

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Saad Dahleb. Blida
Faculté des Sciences d'Ingénieur
Département d'Aéronautique



Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

Filière: Navigation Aérienne

Spécialité : Operations aériennes
Exploitation aéronautique

Développement D'une Application
Du Contrôle De Trafic Aérien <<ATC>>

Présenté par :

© *Youcefi Abdelmadjid*
© *Tahraoui Khaled*

Encadré par :

Mr.Driouche.M
Mr.Boudali Abdelakder

Année Universitaire : 2008-2009

Résumé :

Ce travail est basé sur le développement d'une application informatique par le langage Matlab (bibliothèque des matrices), sa fonction est la détection des conflits entre les aéronefs et donner les résolutions pour les éviter, ainsi il nous donne quelques informations utiles pour chaque vol.

Resume:

This work is about the development of informatics application by Matlab's language (Matrix library), its objective is the detection of the conflicts between aircrafts and proposes the resolutions in order to avoid it, and also it gives us some useful information about every flight.

:

هذا العمل هو عبارة عن تنمية تطبيق
تحدث ما بين الطائرات و اقتراح الحلول لتفاديها و أيضا يعطينا بعض
المعلومات المفيدة الخاصة بكل طيران.



Remerciements

Premièrement et avant tout nous remercions Dieu de nous avoir donné la foi, la force et la santé pour lire ,écrire et produire. Ensuite un remerciement particulier à nos parents qui n'ont cessé de nous soutenir tout au long de notre cursus.

On tient à remercier, Mr. DRIUCHE. M ,qui a assuré la direction scientifique de ce travail. On remercie son attention, ses précieux conseils, ainsi que la confiance qu'il nous a toujours témoignée, on voudrait qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude et toute notre sympathie.

On exprime notre profonde gratitude à l'ensemble des enseignants surtout Mr.BOUSNINA qui ont contribué à assurer notre formation et qui nous ont aidés de près ou de loin à acheminer ce travail.

Et enfin à tous nos amis et nos collègues de la promotion d'ingénieur 2009 pour tous les moments de joie et de bonheur.



Dédicace

Grâce à « Dieu » tout puissant, et en signe
de reconnaissance à tous les sacrifices consentis pour ma réussite,
on a eu la volonté pour mener à bien ce modeste travail que je dédie :

A Celui qui a semé en moi le sens du devoir et de la responsabilité, qui me
pousse toujours à donner le meilleur de moi-même ; à mon père pour son
sacrifice et inquiétude afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

A la précieuse source de tendresse, à la voie qui console, à celle qui a veillé
sans cesse sur moi avec ses prières ; à ma mère pour sa patience et son
soutien.

Ceux qui se sont réjouis de l'évolution heureuse de mes études, me
témoignant ainsi leur profonde sollicitude, à mes chers frères et sœurs bien
aimés. Tous ceux qui portent le nom **TAHRAOUI**.

A Ceux qui ont exprimé le sens du courage, de l'amitié et de la solidarité ; à
vous mes amis.

En signe d'amitié sincère, à mon binôme **ABDELMADJID** pour son intimité
et simplicité et à toute la famille **YOUCEFI**.

A bien aimé : mon cher oncle le regretté **DRAI** que Dieu le garde au paradis .

A tous mes amis de tous les temps dont je ne peux citer les noms.

Aux gens qui m'aiment et m'estiment.

TAHRAOUI KHALID

Dédicace

Grâce à « Dieu » tout puissant, et en signe
de reconnaissance à tous les sacrifices consentis pour ma réussite,
on a eu la volonté pour mener à bien ce modeste travail que je dédie :

A Celui qui a semé en moi le sens du devoir et de la responsabilité, qui me
pousse toujours à donner le meilleur de moi-même ; à mon père pour son
sacrifice et inquiétude afin que rien n'entrave le déroulement de mes études.

A la précieuse source de tendresse, à la voie qui console, à celle qui a veillé
sans cesse sur moi avec ses prières ; à ma mère pour sa patience et son
soutien.

Ceux qui se sont réjouis de l'évolution heureuse de mes études, me
témoignant ainsi leur profonde sollicitude, à mes chers frères et sœurs bien
aimés. Tous ceux qui portent le nom **YOUCEFI**.

A Ceux qui ont exprimé le sens du courage, de l'amitié et de la solidarité ; à
vous mes amis.

En signe d'amitié sincère, à mon binôme **KHALED** pour son intimité et
simplicité et à toute la famille **TAHRAOUI**.

A tous mes amis de tous les temps dont je ne peux citer les noms.
Aux gens qui m'aiment et m'estiment.

YOUCEFI ABDELMAADJID

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Listes des figures

Introduction générale

Chapitre I Gestion du trafic aérien

I.1	Introduction.....	2
I.2	La gestion de l'espace.....	2
I.3	La gestion des flux.....	4
I.4	Le contrôle du trafic aérien.....	4

Chapitre II Les organismes et Les services de la CA

II.1	Les différents organismes de la circulation aérienne.....	7
II.2	Les services de la circulation aérienne.....	8
II.2.1	Le service du contrôle.....	9
II.2.2	Le service d'information de vol.....	10
II.2.3	Le service d'alerte	11

Chapitre III Existence du contrôle aérien

III.1	Dans un espace aérien.....	13
III.1.1	Généralités.....	13
III.1.2	Devisions de l'espace.....	13
III.1.2.1	Espace Aérien Contrôlé (E.A.C).....	13
III.1.2.2	Espace Aérien Non Contrôlé (E.A.N.C).....	17
III.1.2.3	Espaces aériens à statuts particuliers.....	17
III.1.3	Les organismes de contrôles dans l'espace aérien.....	18
III.1.3.1	Les centres régionaux de la navigation aérienne (CRNA)	18
III.1.3.2	Le centre de contrôle d'approche (APP)	21
III.2	Sur un aérodrome.....	23
III.2.1	Généralités et définitions	23
III.2.2	Les organismes de contrôle sur un aérodrome.....	24
III.2.3	Les séparations en contrôle d'aérodrome	25

Chapitre IV	Les outils du contrôleur	
IV.1	La radiotéléphonie	26
IV.2	Les strips	29
IV.2.1	Les strips "en route"	29
IV.2.1.1	La case "informations générales"	30
IV.2.1.2	La case "coordination et niveaux"	31
IV.2.1.3	La case "route et archive"	32
IV.2.2	Les strips "SIGMA"	32
IV.2.2.1	Cartouche	33
IV.2.2.2	Champ route et case coordination	34
IV.2.2.3	Champ niveaux	34
IV.2.2.4	Champ divers	34
IV.2.2.5	Archive	34
IV.3	Le réseau de télécommunication	35
IV.4	L'information aéronautique	35
IV.5	Le radar	35
IV.5.1	Radar primaire	36
IV.5.2	Radar secondaire	37
IV.5.3	Transpondeur	38
Chapitre V	La naissance et la modernisation du contrôle aérien	
V.1	la naissance du contrôle aérien	39
V.2	la modernisation du contrôle aérien	44
V.2.1	L'automatisation du contrôle aérien	45
Chapitre VI	Initiation à la navigation	
VI.1	Introduction	50
VI.2	Trigonométrie	50
VI.3	L'Orientation	50
VI.4	Le triangle de vitesses	55
VI.5	La mesure du temps	56
VI.6	Les méthodes de navigation	58
VI.7	Conclusion	60
Chapitre VII	Développement de l'application « ATC »	
VII.1	Introduction	61
VII.2	Méthodologie	61
VII.3	Les différents Symboles	52
VII.4	difficultés rencontrées	65
VII.5	Outil de développement	66
VII.6	Utilisation du Logiciel « ATC »	66
VII.7	Conclusion	75
Conclusion	76

