de transport aérien en 3D est tout d'abord projeté en 2D, puis évalué par les charges de travail des contrôleurs. Une solution de la sectorisation de ce réseau en k secteurs est codée par les coordonnées des k centres de classe (voir Figure II.2). Les secteurs sont construits à partir de ces centres par le diagramme de Voronoï [3] : le secteur défini par un centre de classe est l'ensemble des sommets qui sont plus proches de ce centre que de tous les autres centres. La forme géométrique d'un secteur est alors un polygone convexe.

La *fitness* est définie en fonction de l'équilibrage des secteurs et de la minimisation de la charge de coordination. Les contraintes de distance minimum et de temps de passage minimum sont prises en compte à l'aide d'un coefficient de pénalité qui majore artificiellement la charge de coordination sur les arcs violant les contraintes. La contrainte de convexité est assurée par la forme géométrique convexe du secteur.

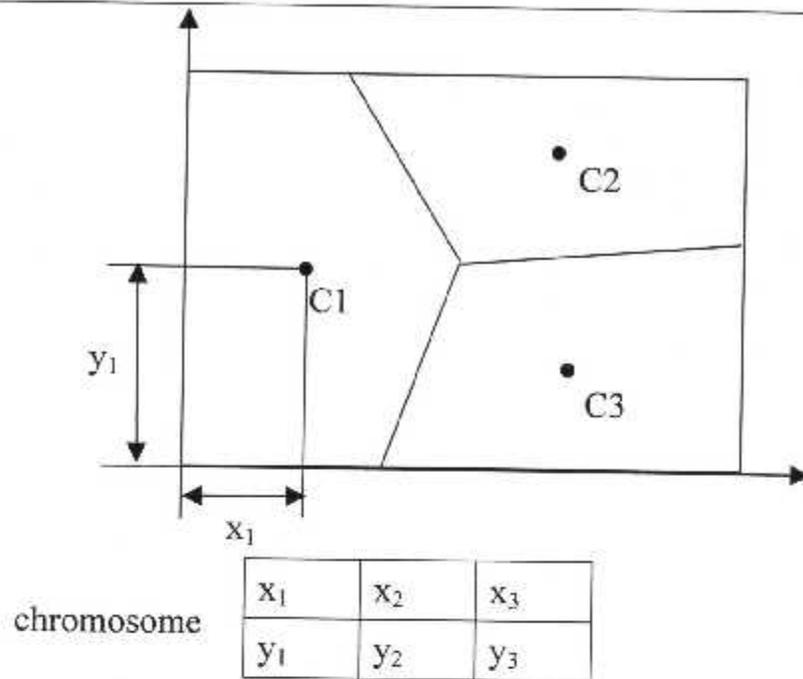


Fig. II.2. : Construction des secteurs à partir des centres de classe et le codage de chromosome par leurs coordonnées

Ce principe de construction de secteurs par le diagramme de Voronoï réduit malheureusement l'espace de recherche. La solution de cette approche pourrait alors être sous-optimale. De plus, les contraintes ne sont pas tout à fait satisfaites, principalement parce que la convexité géométrique n'implique pas la convexité au sens des routes. Dans Figure II.3, en reliant A et B via C, l'avion viole la contrainte de convexité au sens des routes malgré la convexité géométrique des secteurs !

en 1998 l'auteur tente de résoudre les défauts de cette approche. Les k secteurs sont maintenant déterminés par la construction des composantes connexes à partir des k sommets choisis de façon aléatoire parmi les sommets du réseau de trafic aérien. Les chromosomes sont les listes des sommets constituant les secteurs (voir Figure II.4).

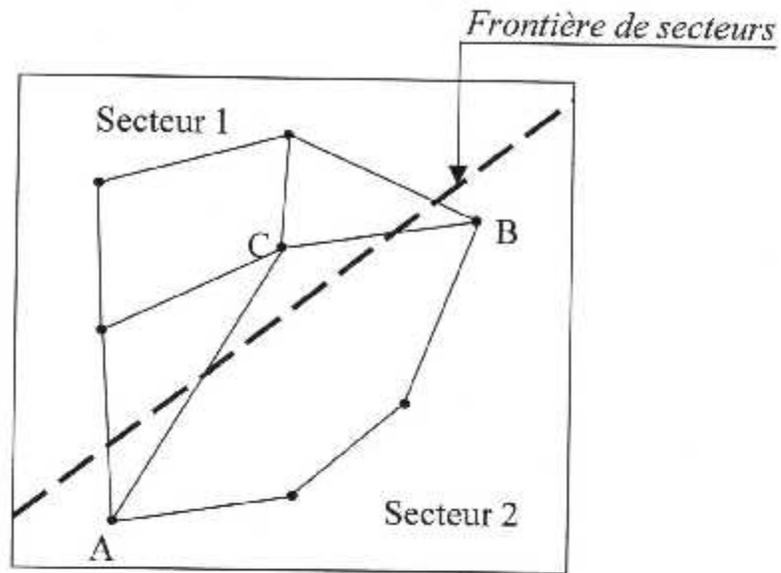


Fig. II.3. : La contrainte de convexité au sens des routes est violée en reliant A et B via C

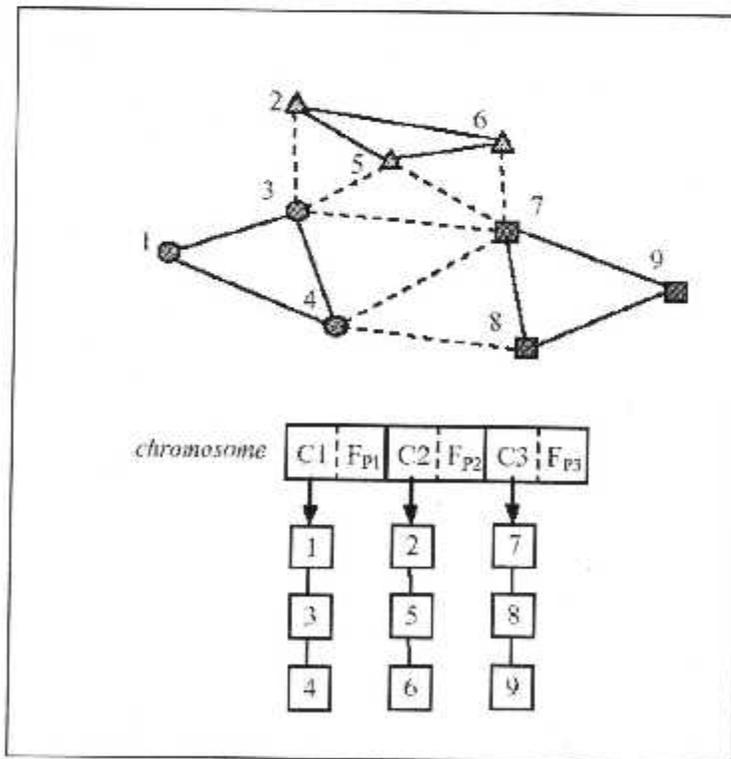


Fig. II.4 : Construction des secteurs comme composantes connexes et codage en chromosome associé

Les contraintes de temps de passage minimum et de distance minimum sont satisfaites en imposant d'être dans le même secteur des couples de sommets dont la distance est inférieure à une distance donnée. Cependant, la possibilité de violer la contrainte de convexité persiste toujours car la connexité des secteurs n'assure pas la convexité au sens des routes. Sur la Figure II.3, le secteur n'est pas convexe en reliant A et B via C, même si il est connexe.

II.2.1.3 Approche de Manuel et al. (2002):

Plus récemment, toujours dans le cadre d'une approche par algorithme génétique, Manuel et al [4], proposent de diviser l'espace aérien à sectoriser en des volumes unitaires. Un secteur est maintenant défini en regroupant des volumes unitaires (voir Figure II.5) et un chromosome contient des identifiants des secteurs auxquels les volumes unitaires appartiennent. La *fitness* est définie de manière à diminuer l'écart entre la charge de travail des secteurs et une charge maximum donnée, en favorisation le respect de cette limite.

Comme dans les travaux précédents, les contraintes spécifiques ne sont pas bien respectées, notamment à cause de la gestion compliquée des contraintes dans les algorithmes génétiques.

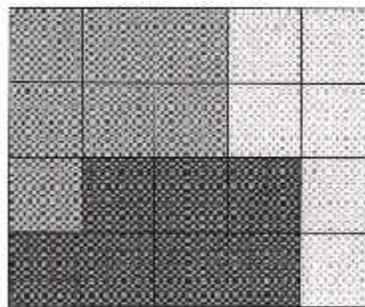


Fig. II.5 : Construction des secteurs en regroupant des volumes unitaires

II.2.2 Partitionnement de graphe et Programmation par contrainte :

II.2.2.1 Partitionnement de graphe :

Le problème de partitionnement de graphe (PPG) consiste à diviser l'ensemble des sommets d'un graphe en plusieurs sous-ensembles afin que les "*tailles*" des sous-ensembles soient équilibrées, en minimisant la somme des évaluations des arêtes coupées. Ce problème est largement étudié depuis plus de trente ans et ses applications sont multiples : en conception de circuit intégré VLSI, dans le calcul parallèle, dans l'optimisation des méthodes des éléments finis, etc.

Notre problème de sectorisation est naturellement très proche de ce problème, sauf que les contraintes spécifiques au contrôle de trafic aérien doivent être prises en compte.

Les algorithmes de résolution du PPG peuvent être divisés en deux groupes : les algorithmes locaux (ou heuristiques d'amélioration locale) et les algorithmes globaux (ou heuristiques de construction)¹.

Le problème de partitionnement de graphe est représenté comme suit :

Soit $G = (V, E)$ un graphe où V est l'ensemble des sommets v_i et E est l'ensemble des arêtes (v_i, v_j) non orientées. Dans certains cas, aux sommets du graphe peuvent être associées des coordonnées spatiales déterminant leurs positions relatives dans l'espace d -dimensionnel \mathbb{R}^d . Un k -partitionnement de ce graphe est une application $P : V \rightarrow [1; k]$ des sommets vers les sous-ensembles (appelés partitions) V_1, V_2, \dots, V_k ($P(v_i) = j$ si et seulement si le sommet v_i est dans la partition V_j), où :

$$\bigcup_j V_j = V \text{ et } V_i \cap V_j = \emptyset \text{ pour tout } i \neq j.$$

Chaque partitionnement induit un ensemble d'arêtes coupées (*cut-edges* en anglais) E_c , défini comme l'ensemble des arêtes dont les deux extrémités sont dans des partitions distinctes : $E_c = \{(v_i, v_j) / (v_i, v_j) \in E, P(v_i) \neq P(v_j)\}$. La cardinalité $|E_c|$ est appelée la *cutsizes* du partitionnement. La cardinalité $|V_i|$ est appelée la *taille* de la partition V_i . La Figure II.6 nous donne un exemple d'un 3-partitionnement du graphe avec une *cutsizes* égale à 7.

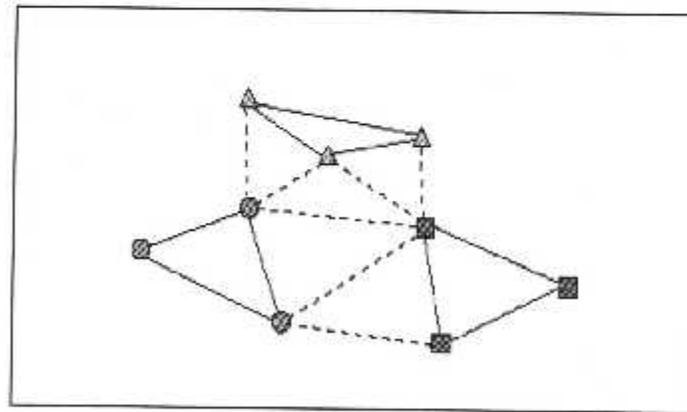


Fig. II.6 :3-partitionnement du graphe avec *cutsizes*=7

¹ - Elle existe une nouvelle technique appelés multi niveaux.

Le problème de k -partitionnement du graphe $G = (V, E)$ consiste à trouver un k -partitionnement afin que les tailles des partitions soient équilibrées ($|V_i| \approx |V|/k$) et que la cutsizes $|E_c|$ soit minimisée.

II.2.2.2 Programmation par contrainte :

La programmation par contraintes (PPC) connaît un grand succès depuis quelques années dans de multiples domaines, en particulier dans la résolution de problèmes combinatoires, l'ordonnancement, etc. Cette technique hérite à la fois de l'intelligence artificielle et de la recherche opérationnelle. On cherche à distinguer clairement les parties "logique" et "contrôle" : l'utilisateur définit son problème et l'ordinateur le résout.

L'utilisateur définit son problème sous la forme d'une ou plusieurs instances de problème de satisfaction de contraintes (CSP pour Constraint Satisfaction Problem en Anglais). Une instance de CSP est un ensemble de variables et un ensemble de contraintes sur les variables. Le problème est résolu si l'affectation des variables, i.e. attribuer une valeur à chacune des variables, respecte toutes les contraintes.

Un problème de satisfaction de contraintes est défini par un triplet (X, D, C) suivant :

- $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ est l'ensemble des variables du problème ;
- $D = \{D(x_i)\}$ sont des domaines pour chaque variable x_i . Le domaine $D(x_i)$ de la variable x_i constitue l'ensemble des valeurs que cette variable peut prendre ;
- $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ est l'ensemble des contraintes sur les variables.

Les contraintes peuvent être déclarées de façon implicite, c'est-à-dire grâce aux formules arithmétiques (par exemple $x_1 = 2 * x_2, x > 5, \dots$) ; ou bien de façon explicite par l'ensemble des tuples que les variables concernées peuvent prendre (par exemple $\{(1,2), (2,3), (3,4)\}$ pour les deux variables x_1 et x_2 dont les domaines sont respectivement $\{1, 2, 3\}, \{2, 3, 4\}$. Notons que cette dernière contrainte peut être également définie par $x_2 = x_1 + 1$.

Une contrainte peut porter sur une ou plusieurs variables. On dit que la contrainte est :

- **unaire** si elle ne porte que sur une variable, par exemple $x > 5$;
- **binaires** si elle met en relation 2 variables, par exemple $x_1 = 2 * x_2$;
- **globale** si elle met en relation un ensemble de variables. Par exemple la contrainte *TousDifférents(E)*, qui contraint toutes les variables appartenant à E à prendre des valeurs différentes.

Si toutes ses contraintes sont binaires, un CSP peut être représenté sous forme d'un

réseau de contraintes : chaque noeud représente une variable et on a un arc entre deux noeuds si et seulement si il y a une contrainte entre les variables associées. La figure II.7 est un exemple de réseau de contraintes.

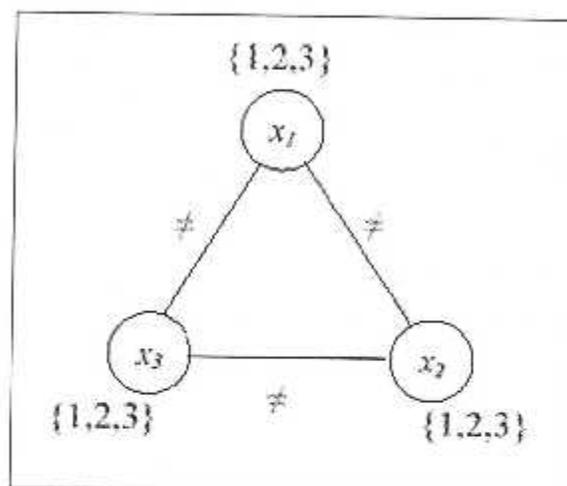


Fig. II.7. : Réseau de contraintes

La *résolution* du CSP consiste à affecter une valeur (évidemment dans son domaine) pour chaque variable telles que toutes les contraintes soient satisfaites.

Une *affectation totale* est une affectation (instanciation) pour toutes les variables du problème. Elle est dite *partielle* lorsqu'une partie seulement des variables est instanciée.

Une affectation est *consistante* si elle ne viole aucune contrainte. Sinon elle est inconsistante. Une solution du CSP est donc une affectation totale consistante.

Pour un CSP, on peut ne chercher qu'une solution, ou bien toutes les solutions.

II.2.2.3 Approche de TRAN DAC Huy (2004) :

Le problème de sectorisation de l'espace aérien a été étudié dans le cadre de la thèse de TRAN DAC Huy [5]. Le problème est résolu à l'aide d'une formulation en programmation par contraintes et l'espace aérien est sectorisé en k secteurs par des étapes suivantes :

- L'espace aérien, constitué par un réseau de routes aériennes sur lesquelles sont affectées des demandes de trafic, est représenté par un graphe $G = \{V, E\}$. V est l'ensemble de sommets v_i qui sont des balises et des points de croisement entre

les routes. E est l'ensemble des arcs, où $(v_i, v_j) \in E$ si et seulement s'il existe une route reliant v_i et v_j . Les sommets de ce graphe, ainsi que les arêtes, sont évalués par les charges de travail des contrôleurs.