Liste des figures

<i>Figure</i>	<i>Désignation</i>	<i>Page</i>
FIG.I.1	Routes et waypoints	3
FIG.I.2	Une salle de centre de contrôle.....	4
FIG.I.3	Plot sur une image radar.....	6
FIG.II.1	Les organismes de la CA.....	8
FIG.II.2	LA vigie d'une TWR.....	9
FIG.II.3	tour du contrôle	10
FIG.III.1	Division de l'espace aérien.....	14
FIG.III.2	Espace Aérien Contrôlé (E.A.C).....	15
FIG.III.3	(Poste de contrôle radar).....	18
FIG.III.4	STRIP	18
FIG.III.5	la phase d'approche.....	22
FIG.III.6	Photo d'un écran radar d'approche.....	23
FIG.III.7	Circuit d'aérodrome.....	23
FIG.III.8	Tour de contrôle(TWR)	24
FIG.IV.1	Strip "en route".....	29
FIG.IV.2	La partie "informations générales".....	30
FIG.IV.3	la partie "coordination et niveaux".....	31
FIG.IV.4	La partie "route et archive".....	32
FIG.IV.5	Format d'un strip SIGMA	33
FIG.IV.6	Radar primaire TA10	36
FIG.V.1	Salle des téléscripteurs au CRNA en 1952.....	39
FIG.V.2	Carte des 6 radiophares CONSOL.....	40
FIG.V.3	Carte LORAN de navigation hyperbolique.....	41
FIG.V.4	Carte de navigation GEE.....	41
FIG.V.5	Carte DECCA en 1950.....	42
FIG.V.6	Poste de contrôle en vigie.....	43
FIG.V.7	Table de plotting.....	43
FIG.V.8	Tableau de strips.....	43
FIG.V.9	Ecran d'un radar de surveillance secondaire.....	44
FIG.V.10	Mémoire à disques du premier CAUTRA.....	45
FIG.V.11	Détail d'un écran radar dans un CRNA.....	46
FIG.V.12	Stations ODS	46

Liste des figures

FIG.V.13	Nouveaux postes informatiques.....	47
FIG.V.14	Ecran ARTEMIS.....	47
FIG.V.15	Ecran CIGALE.....	48
FIG.V.16	Ecran d'un digitatron.....	48
FIG.V.17	Ecran TID.....	49
FIG.VI.1	Les coordonnées géographiques.....	51
FIG.VI.2	La mesure des distances.....	53
FIG.VI.3	Les différents angles d'orientations.....	54
FIG.VI.4	La navigation à l'estime.....	58
FIG.VI.5	Le cheminement a vue.....	59
FIG.VI.6	Le cheminement radionav.....	59
FIG.VII.1	les informations concernant chaque vol.....	67
FIG.VII.2	message d'erreur	68
FIG.VII.3	changement des entrées.....	69
FIG.VII.4	résultat concernant chaque vol.....	70
FIG.VII.5	informations utiles.....	73
FIG.VII.6	Conflit.....	74
FIG.VII.7	Tracé des avions dans le plan horizontal	74



INTRODUCTION

Malgré la crise actuelle, probablement temporaire, le trafic aérien a connu une progression très importante depuis plusieurs décennies. Parallèlement, les avions s'équipent de moyens de plus en plus sophistiqués de navigation permettant des tenues plus précises de trajectoires. On peut depuis longtemps maintenant gérer toutes les phases d'un vol sans toucher aux commandes de l'avion, dès que le décollage a été effectué. En revanche, le contrôle aérien n'a connu que très peu d'évolutions depuis trente ans et l'on peut s'entonner.

Au cours des dernières années, le nombre de vols contrôlés n'a cessé de croître dans des proportions très importantes. Même si la crise actuelle a entraîné un ralentissement de cette évolution, les prévisions à long terme montrent que ce ralentissement ne devrait être que provisoire [W1].

Dans ce contexte la gestion du trafic aérien s'est lentement organisée, pour se diviser aujourd'hui en trois grands modules : la gestion de l'espace aérien (ASM), la gestion des flux (ATFM) et le contrôle du trafic (ATC). [W2]

Nous nous sommes intéressés dans ce mémoire sur l'un de ces trois modules : le contrôle du trafic aérien (ATC).

Ce mémoire est divisé en 7 chapitres :

- Le premier chapitre comprend des généralités sur la gestion du trafic aérien ainsi que ses trois modules.
- Le deuxième chapitre présente les organismes de la circulation aérienne et ses services.
- Le troisième chapitre montre l'existence du contrôle aérien dans un espace aérien ainsi que dans un aéroport et les organismes de contrôle dans chacun d'entre eux.
- Le quatrième chapitre est consacré aux différents outils utilisés dans le contrôle aérien.
- La naissance et la modernisation du contrôle aérien fait l'objet du cinquième chapitre.
- Le sixième chapitre présente d'une manière générale la navigation aérienne.
- Le dernier chapitre est consacré au développement de l'outil informatique et une brève présentation du langage de programmation « matlab » .





I-1 Introduction

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

La gestion du trafic aérien (ATM : *Air Traffic Management*) passe par la gestion des 3 systèmes suivants : [W2], [B1]

- le système ASM (*Air Space Management*), gestion de l'espace aérien (ouverture de routes de délestage dans un espace laissé temporairement libre par les militaires, par exemple).
- le système ATFM (*Air Traffic Flow Management*), gestion anticipée des flux de trafic afin de prévenir toute congestion.
- le système ATC (*Air Traffic Control*), contrôle (en temps réel) du trafic aérien.

I-2 La gestion de l'espace

Les avions qui souhaitent traverser l'espace aérien d'un pays doivent obligatoirement respecter un des deux modes de vol suivants :

Vol VFR: VFR signifie Visual Flight Rules. Les avions de la catégorie VFR doivent assurer eux mêmes leur séparation les uns par rapport aux autres par des moyens visuels. Ils doivent être équipés d'un moyen de radiocommunication pour entrer dans la plupart des zones entourant les aéroports.

Vol IFR: IFR signifie Instruments Flight Rules. Les avions de la catégorie IFR doivent être équipés d'un matériel de radionavigation et de vol sans visibilité extérieure. Ils doivent également déposer un plan de vol et doivent obtenir une autorisation de décollage ou de survol.

L'espace a été ensuite divisé volumiquement par l'OACI en six catégories: **Classe A, B, C et D, E, F G.** (nous verrons la signification de ce terme plus loin).

Pour aller d'un aéroport à un autre, un aéronef volant dans un espace contrôlé doit suivre une route aérienne. Il s'agit de segments de droites reliant des points de report (waypoints). La figure 1.1 montre deux exemples de route. La première (indiquée comme étant une Victor Airway) correspond à l'ancien modèle de route : les points de report (petits cercles) sont des balises de radionavigation qui existent physiquement au sol et sur lesquels les avions se repèrent grâce à leurs moyens de radionavigation. Les chiffres indiqués dans les encadres (109.2 Par exemple) correspondent aux fréquences d'émission de ces balises. Pour des raisons



souvent topographiques, il était impossible de positionner ces balises n'importe où, d'où l'aspect parfois tourmenté des routes.

Le second exemple (appelé Area Navigation Route, ou RNAV) correspond aux nouveaux modèles de route rendus possibles par l'évolution des moyens de radionavigation des avions. Les points de report (Waypoint1, etc.) indiqués par des petits losanges sont purement fictifs, mais les nouveaux systèmes de gestion de vol des avions (Flight Management System, ou FMS) sont aujourd'hui parfaitement capables de les suivre. Ils utilisent en effet les relèvements de plusieurs balises de radionavigation, et peuvent également les combiner avec d'autres moyens de navigation comme les plates-formes inertielles ou la navigation par satellite (GPS). Ces nouveaux modes ont ainsi permis de rendre le réseau de route aussi souple que l'on souhaite ouvrant ainsi des perspectives très importantes pour la redéfinition de l'espace aérien. Il faut cependant souligner qu'une route aérienne ne peut pas passer n'importe où. Il faut d'une part respecter les contraintes d'environnement, mais aussi éviter les zones de l'espace réservées aux militaires pour leur entraînement.

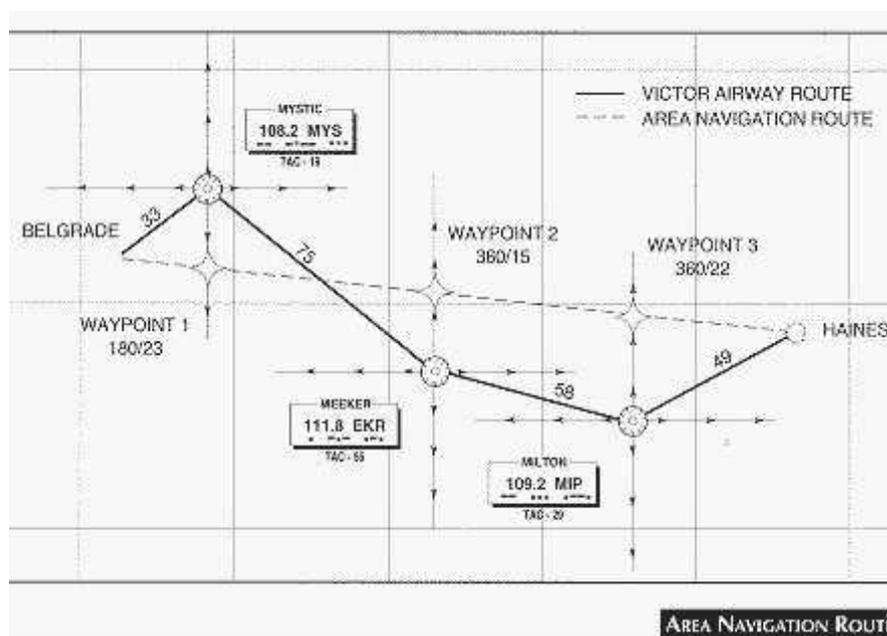


FIG.I.1 – Routes et waypoints

On constate qu'il n'existe souvent qu'une seule route pour aller d'un point à un autre. Ces schémas de routage sont employés par les pilotes lors des dépôts de plan de vol : il s'agit d'un document que chaque aéronef volant suivant les règles IFR doit remettre aux autorités chargées de la gestion de l'espace. Il contient les informations fondamentales suivantes :

- L'heure de départ ;
- Le niveau de vol demandé pour la croisière ;
- La route prévue.