- Le problème de sectorisation de l'espace représenté par le graphe $G = \{V, E\}$, $|V| = n$, $|E| = m$ est considéré comme une instance du problème de partitionnement de graphe, où V doit être partitionné en k sous-ensembles V_1, V_2, \dots, V_k , avec $\bigcup_i V_i = V$ et $V_i \cap V_j = \emptyset$ pour tout $i \neq j$. Un secteur S_i est constitué par les sommets du sous-ensemble V_i .
- Une *triangulation contrainte* du graphe $G = \{V, E\}$ est calculée. Cette triangulation, considérée comme le graphe de relation de voisinage, sert non seulement à la propagation des contraintes de connexité de secteur mais aussi au calcul d'enveloppes de secteurs à la dernière étape.
- Pour respecter les contraintes, le problème de sectorisation est modélisé comme un problème de satisfaction de contraintes, en introduisant n variables x_i dont le domaine est $[1, k]$, où la variable x_i prend la valeur j si le sommet v_i correspondant est dans le secteur V_j . Les contraintes sont naturellement définies, soit par les contraintes arithmétiques, soit par des contraintes globales accompagnées d'algorithmes de propagation dédiés. La fonction d'optimisation est définie de manière à minimiser la somme des évaluations des arcs coupés. Une heuristique pour l'ordre de sélection des variables et des valeurs est également proposée.
- Une "bonne" solution de sectorisation d'une grande instance avec k quelconque est trouvée par un schéma de bisection récursive. À chaque étape de bisection, la solution, obtenue avec cette formulation en programmation par contraintes est améliorée par l'heuristique de Kernighan/Lin *restreinte* [6].
- La solution obtenue lors de l'étape précédente est ensuite améliorée par une procédure d'optimisation locale randomisée : un couple de secteurs adjacents est choisi de façon aléatoire et la procédure cherche la bisection optimale de ces deux secteurs ;
La procédure continue jusqu'à ce que la solution ne soit plus améliorée pendant un nombre d'itérations prédéfini.
- Enfin, une fois qu'une solution au problème de sectorisation est trouvée, c'est-à-dire que chaque secteur est défini par un ensemble de sommets, les enveloppes des secteurs sont calculées par une approche basée sur la notion de tessellation polygonale et de graphe de relation de voisinage.

Cette formulation est implémentée et testée avec des données simulées. Elle permet de trouver la solution optimale de bisection pour les *petites* instances

jusqu'à 100 sommets. Et avec la stratégie *diviser et conquérir*, a permet de résoudre les instances jusqu'à 1000 sommets sectorisés en 80 secteurs.

II.3. Limitations de ces modèles Mathématiques :

Chaque modèle mathématique de ces modèles a beaucoup des limites, du à la modélisation ou à la prise en compte de différents problèmes lier au problème principal ou à l'algorithme lui-même.

II.3.1 Modélisation de la charge de contrôle :

Les paramètres liés à la description de cette charge ont été choisis empiriquement et pourraient être affinés à l'aide d'expérimentations. Cette modélisation est très délicate car beaucoup de facteurs entrent en jeu dans la résultante de la charge de contrôle.

II.3.2 Prise en compte de la troisième dimension :

Jusqu'à présent, seul le trafic en route a été pris en compte pour synthétiser la charge de contrôle. Cette hypothèse sur la nature du trafic a permis de modéliser le réseau de transport aérien à l'aide d'un graphe dans un espace de deux dimension.

Malheureusement, ce type de représentation n'est pas adapté pour le trafic évolutif pour lequel les avions changent très souvent de niveau de vol. Il faut alors utiliser un réseau de transport à trois dimensions dans lequel les arcs représentent des « routes aériennes 3D ».

II.3.3 Limitation de l'exploration de l'espace d'état :

La synthèse des secteurs de contrôle à l'aide des centres de classe est très intéressante pour la description du chromosome utilisé par les algorithmes génétiques car très peu d'informations sont nécessaires pour construire une sectorisation complète qui de plus, satisfait la propriété de convexité géométrique. On rappelle que seules les positions géographiques des centres de classe sont codées dans le chromosome. En examinant la sectorisation actuelle, on constate que les secteurs ont des formes polygonales mais pas nécessairement convexes d'un point de vue géométrique. Ce type de représentation est plus riche en terme d'exploration spatiale et permet d'accéder à de nouveaux points de l'espace d'état, que la propriété de convexité nous interdit d'adresser. Ainsi, sur l'exemple de la figure II.8 , une sectorisation convexe ne peut pas équilibrer les charges de contrôle alors qu'en supprimant la convexité géométrique il est possible d'atteindre cet objectif.

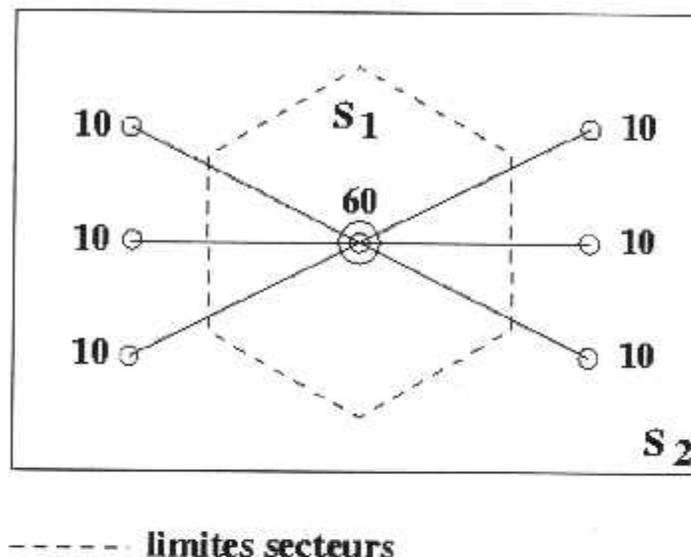


Fig. II.8 : Exemple de limitation liée à la convexité géométrique

De la même façon que pour la limitation des algorithmes génétiques par rapport à l'extension tridimensionnelle, le codage de chromosomes permettant de synthétiser des sectorisations polygonales non convexes s'avère assez compliqué.

II.3.4 Prise en compte des zones militaires :

Une partie de l'espace aérien est réservé aux autorités militaires. L'activation de ces zones, qui est faite à l'initiative des instances de la défense, provoque des perturbations plus ou moins importantes dans le trafic aérien civil suivant la configuration du moment. De plus, les secteurs qui contiennent ces zones voient leur espace se réduire brutalement limitant ainsi les possibilités d'action des contrôleurs. Cette restriction d'espace provoque une augmentation de la charge de contrôle induite pour la même quantité de trafic.

Ce type d'événement n'est pas pris en compte dans ces algorithmes car leur modélisation est très délicate. Un moyen détourné d'intégrer ces zones dans le processus de résolution consisterait à augmenter artificiellement la charge de contrôle des secteurs qui les contiennent.

II.3.5 Problèmes politiques liés à la souveraineté de l'espace aérien :

En observant la sectorisation actuelle, on constate que les limites des secteurs épousent les frontières géographiques des pays qui les contiennent. Ceci se justifie dans la mesure où le contrôle du trafic aérien est généralement confié aux pays survolés par les aéronefs. Il est clair que cette restriction réduit les performances de la sectorisation actuelle car elle provoque des coordinations superflues.

II.3.6 Prise en compte de la propagation des flux :

Le fait d'utiliser des flux statiques sur le réseau produit une charge de contrôle invariante dans le temps, que l'on a majorée en considérant le flux maximum enregistré sur une journée sur chacun des arcs du réseau. Or, on sait très bien que ces valeurs extrêmes ne sont jamais présentes simultanément, car les heures de pointe de trafic sont locales aux fuseaux dans lesquels se trouvent les aéroports. Ainsi, les pointes sont décalées dans le temps. De plus, lorsqu'il y a une augmentation de la demande de trafic sur une paire Origine-Destination donnée, elle va induire un accroissement du flux sur la route associée avec un délai de propagation lié à la vitesse des aéronefs. Les algorithmes de sectorisation devraient tenir compte de cette propagation pour déterminer la charge réellement présente sur le réseau de transport.

II.4 Méthodes pratiques :

Le but des méthodes pratiques est de donner une nouvelle sectorisation applicable (réelle) satisfaisant aux exigences des experts en contrôle aérien qui est basé sur une analyse détaillée de trafic.

Permis ces méthodes, la méthode de *regroupement des volumes unitaires* qui consiste à diviser l'espace aérien à des petits volumes unitaires et de calculer pour chaque volume la charge de contrôle (en nombre d'avion), puis de regrouper ce volume avec des volumes adjacents tant que la charge de contrôle est inférieure une charge maximale acceptable.

Quand les secteurs sont définis on corrigera ces derniers en modifiant les frontières des secteurs à l'aide d'une interface graphique. (Prise en compte des contraintes de sectorisation : coordination, convexité, connexité, temps de passage minimum et distance de passage minimum).

Pour cela il faut établir une base de donnée à partir des informations des plans de vol et établir aussi des séries de cartes décrivant les routes aériennes pour l'interface graphique.

L'algorithme de cette méthode(*regroupement des volumes unitaires*) est le suivant :

1. décomposition des vols en segments et affectation d'une valeur numérique pour la basse altitude, la haute altitude ou le trafic de transition (avion en montée ou en décente).
2. Affectation des catégories : arrivées, départs et survols pour chaque segment.
3. Statistique de trafique annuel, mensuel, hebdomadaire, quotidien, horaire, et jours de la semaine qui permet de déterminer le trafic d'une journée type.
4. Définition de la charge de trafic maximal acceptable par le contrôleur.
5. Détermination du nombre de secteurs k .
6. Division de la FIR en volumes unitaires après le choix de Δg et Δl ¹.
7. Calcul de charge de trafic par volume unitaire.
8. Regroupement des volumes unitaire et constitution des secteurs.
9. Implémentation des secteurs sur des cartes de routes².
10. Réorganisation des frontières des secteurs.
11. Calcule de la charge de contrôle par secteurs.
12. Si la charge d'un secteur ou plus est supérieure à la charge max acceptable revient à l'étape 10.
13. sinon la sectorisation est terminée.

II.5 Conclusion :

Après l'étude de différents méthodes utilisés pour le problème de sectorisation on a observé que les méthodes mathématiques sont très compliquées devant les méthodes empiriques à cause du problèmes de modélisation de la charge de contrôle et en plus il ont beaucoup des limites.

Et à cause de limite de temps de stage pratique (3 mois à l'ENNA) j'ai choisis la méthode empirique (regroupement des volumes unitaires)

¹ La taille du volume unitaire Δg : largeur en longitude et Δl : largeur en latitude

² une série des cartes définit les routes supérieurs et inférieurs est nécessaire.

1. décomposition des vols en segments et affectation d'une valeur numérique pour la basse altitude, la haute altitude ou le trafic de transition (avion en montée ou en décente).
2. Affectation des catégories : arrivées, départs et survols pour chaque segment.
3. Statistique de trafique annuel, mensuel, hebdomadaire, quotidien, horaire, et jours de la semaine qui permet de déterminer le trafic d'une journée type.
4. Définition de la charge de trafic maximal acceptable par le contrôleur.
5. Détermination du nombre de secteurs k .
6. Division de la FIR en volumes unitaires après le choix de Δg et Δl ¹.
7. Calcul de charge de trafic par volume unitaire.
8. Regroupement des volumes unitaire et constitution des secteurs.
9. Implémentation des secteurs sur des cartes de routes ².
10. Réorganisation des frontières des secteurs.
11. Calcule de la charge de contrôle par secteurs.
12. Si la charge d'un secteur ou plus est supérieure à la charge max acceptable revient à l'étape 10.
13. sinon la sectorisation est terminée.

II.5 Conclusion :

Après l'étude de différents méthodes utilisés pour le problème de sectorisation on a observé que les méthodes mathématiques sont très compliquées devant les méthodes empiriques à cause du problèmes de modélisation de la charge de contrôle et en plus il ont beaucoup des limites.

Et à cause de limite de temps de stage pratique (3 mois à l'ENNA) j'ai choisis la méthode empirique (regroupement des volumes unitaires)

¹ La taille du volume unitaire Δg : largeur en longitude et Δl : largeur en latitude

² une série des cartes définit les routes supérieurs et inférieurs est nécessaire.

Chapitre III

Simulation actuelle et analyse de trafic

III.1. Situation actuelle :

✕ III.1.1 Organisation de l'espace aérien :

La position géographique de l'Algérie est entre les parallèles 19°N jusqu'au 39°N et de les méridiens 09° W jusqu'au 12° E .

La totalité de l'espace aérien Algérien est appelé " FIR ALGER", affectée au centre de contrôle, et délimitée en secteurs.

✕ III.1.1.1. Limite de l'espace aérien Algérien :

L'espace aérien Algérien est limité au Nord par la FIR Barcelone et la FIR de Marseille , à l'Est par celle de la Tunisie et de TRIPOLI (Libye) . à l'Ouest par celle de Maroc et de DAKAR (Sénégal) . Vers le Sud par celle de NIAMEY (Niger) .

✕ III.1.1.2. Division de l'espace aérien Algérien :

L'espace aérien Algérien est divisé en 07 secteurs, classés et désignés par une lettre : A, D, F ou G plus ou moins équivalentes aux catégories recommandées par l'OACI. Trois (03) classes B, C, et E qui ont été adoptées par l'ALGERIE sont disponibles à des fins d'utilisation mais à l'heure actuelle aucune portion de l'espace aérien n'a été classée dans ces catégories.

Cette FIR a été divisée en sept (07) secteurs (carte III.1) et sont classés comme suit :

1. Les trois (03) secteurs du Nord à savoir Nord/Est, Centre et Nord/Ouest sont à statut de *contrôle*, où figure trois (03) TMA classées en espace D. Pour la TMA Alger centre, en plus de la classification de l'espace D, existe l'espace A ayant pour limite verticale inférieure FL245 allant jusqu'au FL 450 comme limite supérieure.
2. Trois (03) secteurs juxtaposés aux trois secteurs cités ci-dessus, à savoir Sud/Est, Sud/Centre et Sud/Ouest sont des secteurs à statut *consultatif*, à l'intérieur desquels l'organe de la circulation aérienne, fourni des informations et propose des suggestions. Ces trois secteurs sont classés suivant la classification F.
3. Le dernier secteur c'est le Sud/Sud. Un secteur purement d'information, l'organe de la circulation aérienne (CIV : Centre d'information de vol), fournit uniquement des informations, elles sont au nombre de trois :
 - Information de trafic ;
 - Information météorologique ;
 - Information d'infrastructure.

Ce secteur est de classe G.

Le tableau (III.1) résume la classification des secteurs :

Secteurs		Classe	Limite inférieur	Limite Supérieur
Secteur Alger	Espace supérieur	A	FL 245	FL 450
	Espace inférieur	D	450m GND/MSL	FL 245
Secteur Nord Est		D	450m GND/MSL	FL 450
Secteur Nord Oust		D	450m GND/MSL	FL 450
Secteur Sud Centre		F	GND/MSL	UNL
Secteur Sud Est		F	GND/MSL	UNL
Secteur Sud Ouest		F	GND/MSL	UNL
Secteur Sud Sud		G	GND/MSL	UNL

III.1.1.3. CTA :

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

- CTA Alger / HOUARI Boumedienne
- CTA ANNABA / El Mellah
- CTA Constontine / Mohamed Boudiaf
- CTA Hassi Messaoud / Oued Irara Krim
- CTA Oran / Essania

Le tableau (III.2) résume la classification des CTA :

Désignation	Classe	Limite inférieur	Limite Supérieur
CTA Alger / HOUARI Boumedienne	D	450m GND/MSL	FL 105
CTA ANNABA / El Mellah	D	450m GND/MSL	FL 85
CTA Constontine / Mohamed Boudiaf	D	450m GND	FL 105
CTA Hassi Messaoud / Oued Irara Krim	F	900m GND	FL 105
CTA Oran / Essania	F	450m GND	FL 40

Le tableau(III.3) suivant montre Les zones dangereuse et interdite de la FIR d'ALGER :

SUA Indicatif	Nom	Limite Inférieure	Limite Supérieure	Horaire
DA(D)-32	ARZEW	SURFACE	4000AGL	BY NOTAM
DA(D)-49C	BOU SFER	9000AMSL	FL295	CONT
DA(D)-50A	BOU SFER	SURFACE	6200AGL	CONT
DA(D)-50B	BOU SFER	SURFACE	FL250	CONT
DA(D)-50C	BOU SFER	SURFACE	FL295	CONT
DA(D)-52	SOUK EL ARBA	SURFACE	UNLTD	CONT DAYS
DA(D)-61A	EL ARBA	SURFACE	FL70	SAT-WED DAYS
DA(D)-61B	EL ARBA	FL040	FL70	SAT-WED DAYS
DA(D)-63	MILIANA	SURFACE	FL90	SAT-THU(EXC HOL) DAYS
DA(D)-71		SURFACE	2700AGL	CONT
DA(D)-74A	TAFARAOUI	SURFACE	FL295	CONT
DA(D)-74B	TAFARAOUI	9000AGL	FL295	CONT
DA(D)-74C	TAFARAOUI	8000AMSL	FL295	CONT
DA(D)-76		SURFACE	3000AMSL	CONT
DA(D)-79		SURFACE	UNLTD	CONT
DA(D)-82	HASSI BAHBAH	GND	UNLTD	BY NOTAM
DA(P)-51	AIN OUSSERA	SURFACE	UNLTD	CONT
DA(P)-58	LAGHOUAT	SURFACE	UNLTD	CONT
DA(P)-60	OUARGLA	SURFACE	UNLTD	CONT
DA(P)-64	TINDOUF	SURFACE	UNLTD	CONT
DA(P)-67	BECHAR	SURFACE	UNLTD	CONT
DA(P)-70	MECHERIA	SURFACE	UNLTD	CONT
DA(P)-73	TLEMCEN	SURFACE	FL80	CONT
DA(R)-54	ALGER	SURFACE	1500AGL	CONT
DA(R)-65	CONSTANTINE	SURFACE	FL65	CONT DAYS
DA(R)-68	AIN ARNAT	SURFACE	FL105	CONT DAYS-NIGHTS BY NOTAM
DA(R)-72A	TIARET	GND	FL225	0700-1500Z++ MON-WED, SAT, SUN EXC HOL
DA(R)-72B	TIARET	GND	FL225	0700-1500Z++ MON-WED,SAT, SUN EXC HOL
DA(R)-75	GHRISS	SURFACE	10000AGL	0700-1500Z++ MON-WED SAT, SUN EXC HOL
DA(R)-78	CHLEF	SURFACE	FL70	CONT
LI(D)-40A	DECIMOMANNU	1000AMSL	UNLTD	SR-30 TO SS+30 MON-FRI, EXC HOL

III.1.1.2. Réseau de routes :

Le réseau de routes en Algérie est composée de routes : domestiques, de transit internationales et s'appuyant parfois sur la navigation de surface (RNAV) . (cartes III.2 et III.3)

III.1.1.2.1 Routes ATS domestiques :

Une route domestique est une voie aérienne utilisée par les aéronefs civils entre deux aéroports Algériens. Elle est caractérisée par la lettre J suivi un chiffre pour les routes inférieures et UJ suivi d'un chiffre pour les routes supérieures.