Ces informations sont utilisées pour assurer la gestion de flux, dont nous allons reparler au paragraphe suivant, et informer les contrôleurs aériens en charge des secteurs de contrôle que va traverser l'avion.

I-3 La gestion des flux

Les aéronefs peuvent librement déposer leurs plans de vol et choisir leurs itinéraires. Que se passe-t-il si tous les avions veulent passer au même endroit au même moment ? En effet, la capacité de contrôle est limitée : à travers un même secteur on ne peut faire passer qu'un certain nombre d'avions par heure. Si plus d'avions veulent passer, et que rien n'est fait, alors le risque de collision augmente fortement. Le contrôleur n'est plus à même de gérer tous les avions et de garantir qu'il n'y aura pas d'accident. Il faut trouver des méthodes qui vont nous assurer que jamais une telle situation ne se produira. On appelle cela la gestion des flux (Air Traffic Flow Management ou ATFM). L'option généralement choisie aujourd'hui est de modifier l'heure de décollage de certains vols. On impose donc aux avions de décoller à une heure donnée. Il est obligatoire de respecter l'heure imposée. On parle de créneaux de décollage car une tolérance de 5 minutes avant l'heure et de 10 minutes après l'heure est admise. L'avion a donc une plage d'un quart d'heure durant laquelle il peut décoller. Si un avion manque son créneau il ne peut décoller avant d'en avoir obtenu un autre.

I-4 Le contrôle du trafic aérien

La définition officielle du contrôle du trafic aérien est la suivante :

Le but premier du contrôle du trafic aérien est d'assurer la sécurité du trafic et donc d'éviter les abordages entre les aéronefs opérant dans le système, puis d'optimiser les flux de trafic. La mission première reste donc la sécurité, la notion de capacité n'intervenant qu'ensuite.



FIG.I.2 – Une salle de centre de contrôle



Le contrôle aérien peut être divisé en trois catégories :

- **Le contrôle au sol** : il s'agit du contrôle des aéronefs sur les plates-formes aéroportuaires (roulage, etc.).
- **Le contrôle d'approche** : il s'agit du contrôle autour des plates-formes aéroportuaires. Le contrôle d'approche fait appel à des techniques spécifiques, essentiellement orientées vers le séquençage des avions.
- **Le contrôle en route** : il s'agit du contrôle hors zone d'approche. C'est celui qui nous intéressera directement, et dont nous allons détailler maintenant le mode opératoire.

Les contrôleurs en route sont regroupés dans des centres de contrôle. Chacun de ces centres contrôle plusieurs secteurs, et dispose donc de plusieurs positions de contrôle. Sur chacune de ces positions, on trouve deux contrôleurs qui sont en charge du trafic dans ce secteur. Le travail des contrôleurs est différencié. Le contrôleur «organique» s'occupe principalement de la gestion du trafic à moyen terme. Pour se faire, il dispose de petites bandes de papier (appelées «strips») posées sur des réglottes rouges ou vertes en fonction du sens de déplacement des vols et qui contiennent toutes les informations fondamentales pour chaque avion appelé à traverser son secteur. Ces informations sont : l'heure d'entrée dans le secteur, la liste des balises de la route de l'avion, le niveau d'entrée, le niveau de vol demandé, etc.

Les informations véhiculées par les strips sont données au contrôleur une dizaine de minutes avant l'arrivée de l'avion dans son secteur. Le contrôleur organique doit également assurer l'interface avec le contrôleur du secteur précédent et celui du secteur suivant, pour assurer une bonne transmission des avions. Cette procédure, appelée «coordination» est l'une des tâches majeures du contrôle. Il assure aussi la gestion globale du flux dans le secteur, et doit s'assurer que la tâche que devra effectuer le second contrôleur, appelé contrôleur radar ou contrôleur tactique, ne sera pas trop lourde.

Le contrôleur tactique, quant à lui, doit assurer la gestion à court terme du trafic, et en particulier la séparation des aéronefs. Il doit, pour ce faire, maintenir en permanence une séparation minimale entre les avions. Cette séparation est d'environ 5 Nm (1 Nm = 1852 m) dans le plan horizontal ou 1000 ft (1ft = 30 cm) dans le plan vertical. Lorsque ces deux normes sont simultanément violées, on dit qu'il y a une perte de séparation, ou conflit. Pour faciliter le travail du contrôleur, les avions volent, comme nous l'avons vu, sur des routes aériennes et, lorsqu'ils sont stables, ils se fixent sur un niveau de vol «entier» : ainsi, un avion volera par exemple à 31000ft (niveau de vol FL310) mais pas à 31700ft. Les niveaux de vol standards sont ainsi séparés de 1000ft (FL290, FL300, FL310). Pour maintenir cette séparation, il dispose d'une image radar qui lui montre l'ensemble du trafic présent dans son secteur (on la distingue sur la figure 1.2). Chaque avion est représenté par un plot et une étiquette (voir figure 1.3) qui contient l'ensemble des informations utiles :

Cap, indicatif, altitude, attitude (montée, stable, ou descente) et la balise suivante. La vitesse est représentée graphiquement par une comète, qui est la traînée laissée par l'avion derrière lui et correspond aux positions passées. Il existe encore très peu d'aide à la détection et à la résolution de conflit.



FIG.I.3 – Plot sur une image radar

Pour assurer la séparation, le contrôleur tactique dispose de deux catégories de manoeuvre : les manoeuvres en niveau et les manoeuvres en cap.

❖ Les manoeuvres en niveau se divisent elles-mêmes en trois catégories :

- on peut stabiliser les avions en montée avant de les autoriser à poursuivre vers leur niveau.
- on peut anticiper la descente d'avions proches de leur destination.
- on s'autorise parfois à monter ou descendre d'un niveau de vol les avions stables en croisière Cette dernière manoeuvre n'est généralement pas très appréciée des pilotes, car toute modification de niveau de vol entraîne la mise en route d'une check-list, et souvent une modification des régimes réacteurs.

❖ Les manoeuvres en cap consistent simplement à modifier le cap d'un avion à gauche ou à droite, puis à lui faire reprendre sa trajectoire.

La charge de travail d'une équipe de contrôleurs travaillant sur un secteur en route peut donc se décomposer de la façon suivante :

- **La coordination** : qui consiste de gérer l'entrée et la sortie des avions du secteur.
- **La surveillance** : qui consiste de surveiller le trafic.
- **La résolution** : qui consiste de donner les ordres adaptés pour résoudre les conflits.

Cette décomposition explique pourquoi on ne peut augmenter indéfiniment la capacité en multipliant le nombre de secteurs. En effet, pour des secteurs trop petits, la charge de coordination devient prépondérante, et empêche toute gestion du trafic.

La présentation que nous venons de faire permet d'avoir une idée factuelle du contrôle aérien aujourd'hui.



Pour assurer la circulation dans l'espace aérien d'un pays, on a créé un certain nombre d'organismes, Il en existe plusieurs types : [B2]

II-1 Les différents organismes de la circulation aérienne

- **Les centres de contrôle d'aérodrome (TWR pour Tower ou tour de contrôle) :** sont chargés d'assurer les services de la circulation aérienne dans une zone restreinte (de l'ordre d'une dizaine de kilomètres) autour d'un aérodrome. Leur principale attribution est la gestion de la piste d'atterrissage. Le service est rendu depuis la vigie d'une tour de contrôle.
- **Les Bureaux de piste:** sont chargés de recevoir des comptes rendus concernant les services de la circulation aérienne et des plans de vol déposés avant le départ.
- **Les centres de contrôle d'approche (APP) :** sont chargés d'assurer les services de la circulation aérienne aux abords d'un aérodrome, dans une zone de contrôle dont la taille est variable. Les contrôleurs sont généralement situés dans la vigie d'une tour de contrôle, ou dans une salle radar spécialement aménagée.
- **Les centres de coordination et de sauvetage (RCC) :** sont chargés d'assurer l'organisation du service de recherche et de sauvetage et de coordonner les opérations à l'intérieur d'une région de recherche et de sauvetage.
- **Les Centres d'information de vol (FIC) :** ils sont institués pour assurer le service d'information de vol et le service d'alerte.
- **Les Centres en route de la navigation aérienne (CRNA) :** sont chargés d'assurer les services de la circulation aérienne au bénéfice des aéronefs en croisière (hors proximité d'aérodrome).

Ces organismes ont été différenciés car les compétences requises, les règles applicables, et les moyens techniques nécessaires ne sont pas les mêmes. Un centre de contrôle en route nécessite un radar, tandis que l'outil principal en contrôle d'aérodrome est la vue. En approche, tous les avions veulent aller au même endroit : la piste, on a ainsi un phénomène "d'entonnoir". En route, les avions ont tous des provenances et destinations différentes, les problèmes sont donc pour beaucoup éparpillés et aléatoires. Ces différences, et d'autres, ont conduit à cette classification.

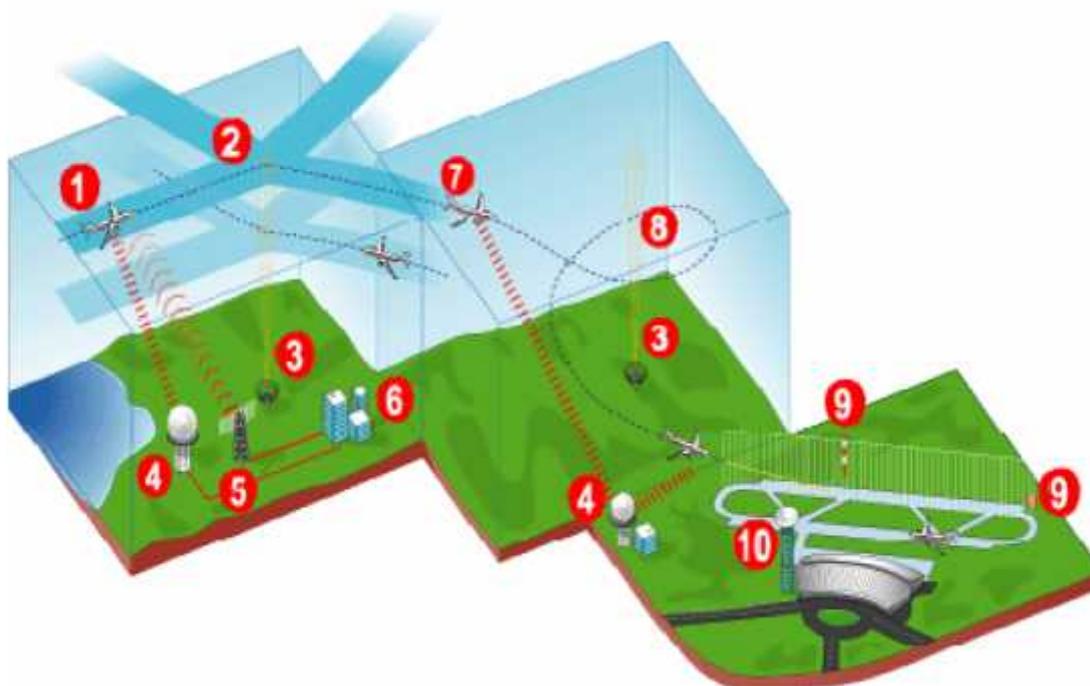


FIG.II.1 - Les organismes de la CA

1. Avion entrant dans un secteur de contrôle.
2. Couloir aérien.
3. Balise radio.
4. Radar mono impulsion.
5. Émetteur/récepteur radios.
6. Centre en route de la navigation aérienne.
7. Avion entrant dans un secteur d'approche.
8. Circuit d'attente.
9. Balise pour l'atterrissage aux instruments (ILS).
10. Tour de contrôle et radar de contrôle au sol.

II-2 LES SERVICES DE LA CIRCULATION AERIENNE [B2]

Au fur et à mesure que les mouvements d'aéronefs se sont intensifiés, il s'est avéré nécessaire de mettre en place des structures pour assister les activités aéronautiques et pour régler le flux de la circulation aérienne.

Des organismes ont donc été constitués. Ce sont les organismes de la circulation aérienne qui rendent trois types de services :

- le service de contrôle.
- le service d'information de vol.
- le service d'alerte.



Les organismes chargés du service du contrôle assurent aussi le service d'information de vol et le service d'alerte.

Les organismes chargés du service d'information de vol assurent aussi le service d'alerte.

Les organismes chargés du service d'alerte n'assurent que ce service.



FIG.II.2 – La vigie d'une TWR

II-2-1 Le service du contrôle

Il a pour objet :

- D'empêcher les abordages entre les aéronefs qui sont sous la charge de l'organisme.
- D'accélérer et de régulariser la circulation aérienne qui se trouve sous la charge de l'organisme.
- D'empêcher les collisions sur l'aire de manoeuvre entre les aéronefs qui évoluent au sol et les obstacles (grue, véhicule, etc. ...).

Le service du contrôle a pour fonction d'empêcher les collisions entre aéronefs, mais dans tous les cas, l'évitement de la collision reste sous la responsabilité du commandant de bord. Le plus important reste donc la sécurité des vols. Concrètement, le service du contrôle se manifeste aux usagers par :

Des clairances (de l'anglais clearance qui signifie autorisation) qui sont des autorisations ou instructions données aux aéronefs et transmises par radio. Ces clairances ont pour objet d'assurer les séparations entre les aéronefs qui sont sous la charge de l'organisme du contrôle. Ces instructions peuvent être assimilées à des ordres. Le commandant de bord d'un aéronef peut toutefois décider d'y déroger mais doit justifier sa décision par une réelle question de sécurité ou de capacité (un virage trop serré pour son appareil par exemple). Le non-respect d'une instruction du contrôle aérien peut mener à la suspension définitive de la licence du pilote.

Des informations concernant la position (gisement et distance par rapport à l'avion) de tous les aéronefs qui sont contrôlés par l'organisme du contrôle, dans la mesure où ils peuvent interférer avec la trajectoire. C'est l'information de trafic. Celle-ci ne peut être rendue que dans les espaces où tous les aéronefs sont en contact radio, autrement dit où le contact radio est obligatoire.



- Les moyens qu'utilise le contrôleur pour prévenir les abordages sont l'espacement et l'information de trafic.
 - L'espacement consiste à ménager entre deux aéronefs une distance minimale, garantissant la sécurité de ces deux avions.
 - L'information de trafic est une information précise sur la position d'un autre aéronef pouvant se rapprocher dangereusement. Le pilote ne peut pas voir qu'un avion se rapproche, l'information de trafic l'aide à voir, afin de permettre au pilote d'éviter l'aéronef conflictuel.
- Le moyen utilisé pour prévenir les abordages dépend du régime de vol et de la classe de l'espace considéré.
 - Les méthodes utilisées pour assurer l'espacement et délivrer l'information de trafic dépendent des organismes.



FIG.II.3 – tour du contrôle

II-2-2 Le service d'information de vol

Le rôle de ce service est de délivrer toute information utile à l'exécution sûre et efficace des vols. En espace aérien contrôlé, il est assuré par le service de contrôle. Dans les espaces aériens non contrôlés, il est assuré par un organisme SIV en vol, ou AFIS sur un aéroport. Il consiste à délivrer aux aéronefs les renseignements et avis nécessaires à l'exécution sûre et efficace du vol. Ces renseignements peuvent être :

- Météorologiques : conditions météo sur un terrain, présences d'orages...
- Information sur le trafic (à ne pas confondre avec l'information de trafic) : information sur un trafic connu ou inconnu, en fonction des éléments disponibles, pouvant interférer avec un aéronef.
- État des aides à la navigation
- État des équipements sol d'un terrain



- Amendements de plan de vol
 - Information sur la position, aide aux pilotes perdus Autres...
 - Des renseignements non aéronautiques peuvent être parfois délivrés, mais cela reste à la discrétion du contrôleur en place.
- FIS : Flight Information Service. Il s'agit d'organismes Co-implantés avec un centre de contrôle en route ou une approche. Ils rendent les services d'information de vol et d'alerte dans un espace non contrôlé.
- AFIS : Aéroport Flight Information Service (service d'information de vol sur aéroport), qui remplace le contrôle d'aéroport dans un aéroport non contrôlé en assurant les services d'information et d'alerte. L'agent AFIS n'a, contrairement à un contrôleur du trafic aérien, aucune responsabilité et ne peut donner aucune instruction aux pilotes. Ces derniers sont entièrement responsables de leur sécurité.