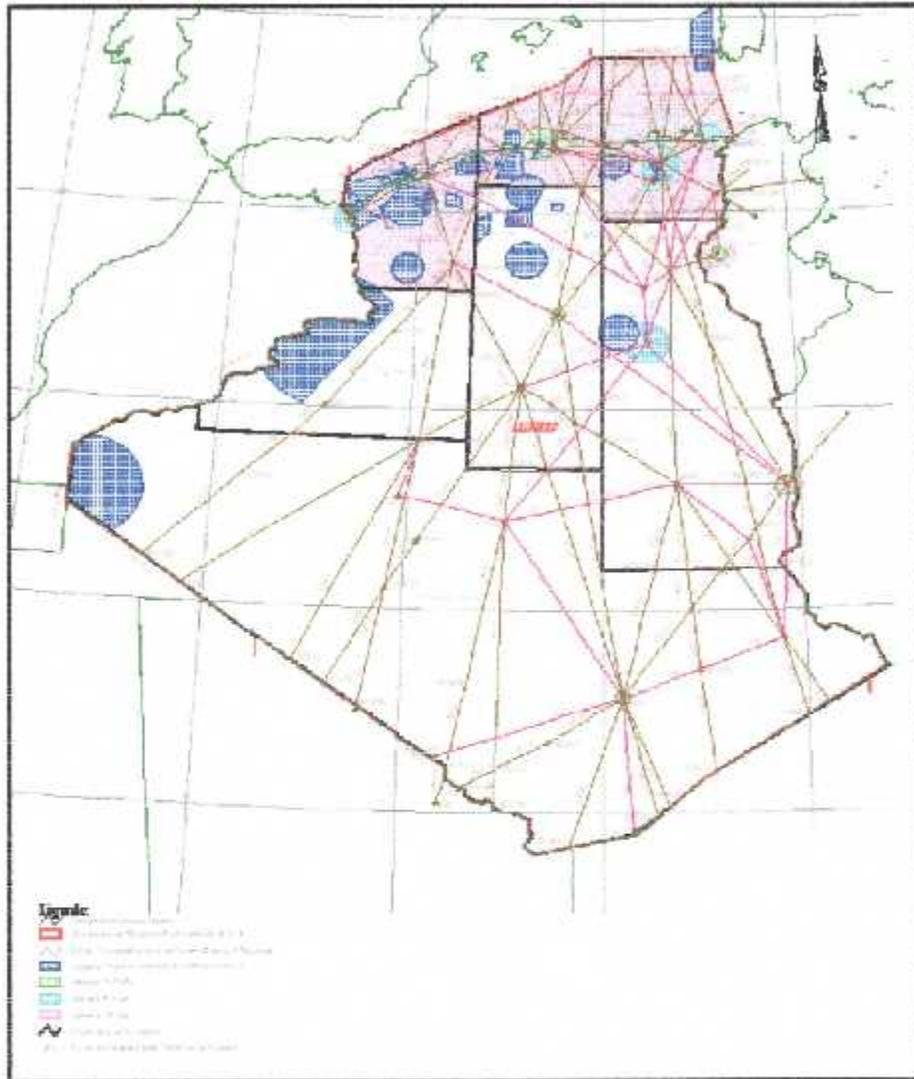
III.1.1.2.2. Route ATS internationales:

Les autres routes ATS sont des cheminements utilisés par les aéronefs pour la desserte de l'Algérie ou le transit. Ces routes sont caractérisées par les lettres A, B, G, R suivi d'un chiffre pour les routes inférieures et UA,UB,UG,UR suivi d'un chiffre pour les routes supérieures..

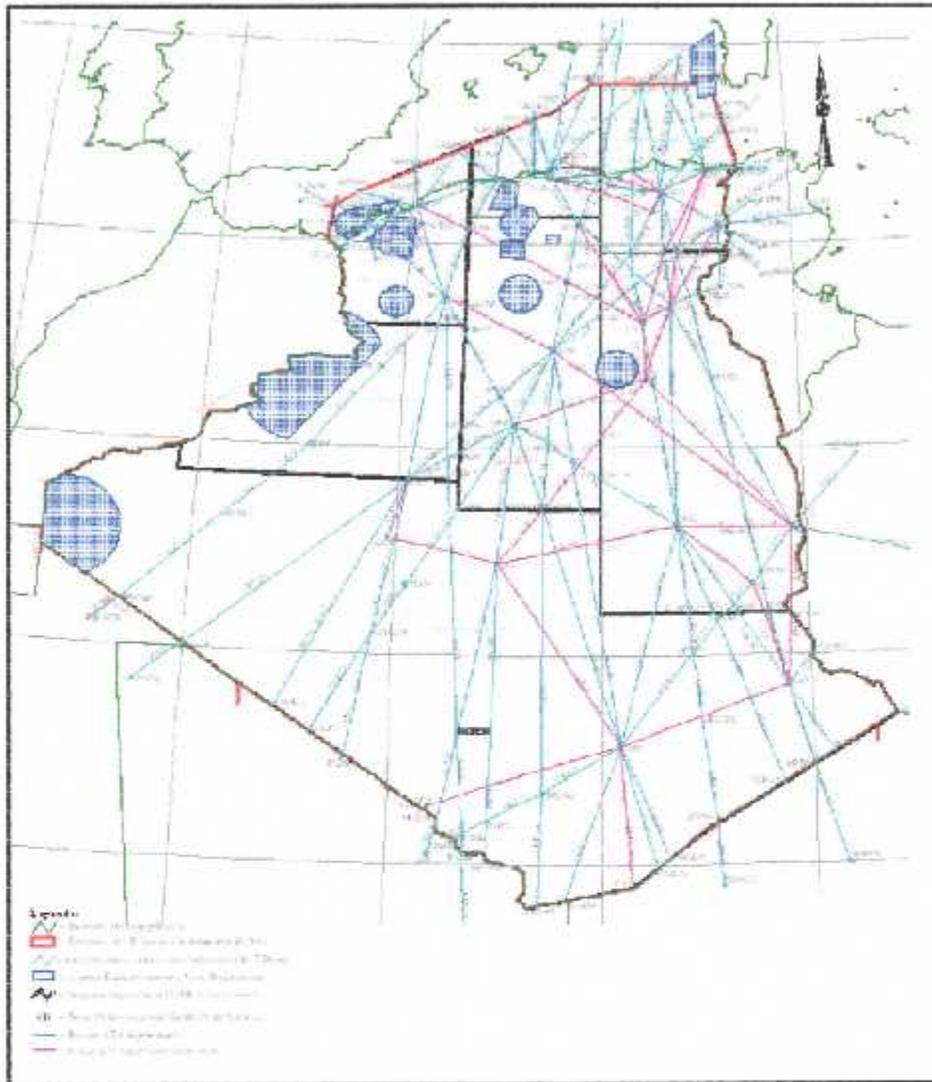
III.1.1.2.3 Route RNAV :

Une route RNAV est une voie aérienne utilisée par les aéronefs civils avec une méthode de navigation permettant le vol sur n'importe quelle trajectoire voulue dans les limites de la couverture des aides de navigation à référence sur station ou des limites des possibilités d'une aide autonome ou grâce à une combinaison de ces deux moyens.

Une route RNAV en Algérie est caractérisée par les lettres UN,UM suivie d'un chiffre.



Carte (III.2): FIR avec les routes aériennes inférieures.



Carte (III.3): FIR avec les routes aériennes supérieurs.

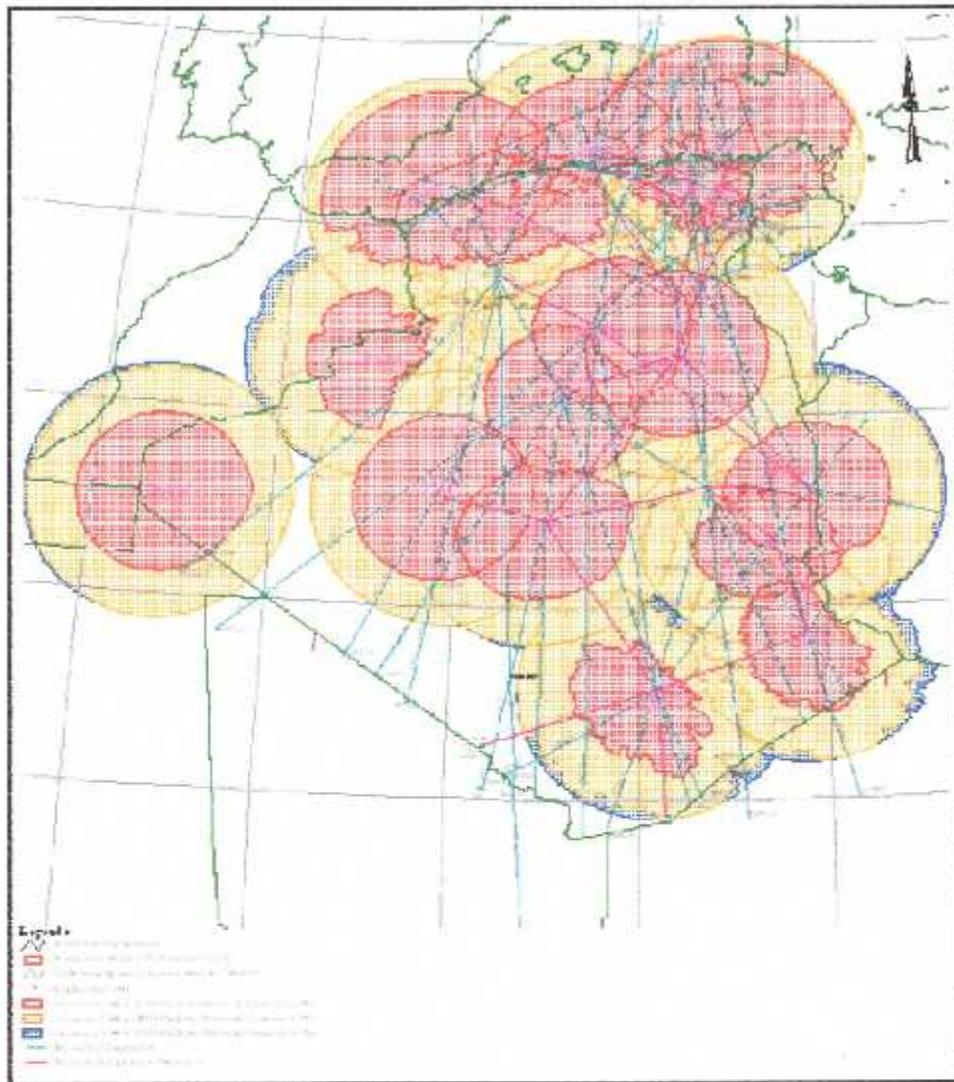
III.1.3 Moyen CNS:

III.1.3.1 Communication :

III.1.3.1.1 Couverture VHF/HF :

En Algérie, seize (16) sites radio VHF dépotées assurent une très grandes couverture de l'espace Algérien, aux environs du FL 240, une double couverture est assurée au nord, une seule dans le centre, alors qu'au sud la couverture VHF n'est pas totale d'où la couverture HF utilisée (carte III.4).

Pour compléter la couverture VHF un projet d'implantation de nouvelles antennes avancées est en cours de réalisation.



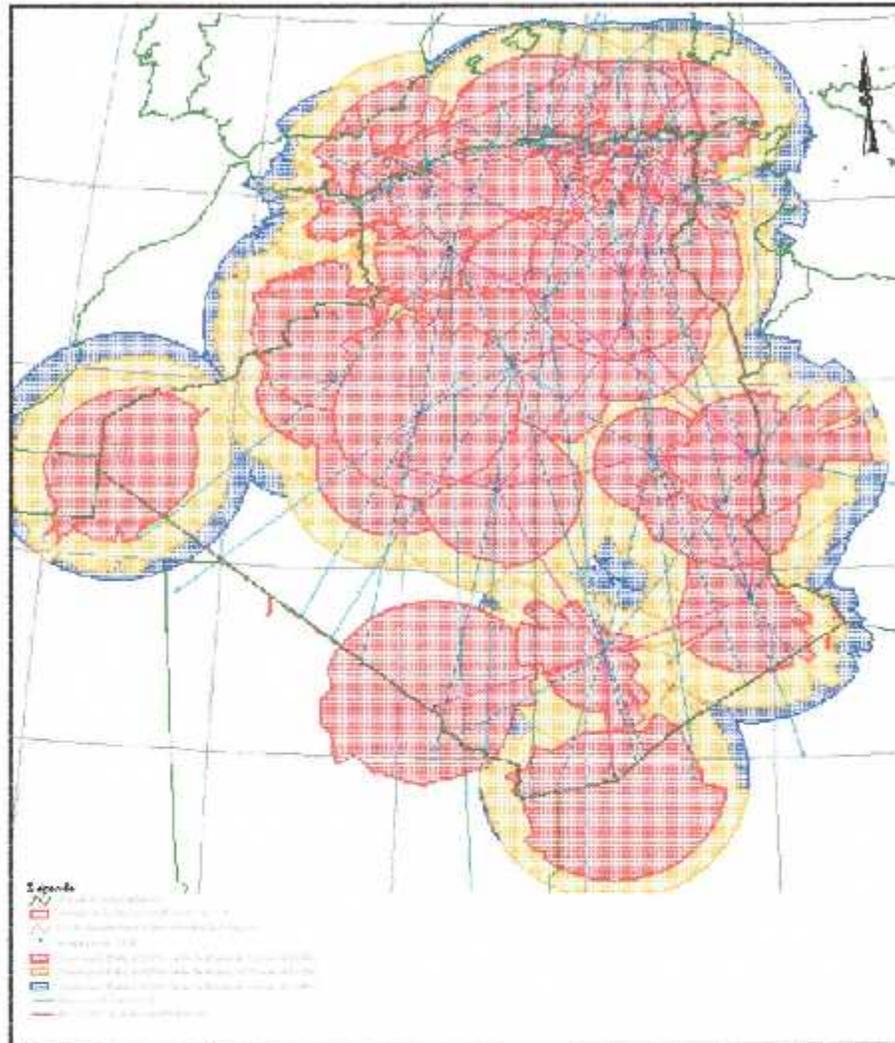
Carte (III.4) : La couverture VHF a 10.000 , 24.000 , 30.000 ft msl

III.1.3.1.2 Télécommunication :

Les télécommunications en Algérie sont assurées par le réseau national géré sous la responsabilité d'Algérie Telecom, et le réseau VSAT qui est à la charge de l'ENNA.

III.1.3.2 Navigation (VOR / DME) :

La navigation en Algérie s'appuie sur le système VOR/DME, qui comprend environ trente-cinq (35) stations, la plupart de ces stations sont installées dans les aéroports aux prolongements des pistes principales à l'exception de quelques-unes qui sont implémentées dans des sites plus éloignés. Ces stations couvrent la majorité de la FIR Algérie au FL 100 à l'exception d'une petite partie dans l'extrême sud (carte III.5).



Carte (III.5) : La couverture des stations VOR a 10.000, 20.000, 30.000 ft msl

III.1.3.3 Surveillance:

III.1.3.3.1 Couverture Radar :

L'ENNA est l'organisme public chargé du contrôle aérien au-dessus de tout le territoire algérien. et il a opté pour la mise en œuvre d'un radar primaire (PSR) a Alger, et de cinq (5) radars secondaires (SSR) répartis dans les régions suivantes ; Alger, Annaba, Oran, El Oued et El Bayadh.