II-2-3 Le service d'alerte

Le service d'alerte est aussi vaste que naturel. Il consiste à répondre à tous les besoins des avions qui se disent en détresse, ou dont on peut penser qu'ils sont en détresse. Ce service recouvre des domaines très variés :

Si un avion a déposé un plan de vol, et que le contrôle à l'arrivée a reçu confirmation qu'il a bien décollé, il doit surveiller que l'avion arrive bien à destination aux alentours de l'heure prévue, et lancer des recherches si ce n'est pas le cas.

Si un avion ne répond plus à la radio et disparaît du radar, le contrôleur doit vérifier si l'aéronef a eu un problème et s'il s'est écrasé ou posé en urgence. Il déclenche alors les secours pour rechercher l'épave et secourir les occupants.

Si un aéronef s'écrase sur la piste ou à proximité de l'aéroport, il déclenche immédiatement les secours et coordonne leur action jusqu'à l'arrivée des renforts.

Si un pilote signale avoir des problèmes avec son aéronef de nature à entraver le bon déroulement du vol, le contrôleur peut lui donner une priorité absolue à l'atterrissage en écartant tous les autres aéronefs.

Si le contrôleur sait ou soupçonne qu'un aéronef est détourné, il prévient les autorités compétentes et leur apporte tout le secours nécessaire.



D'une manière générale, ce service est une autorisation légale à porter secours par tous les moyens à un pilote en difficulté. Tout être humain le ferait, mais le service d'alerte donne au contrôleur une justification légale pour retarder ou dérouter certains aéronefs afin de porter secours à un autre.



Le contrôle aérien est toujours lié à un espace aérien ou un aéroport.

III-1 Dans un espace aérien

III-1-1 Généralités

En fonction de la concentration du trafic aérien, des activités et de la position géographique des installations militaires, on a divisé l'espace aérien en :

- Espace aérien contrôlé (E.A.C).
- Espace aérien non contrôlé (E.A.N.C).
- Espace aérien à statut particulier.

III-1-2 Division de l'espace aérien [B2], [w3]

III-1-2-1 Espace Aérien Contrôlé (E.A.C)

Espace aérien de dimensions définies à l'intérieur duquel, le service du contrôle est assuré pour tous les vols contrôlés ainsi que le service d'information et d'alerte.

Il existe cinq (05) classes d'espaces aériens contrôlés : A, B, C, D et E. (regarder le tableau des classes d'espace aérien)

Espace Inférieur:

- Zone de contrôle (CTR): Control Traffic Région : C'est un espace aérien de dimensions définies (s'étendent jusqu'à environ 6.5 NM des aéroports qu'elles desservent) qui prend comme limite inférieure le sol ou le niveau moyen de la mer et comme limite supérieure le planché de la TMA.

Elle a pour but de protéger les trajectoires d'arrivée et de départ des avions en régime IFR et assurer la continuité d'un espace aérien contrôlé entre la TMA et l'aéroport.

L'organisme responsable du contrôle dans cet espace est l'approche, on y assure aussi l'information et l'alerte.

- Région de contrôle terminale (TMA): Région de contrôle établie au carrefour des voies aériennes au-dessus d'un ou plusieurs aéroports importants.

* TMA1 : A pour but la protection des trajectoires d'attente et d'approche des avions en IFR.

Limite inférieure: plafond du CTR.

Limite Supérieure: 500 au-dessus du FL le plus élevé d'attente.

* TMA2 : Espace aérien englobant les trajectoires d'attente et d'approche d'un ou

Plusieurs aéroports importants et les procédures de cheminement.

Limite inférieure: plafond du CTR.

Limite Supérieure: FL 195.

L'organisme responsable : L'approche, parfois le CCR.

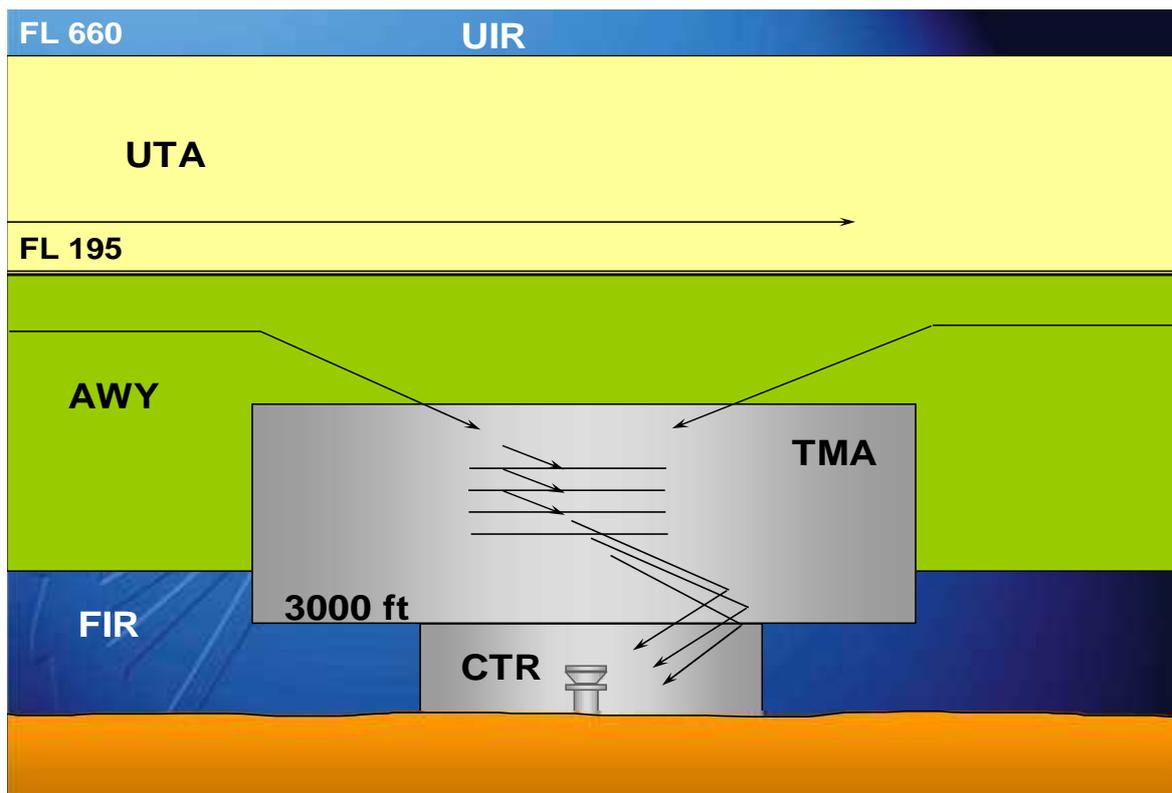


FIG. III.1 – Division de l'espace aérien

- Les Voies Aériennes (AWY) : Espaces aériens définis en forme de couloirs, leur tracé est établi à partir d'installations de radionavigation situées à des distances convenables, permettant la matérialisation des axes.

Elles ont pour but la protection des itinéraires de route. L'organisme qui assure le service du contrôle des voies aériennes est le CCR.

Limite latérale : La largeur des AWY est variable suivant la précision de l'équipement de radionavigation installé et la position (la distance) entre ces deux balises. 5-NM de part et d'autre de la balise.

(Limite inférieure: 300 m / sol).

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

A - Ambre (Amber).

B - Bleu (Blue).

G - Verte (Green).

R - Rouge (Red).

W- Blanche (White).

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

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

Les AWY « W » sont des voies aériennes saisonnières.



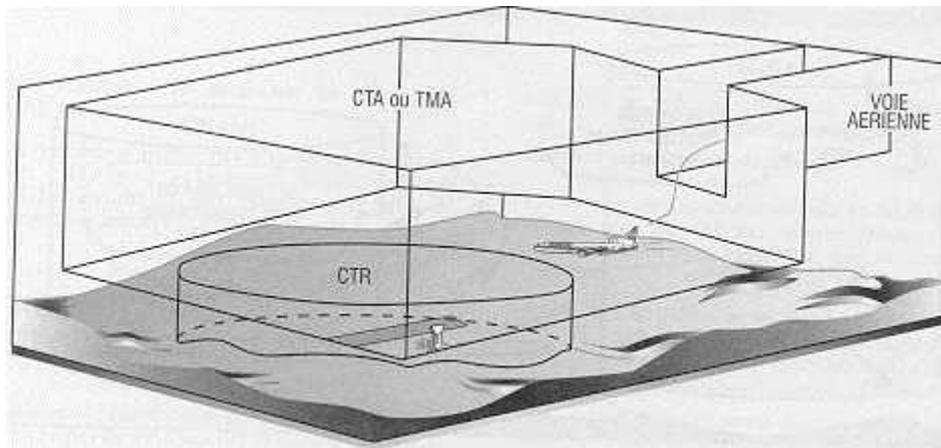


FIG.III.2 – Espace Aérien Contrôlé (E.A.C)

- Région de contrôle (CTA) Control Traffic Région: Espace Aérien Contrôlé de forme et de dimensions déterminées qui s’étendent verticalement à partir d’un certain niveau au-dessus de la surface terrestre.