Station radar	Site	Type	Date d'installation
Oued Smar	Alger	PSR/SSR	Février 2001
Seraïdi	Annaba	SSR	Décembre 2001
Murdjadjo	Oran	SSR	Janvier 2001
Guemmar	El Oued	SSR	Avril 2002
Bouderga	El Bayadh	SSR	Mai 2003

Tableau (III.4) les stations radar en Algérie

Ces radars coopèrent entre eux selon la topologie de projet TRAFCA :

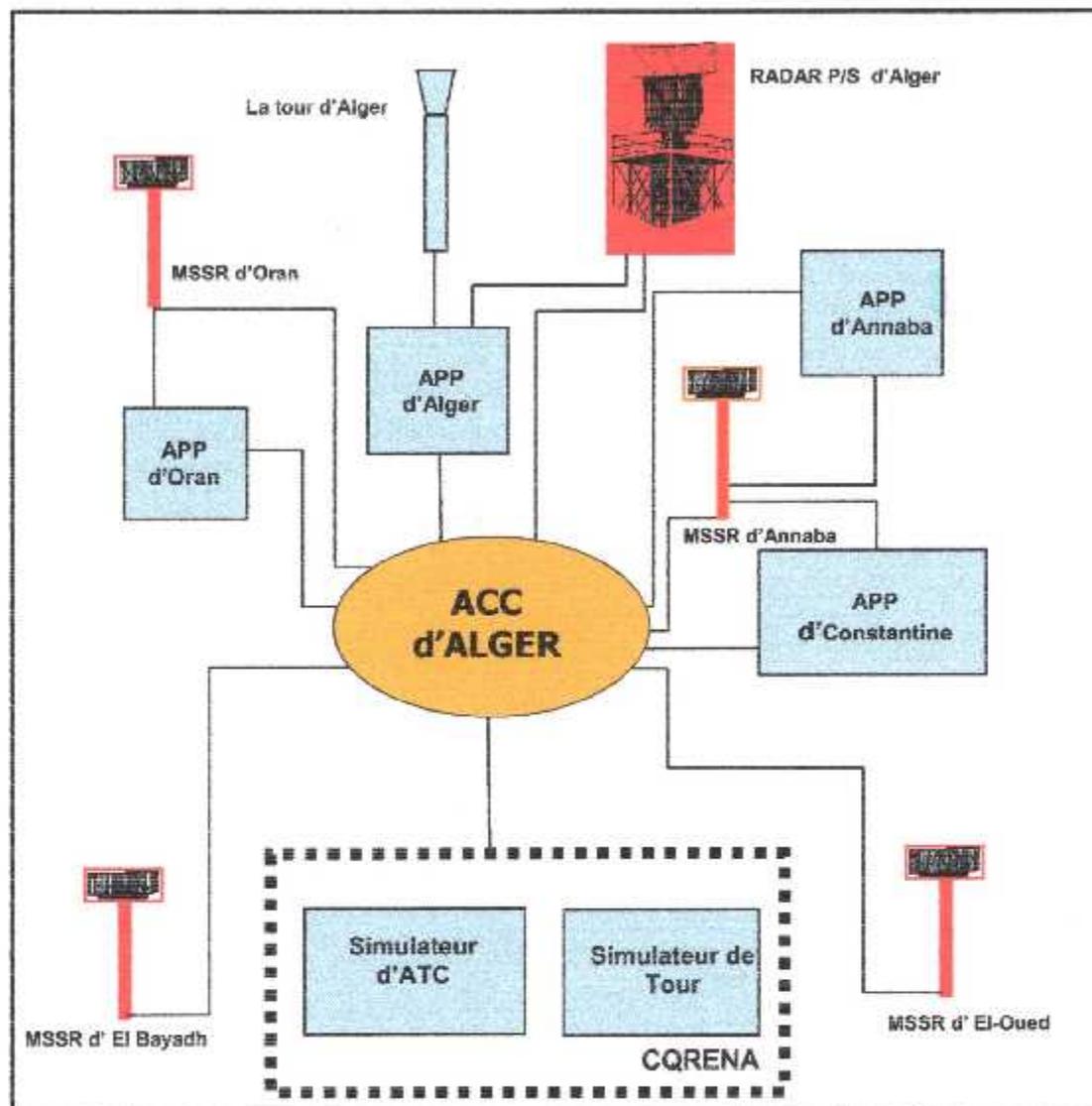
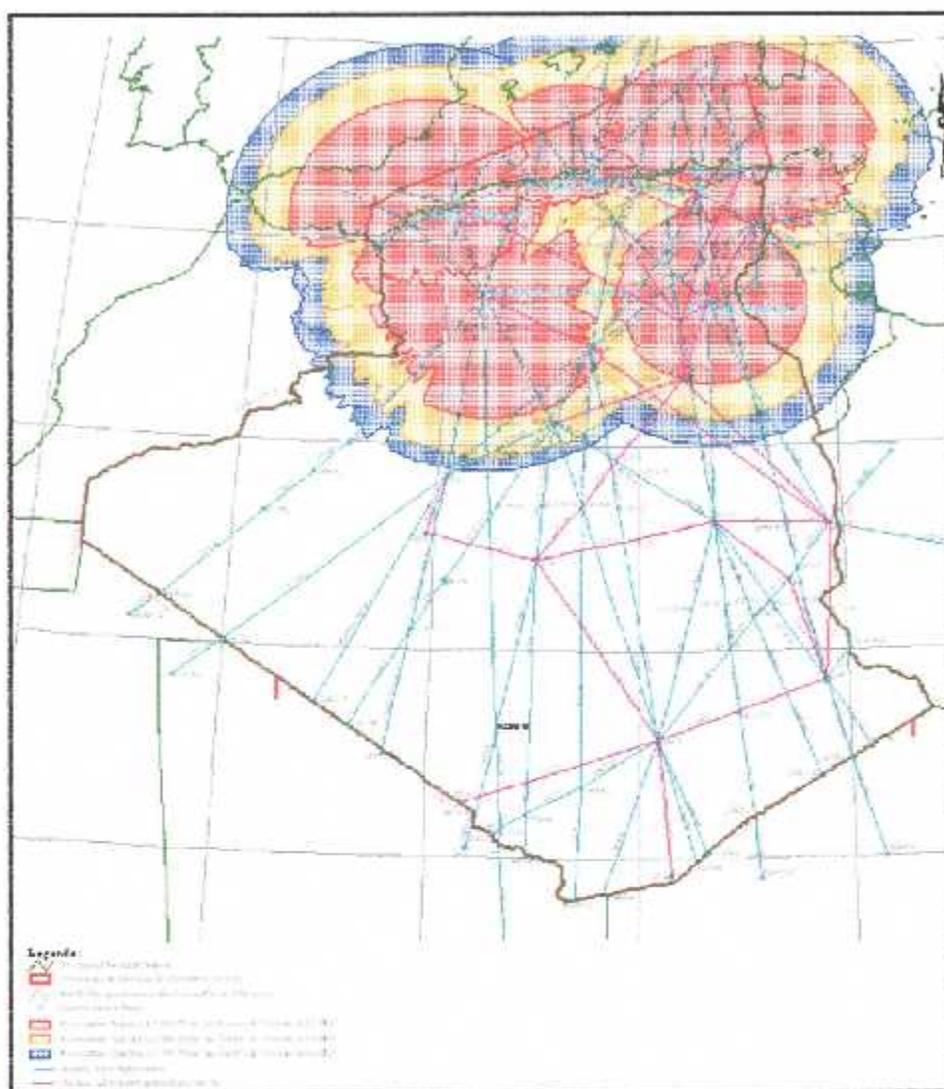


Figure (III.1) : La topologie de projet TRAFCA

Ces radars assurent une double couverture de partie Nord de la FIR algérienne, à l'exception d'une zone située au Nord-Ouest de Constantine à 10.000 pieds d'altitude, un radar primaire est prévu à Oran afin de mieux gérer la complexité de la convergence des activités civiles et militaires dans la région. (carte III.6)



Carte (III.6) : La couverture Radar a 10.000, 20.000, 30.000 ft msl

III.1.3.3.2 ADS :

Le système ADS est en phase d'essais, Au fur et à mesure que la flotte deviendra plus équipée, l'ADS deviendra la méthode principale de surveillance de l'espace aérien Sud.

III.1.4 Organisme de contrôle :

III.1.4.1 ACC :

Algérie possède un seul Centre de Contrôle en Route (ACC) situé à Alger qui assure le contrôle en route et le service d'information de vols dans toute la FIR Alger.

III.1.4.2 Contrôle d'approche :

La FIR Alger dispose de cinq (5) centres de Contrôle d'approche (les cinq CTA) les Approches d'Alger, d'Annaba et d'Oran sont équipées de nouveaux systèmes de contrôle, de communication, et de nouvelles positions de visualisation, réalisé dans le cadre du projet TRAFCA.

III.1.4.3 Contrôle d'aérodrome :

39 aérodromes (carte III-7) sont implantés en Algérie, 30 aérodromes sont des aérodromes civils, dont 10 de moindre importance. 6 aérodromes sont exclusivement militaires et 3 sont mixtes civils militaires.

L'ENNA a la gestion complète des 30 aéroports civils et des 3 aéroports mixtes.

III.2. Analyse de trafic :

Dans cette partie nous étudions le trafic géré par l'ACC d'Alger pour les 10 dernières années, et une analyse particulière de l'année 2004.

Les statistiques font ressortir trois types de trafic :

Survol avec Escale : Vol comportant au moins une escale sur le territoire national, qui a son tour est divisé en deux sous types, *nationaux* et *internationaux*

Survol sans Escale : Vol sans atterrissage (transit).

Vois Spéciaux : VIP, privés, officiels ... etc. et qui peuvent être avec ou sans escale.

III.2.1 Evolution du trafic route 1994-2004 :

III.2.1 Survol avec Escale :

D'après le tableau (III.4), le trafic avec escale des 10 dernières années a connu une phase plus au moins stable allant de 1994 à 1998, suivi d'une phase de croissance très rapide de 1999 à 2002 où il a dépassé les 100.000 mouvements, pour revenir à 85946 mouvements en 2003. et revenir 141765 Mouvement.

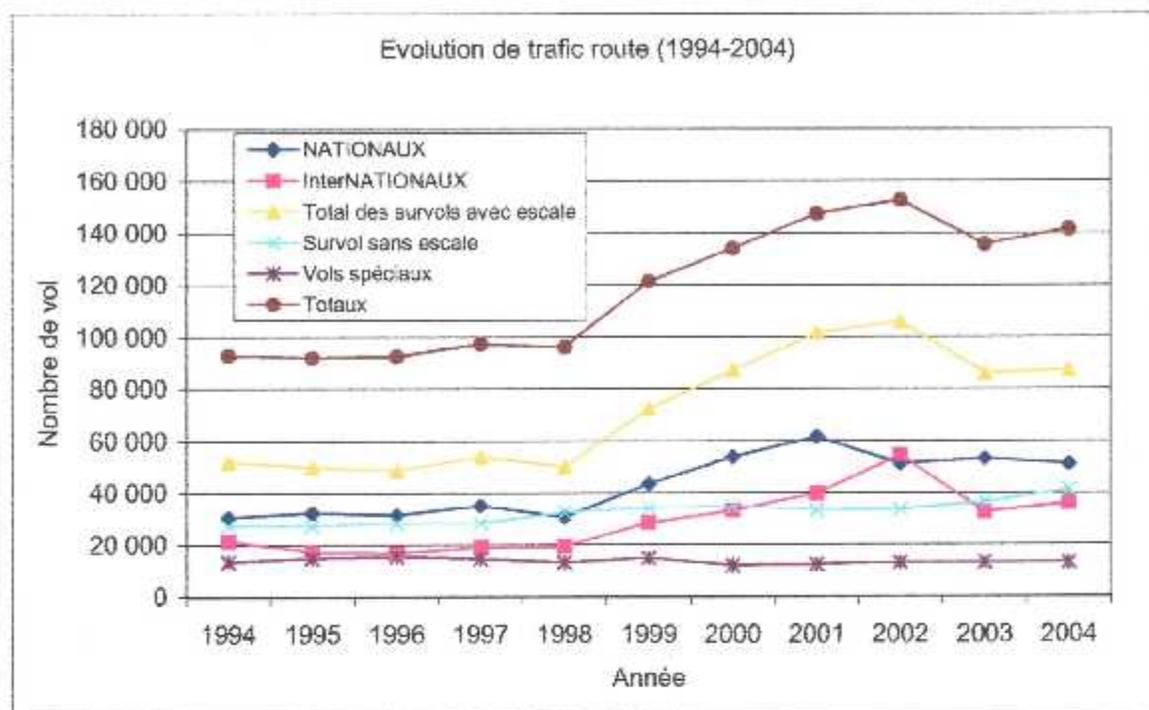
La croissance annuelle moyenne du survol avec escale est de 4.32%. Le trafic international a connu une croissance moyenne plus rapide (5.3 %). Il a même pour une fois dépassé le trafic national en 2002.

III.2.1 Survol sans Escale :

Le survol sans escale des dix dernières années a connu une croissance relativement lente avec variation moyenne de 4,4 %.

Survols avec escale						
	Nationaux	Internationaux	Total des Survols Avec Escale	Survol Sans Escale	vols spéciaux	Totaux
1994	30741	21369	52110	27328	13472	92910
1995	32510	17430	49940	27386	14875	92201
Var 95/94	5,8%	-18,4%	-4,2%	0,2%	10,4%	-0,8%
1996	31661	17045	48706	28449	15498	92653
Var 96/95	-2,6%	-2,2%	-2,5%	3,9%	4,2%	0,5%
1997	35222	18914	54136	28606	14613	97355
Var 97/96	11,2%	11,0%	11,1%	0,6%	-5,7%	5,1%
1998	30887	19393	50280	32722	13277	96279
Var 98/97	-12,3%	2,5%	-7,1%	14,4%	-9,1%	-1,1%
1999	43691	28629	72320	34173	14984	121477
Var 99/98	41,5%	47,6%	43,8%	4,4%	12,9%	26,2%
2000	54027	33242	87269	35010	12040	134319
Var 00/99	23,7%	16,1%	20,7%	2,4%	-19,6%	10,6%
2001	61657	39925	101582	33444	12480	147506
Var 01/00	14,1%	20,1%	16,4%	-4,5%	3,7%	9,8%
2002	51343	54562	105905	33774	13101	152780
Var 02/01	-16,7%	36,7%	4,3%	1,0%	5,0%	3,6%
2003	53336	32740	86076	36581	13241	135898
Var 03/02	3,9%	-40,0%	-18,7%	8,3%	1,1%	-11,0%
2004	51162	36144	87306	41310	13149	141765
Var 04/03	-4,1%	10,4%	1,4%	12,9%	-0,7%	4,3%
Var moyenne	6,4%	8,4%	6,5%	4,4%	0,2%	4,7%
taux de croissance annuel (99/04)	5,23%	5,40%	5,30%	4,22%	-0,24%	4,32%

Tableau III.3. Evolution du trafic route 1994-2004

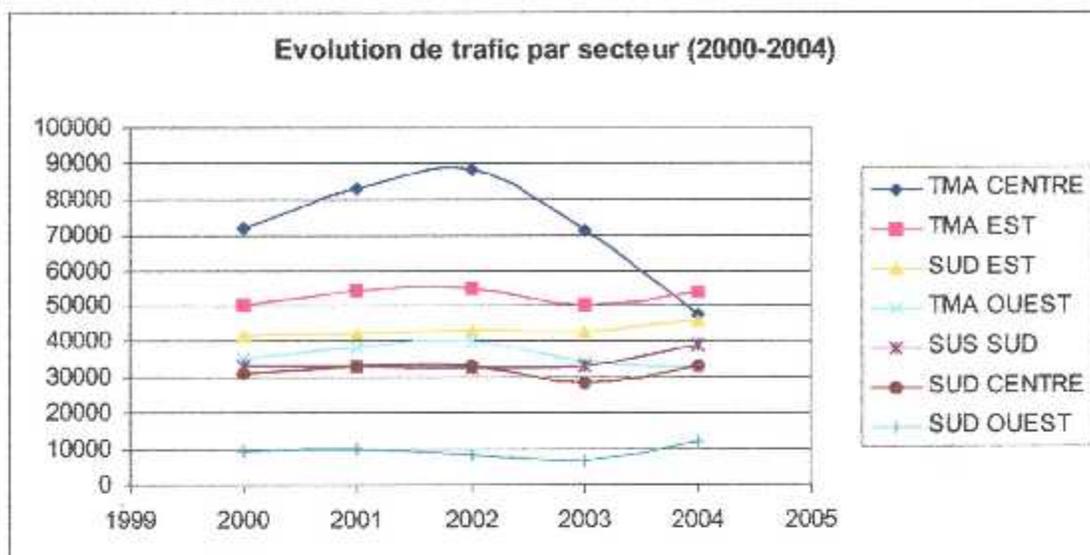


III.2.2 Evolution de Trafic par secteur (1999-2004):

Sur les cinq dernières années et malgré une chute importante en 2003 c'est le secteur TMA Centre qui a connu une hausse importante, due au trafic géré par l'aéroport d'Alger. Malgré que pour l'année 2004 que le secteur TMA EST a dépassé le secteur TMA Centre de 6321 vol.