Limite inférieure: 300m.

La région de contrôle englobe les voies aériennes (AWY) et la région de contrôle terminale (TMA).

Espace Supérieur:

- Région supérieure de contrôle (UTA): C’est une Tranche d’espace entièrement contrôlé du FL 195 à FL 660. A l’intérieur, de l’UTA, sont définis pas d’AWY mais des itinéraires prédéterminés (un seul axe) PDR. Elle est le prolongement du CTA dans l’espace supérieur. L’Organisme responsable est l’Upper Area Center (UAC) en fonction de la densité du trafic aérien. Le CCR peut parfois assurer le service du contrôle.





Les classes d'espace aérien :

	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C	CLASSE D	CLASSE E	CLASSE F	CLASSE G
Nom de l'espace	UTA (Upper Traffic Area)			LTA (Lower Traffic Area)			
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
Altitude				au-dessus du plus élevé des 2 niveaux suivants : FL 115 ou 3000 ft ASFC (900 m) jusqu'au FL 195 inclus			en dessous du FL 115 (en France) sauf pour les voies aériennes et les CTA/TMA



III-1-2-2 Espace Aérien Non Contrôlé (E.A.N.C)

Il est divisé en deux (02) classes : F et G. Cet espace est constitué d'une région où on assure l'information de vol ainsi que l'alerte.

- Région d'information de vol (FIR):

Limite verticale: Sol I Eau jusqu'à un niveau déterminé.

Limite latérale: Frontières I Points de coordonnées géographiques (fixés en accord avec les FIR voisines.

Le service rendu : l'information + alerte.

L'organisme responsable est le centre d'information de vol (CIV).

- Région supérieure d'information de vol (UIR):

L'UIR est un prolongement de la FIR dans l'espace supérieur.

Limite verticale : au-dessus de la FIR jusqu'à l'infini.

Organisme responsable : c'est le centre de région supérieure d'information de vol (parfois le CCR).

III-1-2-3 Espaces aériens à statuts particuliers

Certains espaces ont été définis dans le but de protéger des activités et des installations militaires.

- **Zone interdite (Prohibited Area):** Espace aérien de dimensions définies, dans les limites duquel les vols des aéronefs sont interdits, Ils sont publiés dans les AIP et signalées sur les cartes.

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

Exemple: DAP 51 (AlOussera). DA: Indicatif d'emplacement correspondant au pays.

- **Zone réglementée (Restricted Area):** Espace aérien de dimensions définies, dans les limites duquel les vols des aéronefs sont subordonnés à certaines conditions spécifiées (les horaires des vols limités - Altitude de cet espace limite).

On les identifie par une lettre « R » suivie d'un numéro de la zone. On les traverse avec une autorisation préalable.

Exemple: DAR 78 (CHELEF).

- **Zone dangereuse (Dangerous Area):** Espace aérien de dimensions définies et à l'intérieur duquel des activités dangereuses (Entraînement ou pilotage, voltige...) peuvent se dérouler pendant des périodes spécifiées.

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

Exemple: DAD74 (Tafaraoui).



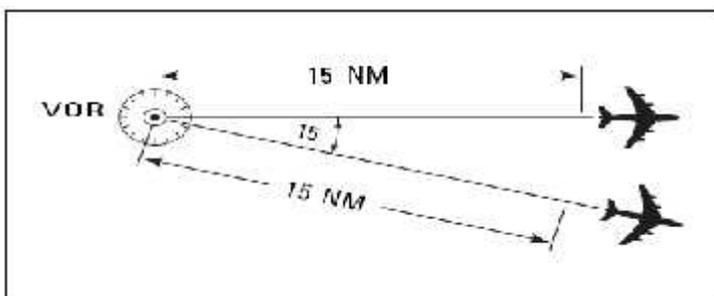
Les séparations appliquées dans le CRNA : [B1]

Le contrôleur assure trois séparations :

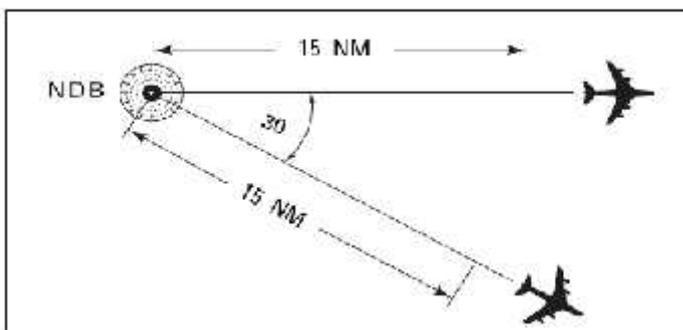
- **Séparation verticale :** le contrôleur assure une séparation verticale entre deux avions de : 1000ft volant au même régime, Sinon elle est de 500ft .cette séparation est appliquée jusqu'à FL295 .haut de la de ce niveau la séparation sera de 2000ft entre tout les avions. S'il existe un radar la séparation entre les aéronefs sera 1000ft.
- **Séparation latérale :**

Espacement de route :

Obtenu en demandant aux aéronefs de suivre des routes spécifiées séparées, selon l'aide ou la méthode de navigation utilisée, par les minimums ci-après

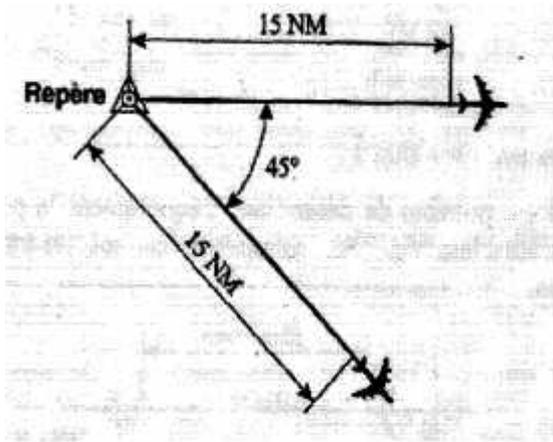


a) VOR : 15° au moins à une distance de 15 NM ou plus de l'installation



b) NDB : 30 degrés au moins à une distance de 15 milles marins ou plus de l'installation





Estime : trajectoires divergentes de 45° au moins à une distance de 15 NM ou plus du point d'intersection des trajectoires, ce dernier étant déterminé à vue ou au moyen d'une aide à la navigation.

- **Séparation longitudinale** : L'espacement longitudinal est appliqué de manière à ce que l'intervalle entre les positions estimées des aéronefs auxquels s'applique ce type d'espacement ne soit jamais inférieur à une valeur minimale prescrite. L'espacement longitudinal peut être assuré en demandant aux aéronefs soit de partir à une heure spécifiée, soit de réduire leur vitesse.

Espacement longitudinal minimal en fonction du temps:

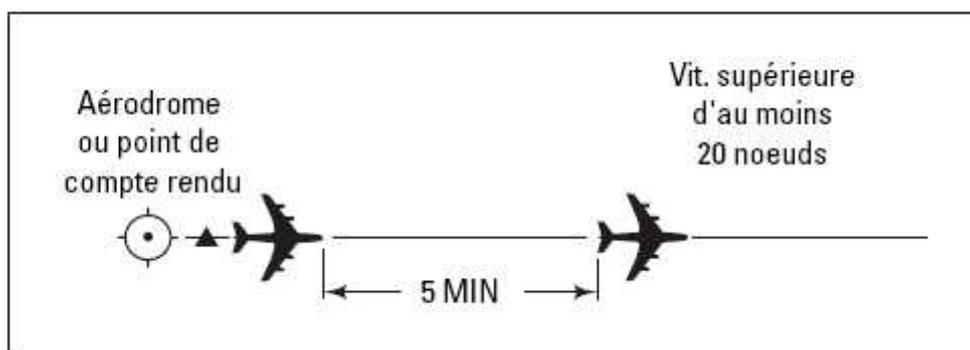
15 minutes (pas de condition)