	2000	2001	var 01/00	2002	var 02/01	2003	var 03/02	2004	var 04/03
TMA CENTRE	71811	83260	15,9%	88528	6,3%	71619	-19,1%	47434	-33,8%
TMA EST	50041	54504	8,9%	55288	1,4%	50480	-8,7%	53755	6,5%
SUD EST	42053	42093	0,1%	43607	3,6%	42886	-1,7%	45888	7,0%
TMA OUEST	35536	38883	9,4%	40046	3,0%	34598	-13,6%	32873	-5,0%
SUS SUD	33182	33210	0,1%	32778	-1,3%	33133	1,1%	38906	17,4%
SUD CENTRE	31147	33453	7,4%	33544	0,3%	28763	-14,3%	33479	16,4%
SUD OUEST	9668	10272	6,2%	8236	-19,8%	6948	-15,6%	12324	77,4%

Tableau III.4 : Evolution de Trafic par secteur (2000-2004)



III.2.3 Prévision du trafic route :

Notre choix de taux de croissance pour la prévision de trafic route des prochaines cinq années est basé sur :

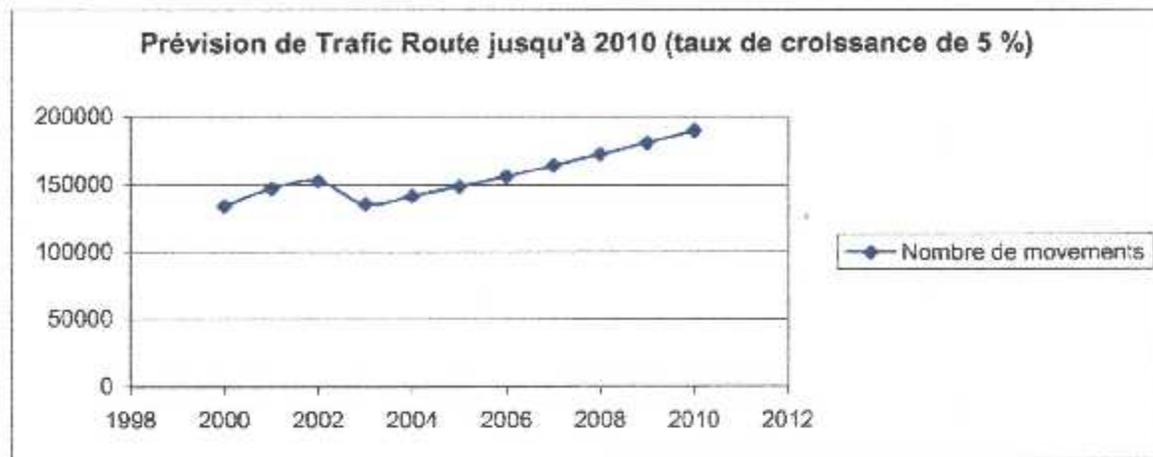
La prévision de l'OACI dans la région AFI pour la période 2001/2018 (4,6 %).

La prévision des grandes compagnies aérienne (voir annexe)

Pour cela on a choisis un taux de 5 % pour les prochaines cinq années, cette valeur est obtenue avec les méthode de contrôle classiques, l'utilisation des nouveaux système CNS/ATM en Algérie, le développement de l'économie du pays ainsi l'ouverture du marché africain aux investisseurs européens.

Année	condition	Nombre de Mouvements
2004	actuel	141765
2005	taux 5 %	148853
2006	taux 5 %	156296
2007	taux 5 %	164111
2008	taux 5 %	172316
2009	taux 5 %	180932
2010	taux 5 %	189979

Tableau III.5 : prévision de Trafic jusqu' au 2010



III.3 Problèmes observés sur la situation actuelle :

L'examen de la situation actuelle de l'espace aérien algérien montre plusieurs problèmes, ces problèmes doivent être pris en compte dans la nouvelle sectorisation.

Ces problèmes sont les suivants :

1. Trafic par secteur :

L'analyse de données du trafic par secteur a montré une grande différence de nombre de vol entre les secteurs, on trouve le secteur de TMA Centre qui est le plus chargé suivi par le secteur TMA Est, et les autres secteurs sont moins chargés. Cette différence entraîne un déséquilibre de la charge de travail des contrôleurs.

2. Les limites géographiques des secteurs hauts (supérieur) et basse altitude (inférieur) :

Les avions haute et basse altitude sont actuellement pris en charge dans le même espace aérien latéral alors que les flux de trafic sont tout à fait différents. Cette configuration a conduit des secteurs haute altitude plutôt petits qu'optimaux et des secteurs basse altitude plutôt grandes qu'optimaux..

Les secteurs haute altitude peuvent généralement accommoder plus de trafic en raison de la complexité réduite dans la mesure où il y a moins de coordination et où les avions ont des caractéristiques de performances plus similaires qu'aux altitudes plus basses.

Le choix de niveaux de vol qui sépare les deux secteurs (supérieurs et inférieurs)

se fait suivant une analyse de données de trafic pour permettre une transition adéquate dans l'espace aérien sans coordination excessive dans la zone de trafic de haute densité, les secteurs supérieurs doivent être conçus pour faciliter les flux de trafic à ce niveau de vol et au-dessus. Par contre les secteurs inférieurs doivent être conçus pour faciliter les départs et les arrivées au niveau des aéroports et le trafic en route de basse altitude.

3. Violence de certaines contraintes de sectorisation :**3.1 Distance de passage minimum :**

Plusieurs route aérienne traversant de petites sections d'un secteur, a titre exemple le UA29 traverse le secteur sud centre sur environ 15 milles.

3.2 Distance minimum entre point de conflit et frontière des secteurs :

Plusieurs frontières de secteurs sont actuellement en proximité étroite des points vers lesquels des volumes de trafic élevés convergent et aussi plusieurs aéroports sont situés sur ou près d'une frontière de par conséquent différent secteurs peuvent être contrôler des avions simultanément arrivant ou partant de l'aéroport.

4. Nombre de route ATS :

En raison du nombre des opérations pour les champs de gaz et de pétrole et du nombre de plus en plus important d'avions qui y interviennent, une opération plus sophistiquée pour les services de trafic aérien (ATS) est nécessaire..

En raison de l'ampleur de l'espace aérien couvert par le flux de trafic du Hassi Messaoude et de Ghardaïa il est nécessaire que plusieurs secteurs soient établis pour contrôler ces opérations, et durant les périodes de faible trafic, ces secteurs peuvent être regroupés.

Chapitre IV

Logiciel et

nouvelle

sectorisation

IV.1 : Introduction :

Dans le chapitre précédent (situation actuelle et analyse de trafic) on a montré que la capacité de l'espace aérien algérien atteindra rapidement sa limite. L'ENNA met en œuvre tous les moyens nécessaires pour augmenter la capacité de cette espace (projet TRAFCA pour la couverture radar, mise en place de la RVSM, ADS, CCR SUD,...).

La saturation de l'espace aérien Algérien et l'utilisation des nouveaux moyens imposent une restructuration de cet espace pour rééquilibrer les charges de contrôles entre les secteurs.

Dans ce chapitre nous présentons une application d'aide à la restructuration et la nouvelle sectorisation de l'espace aérien.

IV.2 : Représentation de l'application :

Avant de représenter notre application il est nécessaire d'introduire les principaux logiciels utilisés pour le développement de cet outil à savoir : *Microsoft Access2000* et *ArcView3.2*.¹

Le Microsoft Access pour le traitement de données et l' ArcView pour l'interface graphique qui permet de visualiser des résultats de MS Access et de les corriger pour la prise en compte des contraintes de sectorisation.

IV.2.1 : Microsoft Access :

Une base de données est une collection d'informations relatives à un sujet ou un objectif particulier, Avec Microsoft Access, l'utilisateur peut gérer toutes ses informations à partir d'un seul fichier de base de données. Au sein de ce fichier, l'utilisateur peut utiliser :

1. Des tables pour stocker les données.
2. Des requêtes pour rechercher et extraire les données dont l'utilisateur a besoin uniquement.
3. Des formulaires pour afficher, ajouter et mettre à jour des données dans des tables.
4. Des états pour analyser ou imprimer des données dans une configuration spécifique.
5. Des pages d'accès aux données pour afficher, mettre à jour ou analyser les données de la base de données à partir d'Internet ou d'un intranet.

¹ On a utilisé aussi le Microsoft Excel pour crée certaine tables nécessaires pour la base de données.

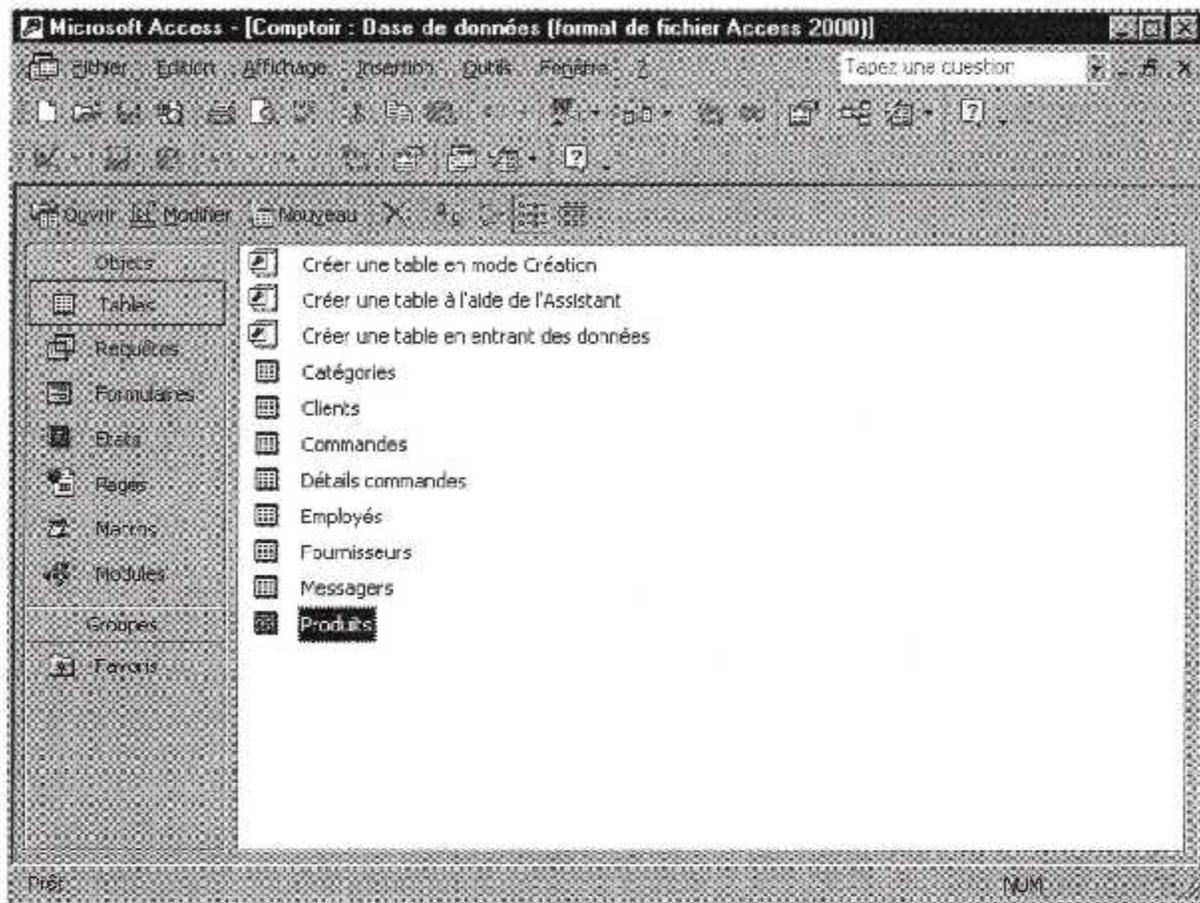


Fig.VI.1 : une base de donnée ouverte avec Microsoft Access

IV.2.2 : ArcView :

ArcView est un logiciel développé par Environmental Systems Research Institute (ESRI), les créateurs d'ARC/INFO, devenu le système d'information géographique (SIG) de référence.

C'est un outil puissant et facile à utiliser qui permet de visualiser, explorer, interroger et analyser des données spatiales.

ArcView peut être utilisé par toute personne travaillant sur des données spatiales. Un des points forts d'ArcView est la facilité avec laquelle le logiciel permet de charger des données tabulaires, telles que les fichiers dBASE et les données provenant de serveurs de base de données ; il permet aussi d'afficher, interroger, récapituler et organiser ces données géographiquement.

IV.2.1.1 : Les Projets sous ArcView :

Tous les composants de la session ArcView : vues, tables, diagrammes, mises en page et scripts sont commodément stockés dans un fichier appelé projet. La fenêtre du projet d'ArcView montre le contenu de projet et facilite la gestion de tout le travail (Voir figure VI.2).

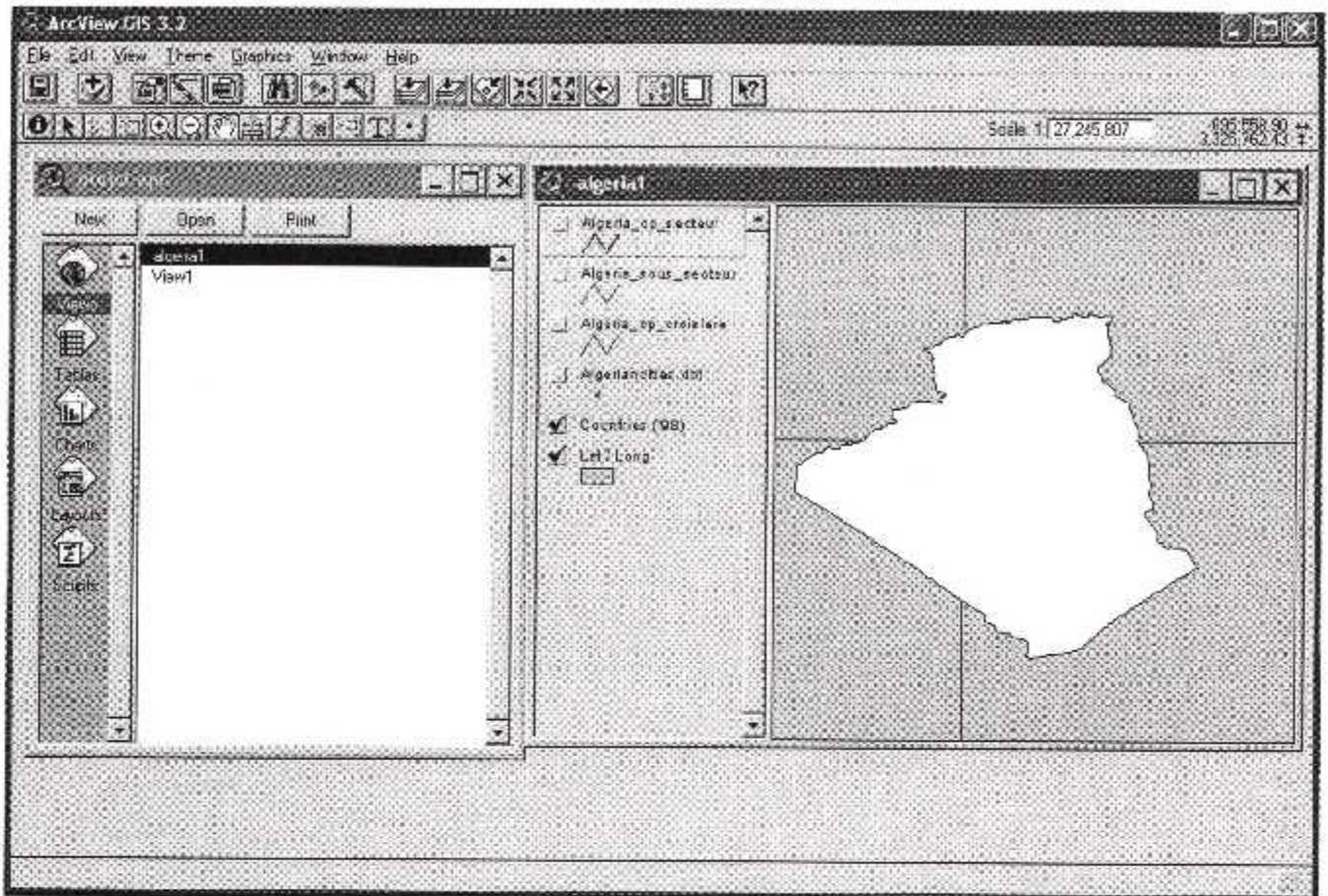


fig.VI.2 : un projet ouvert sous ArcView

1-Views : Vues

Avec ArcView, le travail se fait avec des données géographiques dans des cartes interactives appelées vues. Chaque vue possède une 'Table des matières' géographique propre à ArcView, pour que l'utilisateur comprenne et contrôle plus facilement ce qui s'affiche.

2-Tables : Tables

Les tables d'ArcView proposent également tout un éventail de fonctions permettant d'obtenir des récapitulatifs statistiques, d'effectuer des tris et de soumettre des requêtes.

3- Charts : Diagrammes

Les diagrammes d'ArcView constituent une option puissante de visualisation de graphiques et de données, totalement intégrée dans l'environnement géographique d'ArcView. L'utilisateur peut simplement cliquer sur des entités d'une vue pour les ajouter au diagramme. ArcView permet de travailler simultanément avec des diagrammes, des représentations géographiques et des représentations tabulaires de données.

4-Layouts : Mises en page

Les mises en page d'ArcView permettent de créer des cartes tout en couleur de haute qualité en organisant les divers éléments graphiques sur l'écran. Les mises en page sont intelligentes car elles disposent d'une liaison active aux

données qu'elles représentent. Lorsque on imprime une mise en page, toute modification apportée aux données est automatiquement incluse. L'utilisateur est donc sûr que tout ce qui figure sur ça carte est à jour.

VI.2.1 .1.5. Scripts :

Les scripts d'ArcView sont des macros écrites dans Avenue, le langage de programmation orienté objet de l'environnement de développement d'Arcview. Avec Avenue, on peut personnaliser presque tout aspect d'ArcView, depuis l'ajout d'un nouveau bouton pour exécuter un script jusqu'à la création d'une application entièrement personnalisée. Il constitue un outil pratique pour la création des interfaces hommes machines ergonomiques et très conviviales.

VI.2.2. Les tables de la base de données :

Les principales tables de notre base de données sont :

- **Trafic** : c'est une table générée à partir des informations des plans de vol enregistrés durant l'année 2002.
- **Segment** : c'est une table générée à partir d'une requête union permet de diviser le trafic annuel de chaque vol en segment (point de départ et point d'arrivées) avec le temps et le niveau de vol de départ et de l'arrivés.
- **Wypt** : c'est une table générée à partir d'une requête union permet de diviser le trafic annuel de chaque vol en points avec le temps et le niveau de vol.
- **Date** : représente les dates (j/m/a) avec le numéro de la semaine et le jour de semaine.
- **Look_sym** : représente les points significatifs (points de navigation, plates formes pétrolières...) avec leurs localisation en latitude et longitude.
- **Volume_unitaire** : représente les cellule à regrouper avec leurs limites.

VI.2.3. Description des interfaces :

VI.2.3.1. Partie MS Access :

L'application comprend les menus suivants :

Le menu générale est appelé outil de sectorisation et comporte les éléments suivants :

- 2 logos.
- 4 boutons :
 - Quitter MS Access.
 - Afficher la fenêtre base de données.
 - Analyse de trafic : pour ouvrir le menu Analyse de trafic.
 - Sectorisation : pour ouvrir le menu Sectorisation.

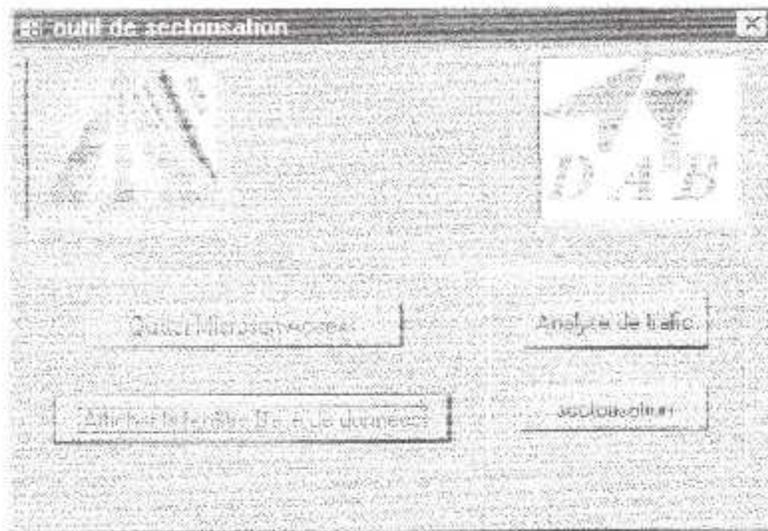


Fig.VI.3 : le menu générale.

Le menu Analyse de trafic permet de visualiser :

- la table de trafic.
- la table de segment.
- l'évaluation de trafic horaire et journalière.
- La charge de trafic horaire, journalière, hebdomadaire, mensuelle et jour de semaine.
- La charge par segment.
- Le trafic de jour type.



Fig.VI.4 : Menu Analyse de trafic.

Le menu de sectorisation fait appeler deux menus : sectorisation de l'espace aérien supérieur, sectorisation de l'espace inférieur.

Chaque menu comprend trois boutons permettant de :

- Visualiser le trafic de jour type associer.
- Affecter pour chaque vol le volume unitaire correspondant.
- Visualiser la charge par volume unitaire.

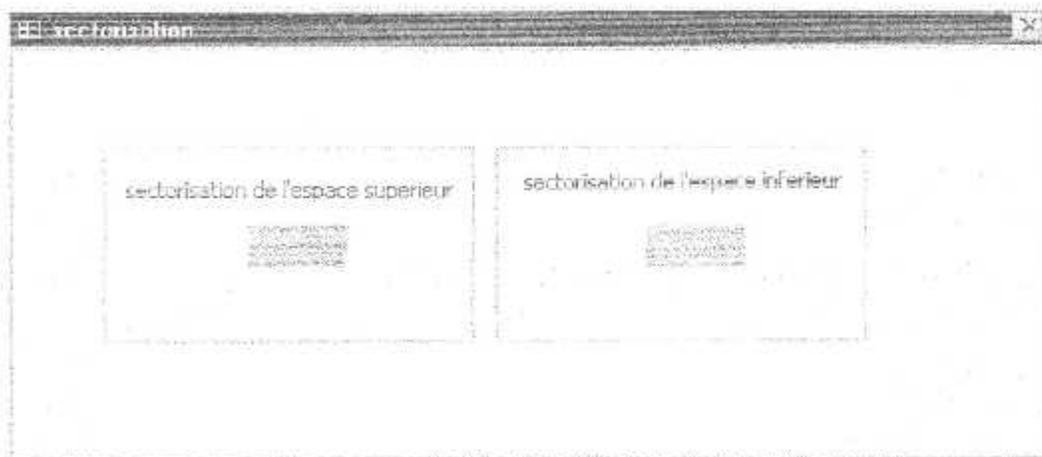


Fig.VI.5 : Menu sectorisation.



Fig.VI.6 : Menu secteur superieur.

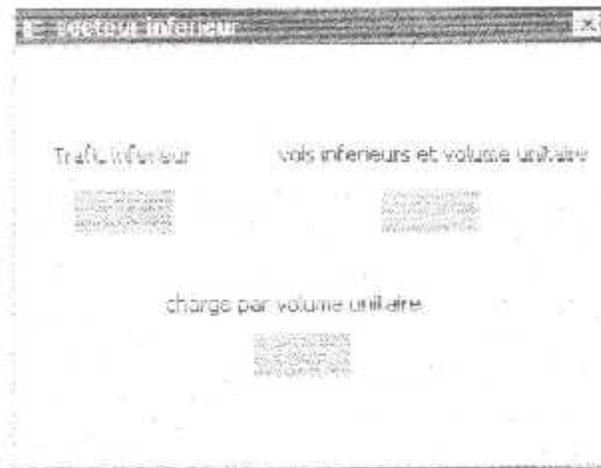


Fig.VI.7: Menu secteur inferieur.

Et enfin pour chaque sectorisation supérieure ou inférieure un menu de regroupement des volumes unitaires permet de visualiser le trafic de chaque regroupement et la charge associée.



Fig.VI.8: Menu regroupement des volumes superieur.

VI.2.3.2. Partie ArcView :

Le menu `algeria1` comprend les principaux thèmes qui permettent le suivi les étapes de sectorisation, ses thèmes sont les suivants :

`Algeria_FIR` : permet de visualiser la FIR d'Alger.

`Algeria_volume_unitaire` : permet de visualiser les volumes unitaires.

`Algeria_volume_unitaire_valide` : permet de visualiser les volumes unitaires valides.

`Algeria_Route_internationales.shp` : permet de visualiser les routes internationales.

`Algeria_Route_nationales.shp` : permet de visualiser les routes nationales.

`Algeria_sectsup` : permet de visualiser les secteurs supérieurs qui sont le résultat de regroupement des volumes unitaires supérieurs.

`Algeria_sectsupfin` : permet de visualiser les secteurs supérieurs finals après la correction des frontières de regroupement des volumes unitaires supérieurs pour la prise en compte des contraintes de sectorisation.

`Algeria_sectinf` : permet de visualiser les secteurs inférieurs qui sont le résultat de regroupement des volumes unitaires inférieurs.

`Algeria_sectinffin` : permet de visualiser les secteurs inférieurs finals après la correction des frontières de regroupement des volumes unitaires inférieurs pour la prise en compte des contraintes de sectorisation.

Les figures suivantes montre les résultats de clic de certains thèmes :

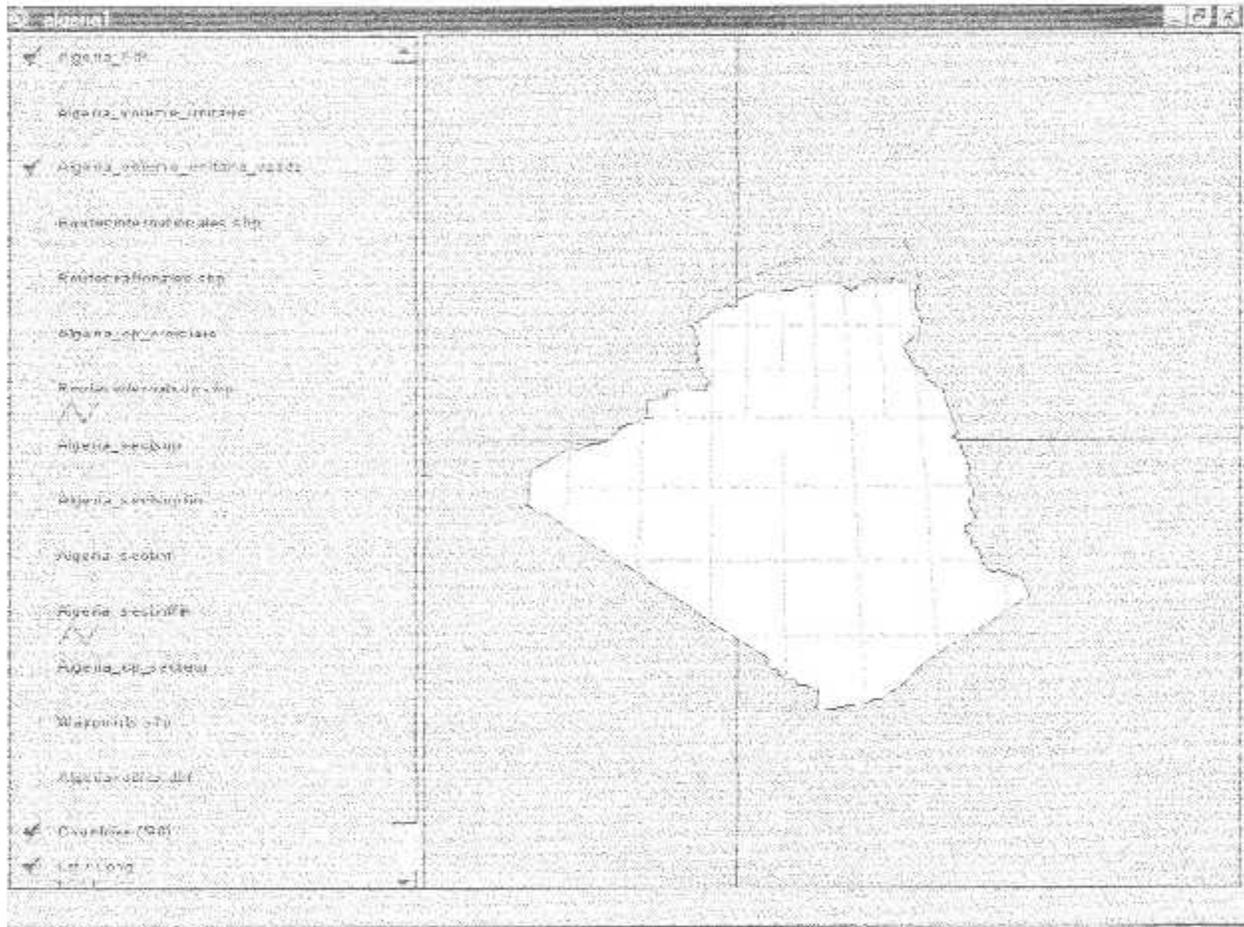
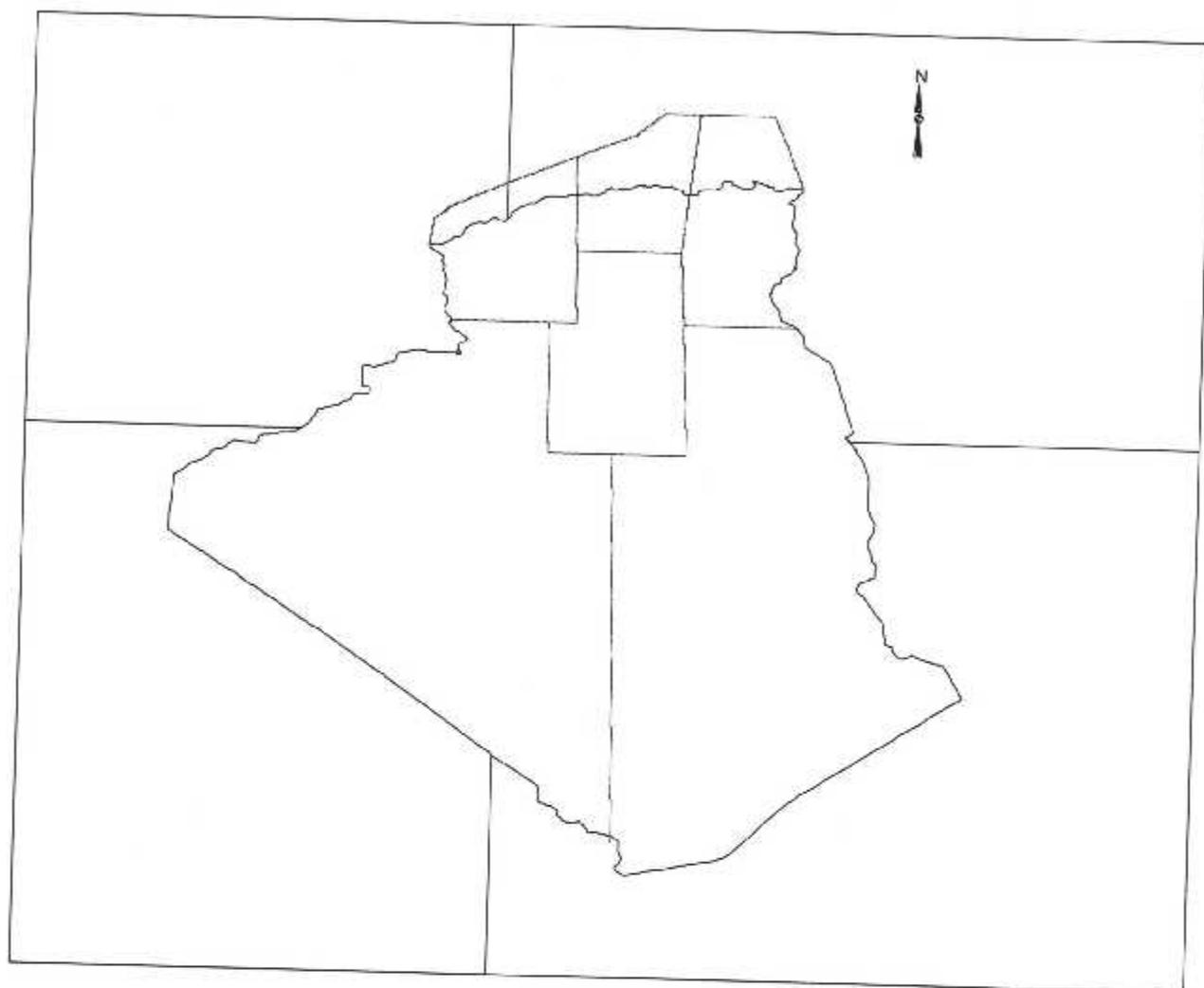
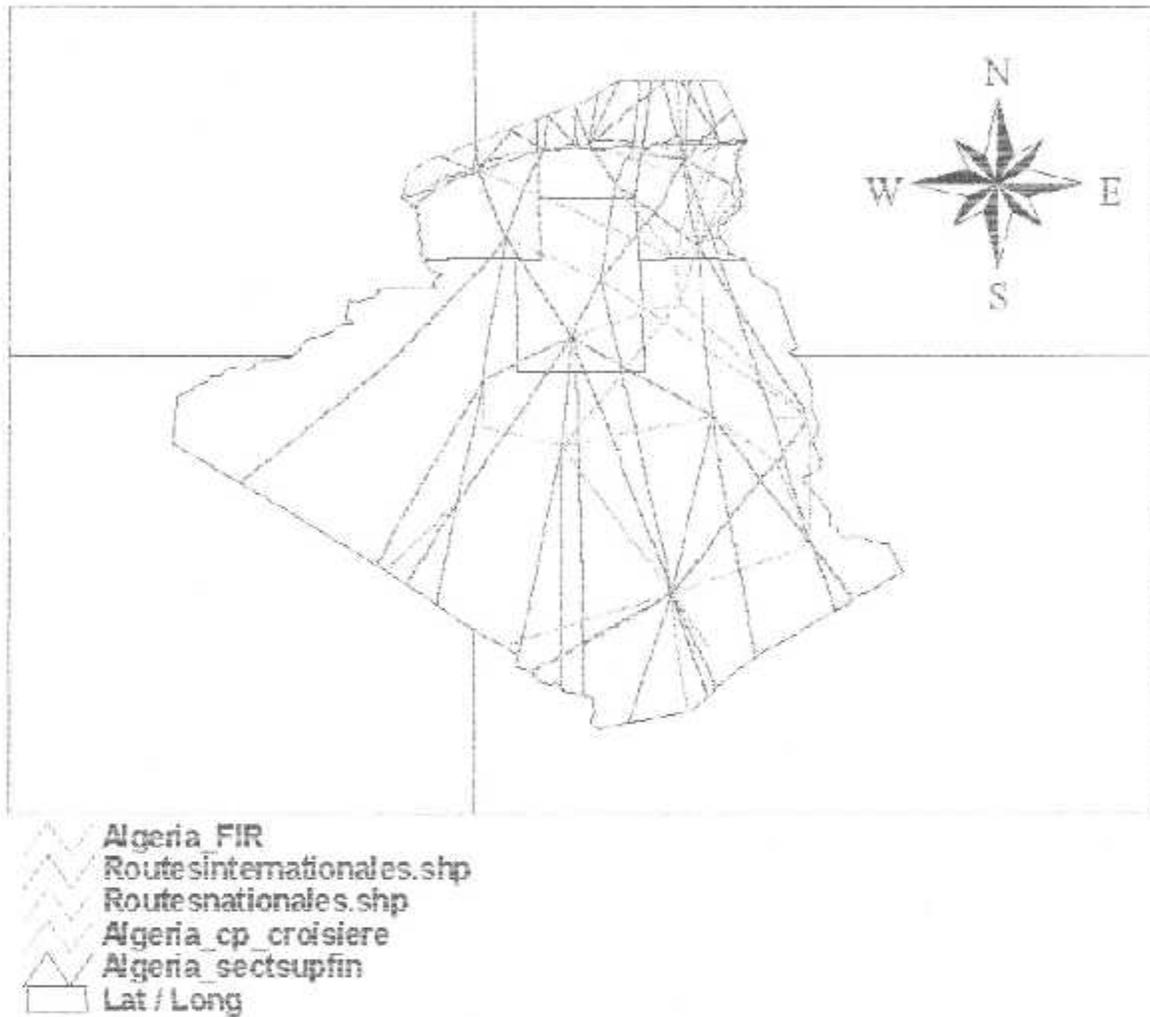