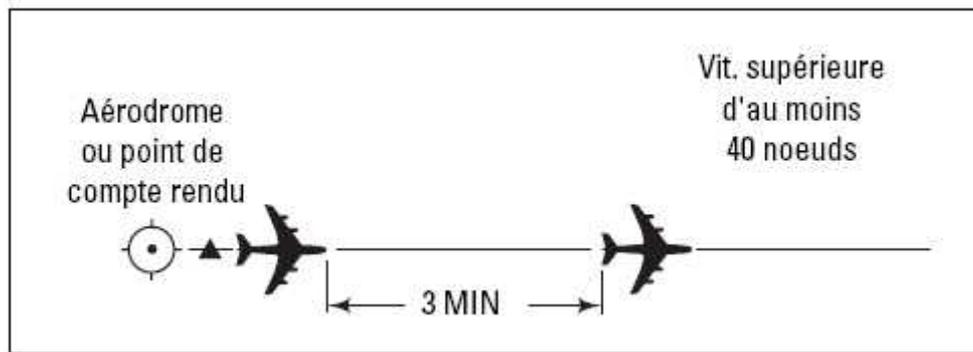
Cet espacement est réduit à:

10 minutes (vitesse des deux avions constante)

5 minutes dans les cas ci-après, à condition que l'aéronef précédant vole à une vitesse vraie supérieure d'au moins 20 nœuds



3 mn dans les mêmes cas que précédemment, si l'aéronef précédant vole à une vitesse vraie supérieure d'au moins 40 nœuds à celle de l'aéronef qui le suit.



S'il y a un radar ces séparations seront réduites au moins de trois minutes.

III-1-3-2 LE CENTRE DE CONTROLE D'APPROCHE (APP)

Généralités : Le contrôle d'approche assure les services de la circulation aérienne dans les espaces voisins des aérodromes dans les buts suivants :

- Prévenir les abordages entre les aéronefs.
- Accélérer et ordonner la circulation aérienne.
- En organisant le trafic au départ.
- En préparant les séquences d'approche.
- En réalisant les séquences d'approche.
- Participant à la régulation du débit.

Dans ces espaces (les espaces voisins des aérodromes) peuvent évoluer des aéronefs au départ, qui souhaitent monter, des aéronefs à l'arrivée, qui souhaitent descendre, et des aéronefs en transit, qui souhaitent maintenir leur altitude.

➤ **Localisation physique:** Le contrôle d'approche est physiquement localisé dans des tours de contrôle. Dans ce cas, il est localisé dans la vigie de la tour ou dans une salle d'approche séparée quand elle existe.

➤ **Les méthodes:** La particularité du contrôle d'approche est de gérer une grande diversité d'appareils très évolutifs et ayant des grandes différences de vitesses.

Le contrôleur a deux moyens pour assurer ce service de contrôle :

L'information de trafic, le contrôleur recueille des informations sur la position des aéronefs à qui il doit l'information de trafic, et retransmet ces informations quant aux aéronefs pour lesquels l'information est pertinente.

L'espacement, et dans ce cas les méthodes de travail varient selon les moyens techniques dont le contrôleur dispose, notamment des moyens radar.

➤ **Approche classique:** On appelle approche classique une approche qui ne répond pas aux critères de l'approche de précision,

Séparations appliquées : Pour deux aéronefs à l'arrivée, on assure le plus souvent une séparation verticale : si deux aéronefs arrivent en même temps, on les laisse l'un au dessus de l'autre, le second descendant quand le premier descend. Une fois le premier posé, le second est autorisé à l'approche. L'ordre répond à la règle du "premier arrivé, premier servi".

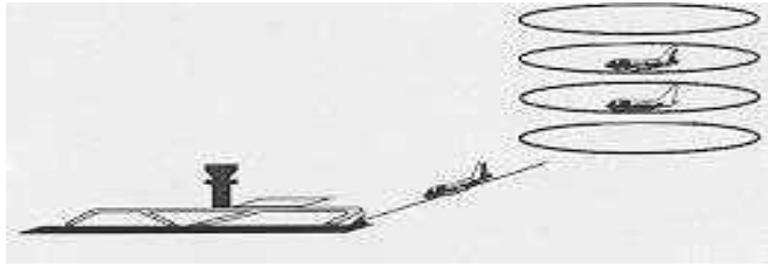


FIG. III.5 - la phase d'approche

Pour deux aéronefs au départ, la méthode employée est équivalente. L'aéronef parti en premier monte, celui parti en second reste en dessous, et est autorisé à monter au fur et à mesure de la progression du premier. Une fois une séparation horizontale obtenue (si leurs trajectoires divergent après l'envol), le second n'est plus restreint pour sa montée.

Quand un aéronef part sur une trajectoire, et qu'un autre arrive sur une trajectoire sensiblement identique, en général un critère est défini pour savoir quand ces aéronefs sont séparés. L'aéronef à l'arrivée doit passer un point caractéristique, et l'aéronef au départ un autre point. A partir de ce moment là, un espacement est établi, et la séparation ne fera qu'augmenter. On peut alors faire descendre l'arrivée, et faire monter le départ.

➤ **Approche radar:** Les méthodes sont les mêmes que pour l'approche classique. Cependant, au lieu d'attendre les critères de séparation stratégique pour effectuer des croisements (surtout dans le cas d'un aéronef à l'arrivée et d'un autre au départ), on utilise un espacement radar qui est en général atteint beaucoup plus rapidement qu'une séparation stratégique en général 3 milles nautiques (NM) et 90 secondes

Enfin, le radar augmente la sécurité, en permettant au contrôleur de surveiller que ses instructions ont été bien comprises et suivies par le pilote.



FIG. III.6 - Photo d'un écran radar d'approche



III-2 Sur un aéroport

III-2-1 Généralités et définitions

Un aéroport est juste qualifié de "contrôlé" ou "non contrôlé". Il n'y a pas de nuances dans le rendu du service de contrôle comme dans les espaces.

Un organisme de contrôle d'aéroport ne peut exister que sur un aéroport contrôlé. En dehors des permanences de l'organisme de contrôle, l'aéroport devient non contrôlé. La zone de compétence du contrôle recouvre le sol, la piste d'atterrissage, et l'espace aérien immédiatement adjacent à la piste.

Circuit d'aéroport: Trajet de principe associé à un aéroport indiquant les manœuvres successives que doivent effectuer en tout ou partie les avions en vol utilisant l'aéroport.

Aire de manœuvre: Partie d'un aéroport à utiliser pour les décollages, les atterrissages et la circulation des avions à la surface, à l'exclusion des aires de trafic.

Aire de trafic: Aire définie, sur un aéroport terrestre, destinée aux avions pendant l'embarquement ou le débarquement des voyageurs, le chargement ou le déchargement de la poste ou du fret, l'avitaillement ou la reprise de carburant, le stationnement ou l'entretien....

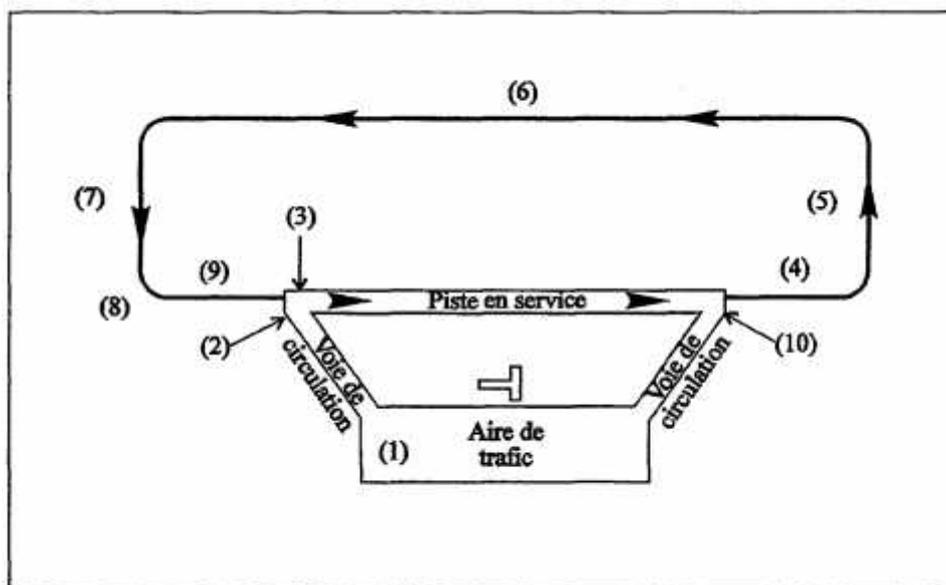


FIG. III.7 - Circuit d'aéroport

- | | | | |
|-----------------------------|--------------------|------------|---------------------|
| (1).Aire de trafic | (2).Point d'arrêt | (3).Aligné | (4).Montée initiale |
| (5).Branche vent traversier | (6).Vent arrière | (7).Base | (8).Dernier virage |
| (9).Finale | (10).Piste dégagée | | |



III-2-2 Les organismes de contrôle sur un aéroport

Tour de contrôle (TWR) [W4] : Une tour de contrôle est constituée de l'ensemble : vigie + fût+bloc technique.