Fig.VI.10 : le thème Algeria_volume_unitaire_valide.

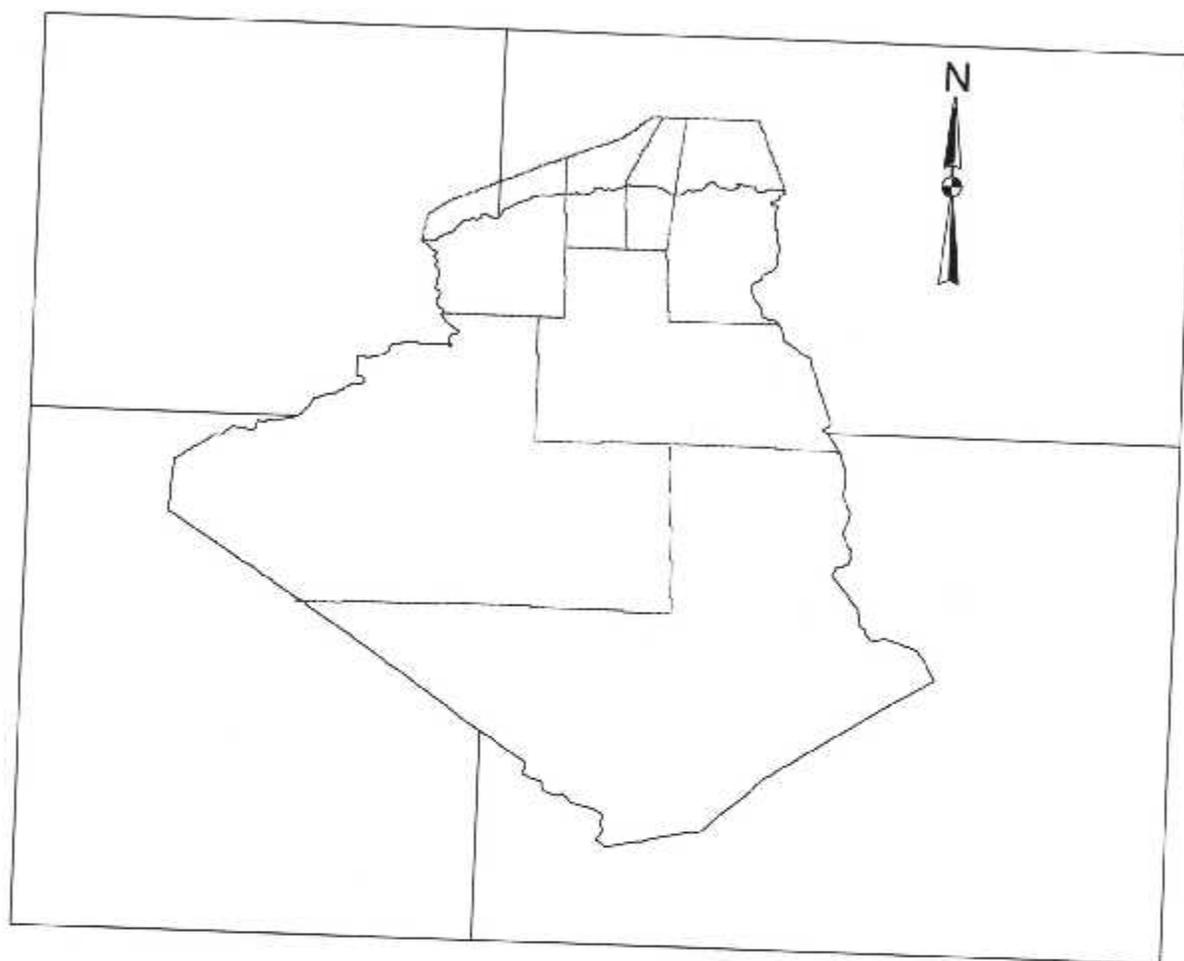


Carte VI.1 : Les secteurs supérieurs proposés.

les secteurs supérieurs proposés

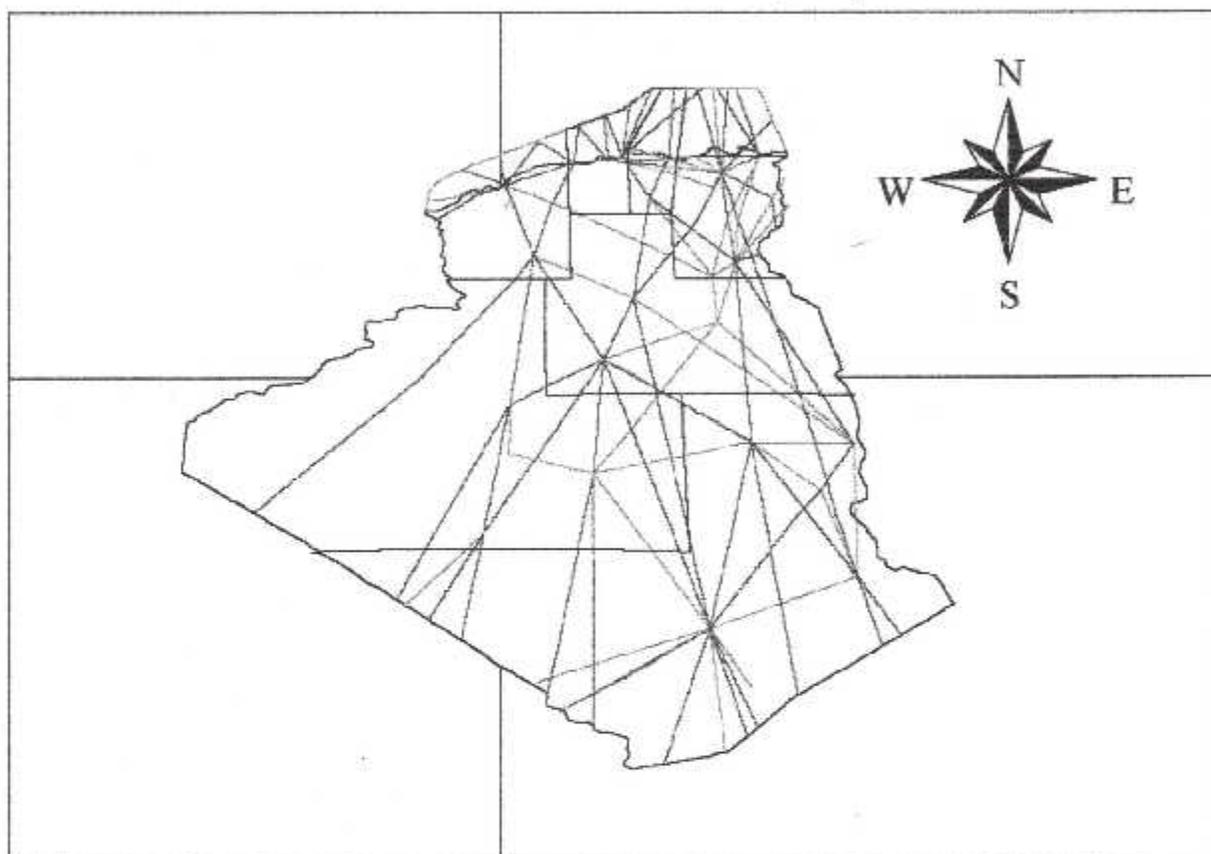


Carte VI.2 : Les secteurs supérieurs proposés et les routes aériens.



Carte VI.3 : Les secteurs inférieurs proposés.

les secteurs inférieurs proposés



-  Algeria_sectinffin
-  Algeria_FIR
-  Routesinternationales.shp
-  Routesnationales.shp
-  Algeria_cp_croisiere
-  Lat / Long

CarteVI.4 : Les secteurs supérieurs proposés et les routes aériens.

VI.4. Conclusion :

Dans ce chapitre on a représenté brièvement l'outil de sectorisation et la nouvelle sectorisation proposée.

Pour l'outil il reste à améliorer certaines étapes pour l'automatisation totale et pour la nouvelle sectorisation proposée on suggère d'appliquer le principe de regroupement des secteurs pour répondre à la variation de flux de trafic à certaines périodes moins denses, la sectorisation proposée permet le regroupement horizontal ou vertical (entre les secteurs supérieurs, entre les secteurs inférieurs et entre les deux).

Une simulation en temps réel pourrait être envisagée pour valider la sectorisation et regroupement (gestion dynamique des secteurs).

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre du projet de fin d'études du cycle Ingénieur, Option Installations, de l'Institut d'aéronautique de Blida, nous avons dans notre mémoire intitulé « Elaboration d'un outil d'aide a la sectorisation de l'espace aérien Algérien ».

Nous nous sommes intéressé à ce problème, vu l'importance de système du contrôle de trafic aérien.

Nous avons aussi vu, comment on a pu apporter une solution aux problèmes des contraintes de trafic aérien grâce à l'effet de l'interface graphique (Partie Arc View).

L'interface graphique que nous avons réalisée peut être un moyen didactique pour expliquer toutes les étapes de sectorisation, car elle permet de restructurer de l'espace aérien en modifiant tous simplement la table de trafic.

Ce projet nous a permis aussi d'améliorer notre connaissance dans le domaine de la programmation. Informatique.

Nous espérons que ce travail sera utile pour toutes les personnes désireuses d'approfondir leurs connaissances sur le systèmes de contrôle et sectorisation de l'espace aérien.

Bibliographie

- [1] Delahaye D. *Optimisation de la sectorisation de l'espace aérien par algorithmes génétiques*. Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, 1995.
- [2] Goldberg D.E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley, 1989.
- [3] Okabe A. and al. *Spatial Tessellations : Concepts and Applications of Voronoi Diagrams*. New York : Wiley, 1992.
- [4] Manuel S., José M.L., Victor M. B., and José M.R. Genes : a genetic algorithms and fast time simulation. In *3rd ATM R&D Symposium, Spain, 2002*.
- [5] TranDac H., Sectorisation contrainte de l'espace aérien . Thèse de doctorat, Université de Technologie Compiègne.
- [6] Kernighan B.W. and Lin S. An efficient heuristic procedure for partitioning graphs. *BELL System Technical Journal*, pages 291–307, February 1970.
- [7] Chamberlain B. Graph partitioning algorithms for distributing workloads of parallel computations. Technical Report UW-CSE-98-10-03, University of Washington, 1998.
- [8] Fjallstrom P.O. Algorithms for graph partitioning : A survey. *Linkoping Electronic Articles in Computer and Information Science*, 3(10), 1998.
- [9] Mohamed Lamine Rekkaa. Etude de sectorisation de l'espace aérien. Mastère exploitation aéronautique et gestion du trafic aérien, Ecole Nationale de l'Aviation Civile.
- [10] DOC 4444 : Gestion du trafic aérien. Quatorzième édition 2001
- [11] DOC 9426 : Manuel de planification des services de la circulation aérienne. Première édition.
- [12] Annexe 11 : services de circulation aérienne, treizième édition juillet 2001.
- [13] AIP Algérie
- [14] Etude de l'espace aérien Algérien. JTA et NothropGruman .Juin 2003
- [15] Microsoft ACCSS 2000. Roger Jennings.CAMPUSPRESS.

Sites Internet :

www.icao.int
www.scta.aviation-civil.gouv.fr
www.eurocontrole.be
www.enna.dz
www.sia-cnna.dz

ANNEXE 1

Airspace Classification

ATS airspaces are classified and designated in accordance with the following:

Class A. IFR flights only are permitted, all flights are subject to air traffic control service and are separated from each other.

Class B. IFR and VFR flights are permitted, all flights are subject to air traffic control service and are separated from each other.

Class C. IFR and VFR flights are permitted, all flights are subject to air traffic control service and IFR flights are separated from other IFR flights and from VFR flights. VFR flights are separated from IFR flights and receive traffic information in respect of other VFR flights.

Class D. IFR and VFR flights are permitted and all flights are subject to air traffic control service, IFR flights are separated from other IFR flights and receive traffic information in respect of VFR flights, VFR flights receive traffic information in respect of all other flights.

Class E. IFR and VFR flights are permitted, IFR flights are subject to air traffic control service and are separated from other IFR flights. All flights receive traffic information as far as is practical.

Class F. IFR and VFR flights are permitted, all participating IFR flights receive an air traffic advisory service and all flights receive flight information service if requested.

Class G. IFR and VFR flights are permitted and receive flight information service if requested.

The requirements for the flights within each class of airspace are as shown in the following table.



ANNEXE 2

Secteurs Algériens Existants

Secteur Alger Centre Lignes joignant les points suivants:

1. 3729N 00130E
2. 3820N 00345E
3. 3900N 00440E
4. 3900N 00500E
5. 3540N 00500E
6. 3540N 00130E

1. 3729N 00130E

Secteur Oran Lignes joignant les points suivants:

1. 3729N 00130E
7. 3615N 00130W
8. 3550N 00206W, puis en ligne droite vers l'intersection de la côte méditerranéenne avec la frontière entre l'Algérie et le Maroc afin de suivre cette frontière jusqu'à
9. 3300N 00129W
10. 3300N 00130E pour retourner à 1. 3729N 00130E.

Secteur Nord/Est Lignes joignant les points suivants:

11. 3900N 00800E
12. 3656N 00839E, puis suivez la frontière entre l'Algérie et la Tunisie jusqu'à
13. 3448N 00817E
14. 3448N 00500E
4. 3900N 00500E
11. 3900N 00800E.

Secteur Sud/Ouest Lignes joignant les points suivants:

10. 3300N 00130E
15. 2912N 00130E
16. 291306N 0001436E
17. 2915N 00306W
18. 2916N 00530W
19. 2953N 00530W, puis suivez la frontière avec le Maroc jusqu'à
9. 3300N 00129W pour retourner à 10. 3300N 00130E

Secteur Sud/Centre Lignes joignant les points suivants:

6. 3540N 00130E
10. 3300N 00130E
20. 2830N 00130E
21. 2830N 00500E
14. 3448N 00500E
5. 3540N 00500E pour retourner à 6. 3540N 00130E

Secteur Sud/Est Lignes joignant les points suivants:

14. 3448N 00500E
21. 2830N 00500E
22. 2600N 00500E
23. 2600N 00932E, puis suivez la frontière avec le Maroc jusqu'à
13. 3448N 00817E pour retourner à 14. 3448N 00500E

Secteur Sud/Sud Lignes joignant les points suivants:

22. 2600N 00500E
21. 2830N 00500E
20. 2830N 00130E
15. 2912N 00130E
16. 291306N 0001436E
17. 2915N 00306W
18. 2916N 00530W
19. 2953N 00530W, puis suivez la frontière avec le Maroc jusqu'à
24. 2840N 00840W
25. 2720N 00840W, puis suivez les frontières avec la Mauritanie, le Mali, le Niger et la Libye jusqu'à
26. 233054N 0115954E, puis suivez la frontière avec la Libye jusqu'à
23. 2600N 00932E back to 22. 2600N 00500E

ANNEXE 3

Plate Formes Pétrolières

①

Platform Name/Nom du Plate Forme	Latitude	Longitude
402D ✓	30.98	9.20
AB BISSA ✓	31.33	5.23
ABK1 ✓	31.16	9.09
AIN1 ✓	29.90	7.80
ALB ✓	30.97	8.81
ALRAR ✓	28.64	9.85
AMZ ✓	29.35	1.46
AZRAFIL ✓	20.83	0.58
BJ1 ✓	29.25	1.17
BLR2 ✓	28.91	0.01
BORMA ✓	31.58	9.13
BOU2 ✓	28.46	6.24
BRN ✓	31.29	8.54
BRS3 ✓	32.48	6.82
BRS4 ✓	32.46	6.71
BRSE-2 ✓	31.12	8.58
BSF ✓	31.17	8.61
BTA ✓	27.89	1.82
CG1 ✓	30.92	8.18
DAD ✓	31.67	6.99
DBD ✓	30.18	9.38
DDN1 ✓	34.97	7.93
DIMW ✓	28.98	9.05
DIMW1 ✓	28.88	9.18
DJBA1 ✓	26.42	2.84
DKR1 ✓	32.48	6.20
DKRS ✓	32.44	6.16
DTS1 ✓	26.40	2.33
EAF ✓	30.13	7.01

AIRWAY ROUTE/Voie Aérienne	AIRWAY DIRECTION/ Direction	WAYPOINT/ Point Significatif	LATITUDE	LONGITUDE	NAVAID/Aide au Radionavigation
		TGU	33.06	6.09	VOR
J40	E/W	ADR	27.81	-0.22	VOR
		TIO	29.22	0.24	VOR-DME
J41	E/W	ADR	27.81	-0.22	VOR
		NSL	27.23	2.49	VOR-DME
		OUCIF	27.71	5.00	
		BOD	28.13	6.84	VOR-DME
		NAGAH	28.10	8.62	
		IMN	28.07	9.67	VOR-DME
J5	E/W	JIL	16.78	5.88	VOR
		CSO	36.29	6.61	VOR-DME
J53	E/W	DJA	24.29	9.45	VOR-DME
		RTLA	26.00	9.57	
		IMN	28.07	9.67	VOR-DME
J60	E/W	MOK	21.38	0.95	VOR
		TMS	22.84	5.46	VOR-DME
		MFLOG	23.53	7.37	
		DJA	24.29	9.45	VOR-DME
J61	E/W	BOD	28.13	6.84	VOR-DME
		ILZ	26.72	8.65	VOR
		DJA	24.29	9.45	VOR-DME
J62	E/W	NSL	27.23	2.49	VOR-DME
		TMS	22.84	5.46	VOR-DME
		IGZ	19.56	5.73	VOR
J7	W	CSO	36.29	6.61	VOR-DME
		BJA	36.71	5.02	NDB
		LIMON	37.09	5.88	
J8	E/W	NSL	27.23	2.49	VOR-DME
		SIHAR	28.50	3.58	
		RIKIF	30.30	5.00	
		HME	31.66	6.14	VOR-DME
J9	E	BNA	36.65	3.59	NDB
		TAGRO	36.30	5.00	
		BIN	35.80	6.39	VOR

ANNEXE 4

Les points tournants du Trafic Inférieur – 11, Dec. 2002

Point	Latitude	Longitude	Point	Latitude	Longitude	High/Haut	Low/Bas	Ascending/ Montant	Descending/ Descendant
AGREB	31.93	-0.55	DAOR	31.65	-2.28	0	0	2	0
AGREB	31.93	-0.55	ORA	35.61	-0.65	0	0	0	2
ALR	36.69	3.22	BABOR	36.47	5.00	19	2	8	0
ALR	36.69	3.22	BJA	36.71	5.02	11	15	5	19
ALR	36.69	3.22	BNA	36.65	3.59	0	0	14	0
ALR	36.69	3.22	BSA	35.52	4.40	3	11	11	11
ALR	36.69	3.22	BUYAH	38.11	3.15	0	2	0	19
ALK	36.69	3.22	CHE	36.60	2.19	13	1	1	0
ALR	36.69	3.22	DAAD	35.33	4.21	1	2	0	0
ALR	36.69	3.22	DAHRA	36.38	1.50	17	2	11	12
ALR	36.69	3.22	DIMAO	36.41	8.37	0	0	1	0
ALR	36.69	3.22	LIMON	37.09	3.88	0	3	0	1
ALR	36.69	3.22	MOGIL	38.13	3.20	0	1	1	0
ALR	36.69	3.22	NADJI	34.80	6.65	0	0	0	1
ALR	36.69	3.22	OTARO	39.00	4.68	0	0	5	5
ALR	36.69	3.22	PECES	38.48	3.95	0	0	15	0
ALR	36.69	3.22	SADAI	37.80	2.33	3	0	3	1
ALR	36.69	3.22	TAGRO	36.30	5.00	0	3	2	0
ALR	36.69	3.22	TRB	35.35	1.52	0	3	1	1
AMIRA	34.80	6.97	ANB	36.82	7.80	0	2	0	0
AMIRA	34.80	6.97	ELO	33.51	6.78	0	2	0	0
ANB	36.82	7.80	BJA	36.71	5.02	18	2	6	6
ANB	36.82	7.80	DIMAO	36.41	8.37	0	1	1	1
ANB	36.82	7.80	MORJA	36.83	8.65	18	1	0	2
ANB	36.82	7.80	SALMA	39.00	6.72	0	0	1	1
ANB	36.82	7.80	TBS	35.46	8.07	0	0	0	1
BABOR	36.47	5.00	BNA	36.65	3.59	8	0	0	1
BABOR	36.47	5.00	CSO	36.29	6.61	15	2	1	7
BAY	33.71	0.95	GOLIB	33.00	0.83	0	1	0	0
BAY	33.71	0.95	ORA	35.61	-0.65	0	0	0	1
BAY	33.71	0.95	TRB	35.35	1.52	8	1	0	0
BESBA	33.00	0.42	DAOR	31.65	-2.28	0	0	1	3
BESBA	33.00	0.42	ORA	35.61	-0.65	0	0	3	1
BIS	34.78	5.76	TGU	33.06	6.09	4	0	0	2
BISSA	31.52	5.00	DAAP	26.72	8.62	0	1	0	0
BISSA	31.52	5.00	DAUH	31.67	6.14	0	0	2	1
BISSA	31.52	5.00	GHA	32.39	3.78	0	1	0	0
BJA	36.71	5.02	CSO	36.29	6.61	2	3	8	0
BJA	36.71	5.02	DAAS	36.18	5.32	0	1	0	0
BJA	36.71	5.02	DABT	35.76	6.32	0	2	2	0
BJA	36.71	5.02	JIL	36.78	-5.88	2	6	0	0
BJA	36.71	5.02	LIMON	37.09	3.88	1	0	0	3
BJA	36.71	5.02	TBS	35.46	8.07	0	1	0	0
BOD	28.13	6.84	DAUH	31.67	6.14	0	0	1	0
BRN	31.29	8.54	DAUH	31.67	6.14	0	4	0	0
BSA	35.52	4.40	DAFH	32.93	3.31	0	0	1	1
BSA	35.52	4.40	GHA	32.39	3.78	21	2	1	1
BSA	35.52	4.40	HODNA	35.17	5.03	0	3	0	0

Point	Latitude	Longitude	Point	Latitude	Longitude	High/Haut	Low/Bas	Ascending/ Montant	Descending/ Descendant
LABRO	37.27	1.12	ORA	35.61	-0.65	0	0	2	0
MAHDI	34.62	5.00	TGU	33.06	6.09	4	0	0	2
MOS	35.90	0.14	ORA	35.61	-0.65	19	7	0	0
MULNA	30.39	1.50	TIO	29.22	0.24	1	1	0	0
OID	34.77	-1.95	ORA	35.61	-0.65	14	0	0	2
SAKNA	33.45	1.50	ORA	35.61	-0.65	0	0	1	2
TIFOU	28.50	4.48	TMS	22.84	5.46	1	0	0	1

Point	Latitude	Longitude	Point	Latitude	Longitude	High/Haut	Low/Bas	Ascending/ Montant	Descending/ Descendant
BSA	35.52	4.40	MAIDI	34.62	5.00	18	1	0	1
BSA	35.52	4.40	ZIBAN	34.80	5.25	7	4	0	0
BSF	31.17	8.61	DAUH	31.67	6.14	0	2	0	0
CHE	36.60	2.19	DAHRA	36.38	1.50	12	0	0	1
CSO	36.29	6.61	DABI	35.76	6.32	0	1	1	0
CSO	36.29	6.61	KAMER	39.00	6.09	16	0	1	2
CSO	36.29	6.61	NADJI	34.80	6.65	14	0	1	1
CSO	36.29	6.61	TBS	35.46	8.07	19	2	1	1
DAAP	26.72	8.62	RIKIF	30.30	5.00	0	0	1	0
DAAS	36.18	5.32	TAGRO	36.30	5.00	0	1	0	0
DABI	35.76	6.32	DIMAO	36.41	8.37	0	0	0	1
DABI	35.76	6.32	TAGRO	36.30	5.00	0	2	0	2
DAHI	32.93	3.31	DAUA	27.84	-0.19	0	2	0	0
DAFI	32.93	3.31	DAUH	31.67	6.14	0	4	0	0
DAFH	32.93	3.31	GHA	32.39	3.78	0	2	0	0
DAFH	32.93	3.31	TRB	35.35	1.52	0	2	0	0
DAHRA	36.38	1.50	DAON	35.02	-1.45	0	0	2	2
DAHRA	36.38	1.50	MOS	35.90	0.14	21	0	0	1
DAIRA	36.38	1.50	ORA	35.61	-0.65	2	2	11	9
DAOF	27.70	-8.17	HKI	29.18	-5.27	0	0	3	2
DAON	35.02	-1.45	MOS	35.90	0.14	0	0	0	1
DAON	35.02	-1.45	ORA	35.61	-0.65	0	0	1	0
DAOR	31.65	-2.28	HKI	29.18	-5.27	0	0	1	1
DATM	21.38	0.92	DAUA	27.84	-0.19	0	2	0	0
DAUA	27.84	-0.19	TIO	29.22	0.24	0	1	0	0
DAUB	34.79	5.74	DAUH	31.67	6.14	0	2	0	0
DAUB	34.79	5.74	DAUZ	28.05	9.64	0	0	0	1
DAUB	34.79	5.74	HODNA	35.17	5.05	0	3	0	0
DALE	30.57	2.86	KBG	29.14	2.21	0	1	0	0
DAUH	31.67	6.14	DAUZ	28.05	9.64	0	1	0	2
DAUH	31.67	6.14	ELO	33.51	6.78	0	1	0	1
DAUH	31.67	6.14	GHA	32.39	3.78	0	2	0	0
DAUH	31.67	6.14	KBG	29.14	2.21	0	0	0	1
DAUH	31.67	6.14	KRIMA	33.77	7.56	0	1	0	0
DAUH	31.67	6.14	MAHDI	34.62	5.00	0	1	7	6
DAUH	31.67	6.14	MLN	30.35	7.85	0	2	0	0
DAUH	31.67	6.14	NADJI	34.80	6.65	0	0	1	0
DAUH	31.67	6.14	ORDI	30.64	8.13	0	9	0	0
DAUH	31.67	6.14	RKIF	30.60	8.26	0	4	0	0
DAUH	31.67	6.14	TEG	28.49	2.49	0	1	0	0
DAUH	31.67	6.14	TFR	27.94	7.65	0	1	0	0
DAUH	31.67	6.14	TGU	33.06	6.09	0	4	5	2
DAUZ	28.05	9.64	ZIBAN	34.80	5.25	0	0	1	2
ELO	33.51	6.78	NADJI	34.80	6.65	13	0	1	0
FLO	33.51	6.78	ZIBAN	34.80	5.25	4	4	0	0
GHA	32.39	3.78	MOUNA	30.39	1.50	1	1	0	0
GHA	32.39	3.78	RIKIF	30.30	5.00	0	0	0	1
GOLIB	33.00	0.83	ORA	35.61	-0.65	0	0	1	1
GOLIB	33.00	0.83	TIO	29.22	0.24	0	1	1	1
HAMRA	36.87	-0.02	MOS	35.90	0.14	15	0	0	4
HAMRA	36.87	-0.02	ORA	35.61	-0.65	1	0	5	0
HOGAR	26.00	6.28	TMS	22.84	5.46	2	0	1	1
LABRO	37.27	1.12	MOS	35.90	0.14	0	0	0	2

ANNEXE 5

Routes ATS Inférieurs Nationaux

AIRWAY ROUTE/Voie Aérienne	AIRWAY DIRECTION/ Direction	WAYPOINT/ Point Significatif	LATITUDE	LONGITUDE	NAVAID/Aide au Radionavigation
J12	E/W	TGU	33.06	6.09	VOR
		NADJI	34.80	6.65	
		ANB	36.82	7.80	VOR-DME
J13	E/W	HME	31.66	6.14	VOR-DME
		ELO	33.51	6.78	VOR-DME
		AMIRA	34.80	6.97	
J14	E/W	ANB	36.82	7.80	VOR-DME
		BTN	35.80	6.39	VOR
		CSO	36.29	6.61	VOR-DME
J24	E/W	BAY	33.71	0.95	VOR
		SAKNA	33.45	1.50	
		GHA	32.39	3.78	VOR-DME
		BISSA	31.52	5.00	
J25	E/W	IMN	28.07	9.67	VOR-DME
		HME	31.66	6.14	VOR-DME
		IMN	28.07	9.67	VOR-DME
J26	E/W	MNA	30.56	2.86	VOR-DME
		KEBRI	31.30	5.00	
		HME	31.66	6.14	VOR-DME
J27	E/W	TGU	33.06	6.09	VOR
		HME	31.66	6.14	VOR-DME
J28	E/W	TGU	33.06	6.09	VOR
		ELO	33.51	6.78	VOR-DME
J3	E/W	GRS	35.21	0.15	VOR
		FARES	35.50	0.27	
J30	E/W	HME	31.66	6.14	VOR-DME
		ELO	33.51	6.78	VOR-DME
		ZENAD	34.80	7.62	
		IHS	35.46	8.07	VOR-DME
J36	E/W	RSA	35.52	4.40	VOR-DME
		MAHDI	34.62	5.00	
		TGU	33.06	6.09	VOR
J4	E/W	MOS	35.90	0.14	VOR-DME
		TRB	35.35	1.52	VOR
		KAHIL	34.08	4.12	
		BEREK	33.63	5.00	

Platform Name/Nom du Plate Forme	Latitude	Longitude
ECF1 ✓	29.36	1.23
EGB1 ✓	26.17	0.67
EGS1 ✓	31.85	9.13
EKT ✓	30.40	8.10
ELG ✓	31.00	5.75
EME2 ✓	30.20	8.15
FDH1 ✓	28.12	1.22
GBR ✓	28.73	8.88
GMA1 ✓	32.41	5.91
GST ✓	30.51	6.46
GTFT ✓	28.41	7.57
HBBC ✓	31.01	8.21
HBG1 ✓	28.69	6.50
HDK ✓	28.29	-1.81
HEK1 ✓	34.51	7.83
HMR ✓	29.23	6.49
KBG ✓	29.14	2.21
KCHIBA ✓	29.14	2.20
KP410 ✓	32.63	3.08
LTC1 ✓	27.82	0.24
MLN ✓	30.35	7.85
MLSE-1 ✓	30.15	7.95
NAF18 ✓	28.14	0.54
NAR08 ✓	26.42	2.84
NAR18 ✓	28.69	-1.11
OLM ✓	28.67	0.17
ORD1 ✓	30.64	8.13
REB ✓	31.39	6.95
REG3D ✓	28.10	2.10
REG9 ✓	28.48	2.10
RERN-1 ✓	31.43	8.86
RIIN ✓	29.81	6.71
RKF ✓	30.60	8.26

3

Platform Name/Nom du Plate Forme	Latitude	Longitude
SEM-1 ✓	32.34	7.67
SMR-1 ✓	32.29	7.56
SMRE-1 ✓	32.27	7.73
STAI ✓	28.91	9.76
T210 ✓	29.33	9.55
TCNI ✓	26.47	2.20
TEG ✓	28.49	2.49
TEG-0 ✓	28.30	2.52
TFR ✓	27.94	7.65
TML ✓	29.13	8.89