- **La vigie** où s'exerce le contrôle d'aéroport, est parfois disposée directement sur un bâtiment, mais c'est assez rare. Ses fonctions et particularités sont exposées ci-après.
- **Le fût** (ou les fûts, car il peut y en avoir plusieurs) comprend généralement un escalier, un ascenseur monte-charge des gaines techniques, etc. Les dispositions préventives de sécurité incendie (coupe feu, sas, ...) doivent garantir de bonnes conditions d'évacuation.
- **Le bloc technique** est le bâtiment situé en pied de tour, où se trouvent les salles techniques et bureaux qui doivent être proches de celles-ci.



FIG. III.8 - Tour de contrôle (TWR)

FONCTIONS DES TOURS DE CONTRÔLE D'AÉRODROME :

Généralités : Les tours de contrôle d'aéroport transmettront des renseignements et des autorisations aux aéronefs placés sous leur contrôle dans le but d'assurer l'acheminement sûr, ordonné et rapide de la circulation aérienne sur l'aéroport ou aux abords de celui-ci, afin de prévenir les collisions entre :

- Les aéronefs en vol dans la zone de responsabilité désignée de la tour de contrôle y compris les circuits d'aéroport.
- Les aéronefs évoluant sur l'aire de manœuvre.
- les aéronefs en train d'atterrir ou de décoller.
- les aéronefs et les véhicules évoluant sur l'aire de manœuvre.
- les aéronefs sur l'aire de manœuvre et les obstacles se trouvant sur cette aire.

Les contrôleurs d'aéroport surveilleront constamment tous les vols au-dessus de l'aéroport ou aux abords de celui-ci ainsi que les véhicules et le personnel sur l'aire de manœuvre. Une veille sera maintenue par observation visuelle ; dans des conditions de faible visibilité, celle-ci sera renforcée par radar, si celui-ci est disponible.

Les fonctions d'une tour de contrôle d'aéroport peuvent être assurées par différents postes de contrôle ou de travail, tels que :



- contrôleur d'aérodrome, normalement chargé des mouvements sur la piste et des aéronefs en vol dans la zone de responsabilité de la tour de contrôle d'aérodrome.
- contrôleur sol normalement chargé de la circulation sur l'aire de manœuvre, à l'exception des pistes.
- poste de délivrance des autorisations, normalement chargé de la délivrance des autorisations de mise en route des moteurs et des autorisations ATC pour les vols IFR au départ.

III-2-3 LES SEPARATIONS EN CONTROLE D'AERODROME

Au départ : Un aéronef ne sera pas autorisé à décoller, tant que l'aéronef au départ qui le précède n'aura pas franchi l'extrémité de la piste en service, ou n'aura pas amorcé un virage.

A l'arrivée : Un aéronef en approche finale ne doit pas franchir le seuil de la piste, tant que l'aéronef qui le précède à l'arrivée n'a pas dégagé la piste en service ou l'aéronef au départ n'a pas quitté l'extrémité de la piste ou n'a pas amorcé un virage.

Espacements sur la piste : Les clairances d'atterrissage ou de décollage à un aéronef ne doivent pas être délivrées tant que :

L'aéronef au départ qui le précède n'a pas franchi l'extrémité de la piste en service ou n'a pas amorcé un virage ;

L'aéronef à l'arrivée qui le précède n'a pas dégagé la piste.

Ces séparations sont augmentées en raison de la turbulence de sillage des aéronefs : les clairances sont alors retardées de 2 à 3 minutes, selon les cas. Toutefois, les minimums de séparation peuvent être réduits de jour, entre deux aéronefs au départ ou à l'arrivée, dans des bonnes conditions météorologiques, lorsque la piste est sèche.

La séparation verticale dans un circuit d'aérodrome :

La séparation verticale des avions n'existe en principe pas dans un aérodrome. Cependant, il peut arriver que des altitudes différentes soient prescrites selon le type d'appareil, auquel cas, les circuits sont de forme différente (le circuit le plus haut se trouve plus à l'extérieur de l'aérodrome. Il s'agit de situations très particulières pour lesquelles il est fréquent qu'une tour contrôle le ballet.

V-1 LA NAISSANCE DU CONTROLE AERIEN [B5]

La seconde guerre mondiale voit la naissance réelle du contrôle aérien moderne qui s'appuie sur des nouvelles inventions.

Les anglais, lors de la bataille d'Angleterre, jettent les bases du système en guidant au radar les escadrilles alliées vers les bombardiers allemands. Le Bomber Command installe des tours de contrôle pour organiser les départs comme les retours des escadrilles de lourds quadrimoteurs. Nous avons là les deux pôles du contrôle : Le centre de contrôle en route et le centre de contrôle d'approche.



FIG.V.1 – Salle des téléscripteurs au CRNA en 1952.

En pleine guerre, les alliés pensent à l'avenir et jettent les bases de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) lors de la conférence de Chicago à laquelle participent 52 états. Cette réunion débouchera, le 7 décembre 1944, sur la signature d'une convention relative à l'aviation civile qui établit un système de droit applicable à la navigation et au transport aérien. L'OACI a pour mission de veiller à l'application de la Convention de Chicago. Elle s'efforce de mettre en pratique un plan de coopération mondiale qui concerne les domaines judiciaires, techniques et économiques.

Dans le domaine du contrôle de la circulation aérienne, elle continue d'établir les règles de l'air et les procédures d'exploitation. Elle définit les dogmes du contrôle de la circulation aérienne qui sont toujours d'actualité :

- Empêcher les collisions entre aéronefs.
- Empêcher les collisions sur l'aire de manœuvre.
- Accélérer et régulariser la circulation aérienne.
- Fournir des renseignements utiles à l'exécution sûre des vols.
- Alerter les organismes appropriés lorsque les aéronefs ont besoin de secours.

Ces dispositions se traduisent par la fourniture de trois services: Le contrôle, l'information et l'alerte. La navigation fait lors de la guerre de prodigieux progrès qui conduisent tout droit au contrôle des trajectoires des aéronefs.



Chapitre V la naissance et la modernisation du contrôle aérien

La radionavigation : Les liaisons air-sol en phonie tentent de remplacer la graphie et l'anglais va s'imposer comme langue internationale de l'aéronautique. Très vite, différents moyens furent mis au point :

Le CONSOL : Les Allemands imaginent pendant la guerre un radiophare à enchevêtrement et à champ tournant complexe destiné à la navigation à grande distance nommé CONSOL. Il est repris et perfectionné par les Anglais. Il reste sensible aux parasites et oblige l'équipage à utiliser des cartes spéciales.

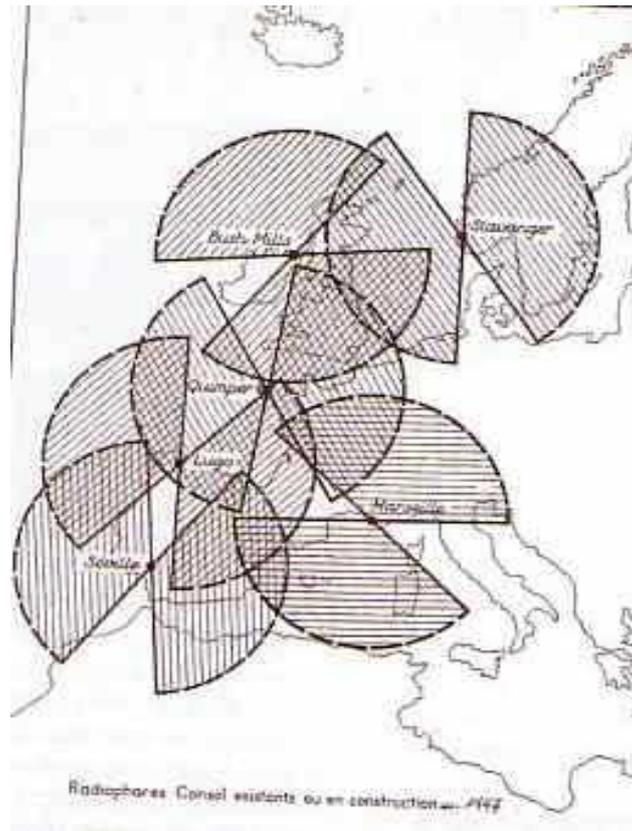


FIG.V.2 – Carte des 6 radiophares CONSOL

Le LORAN (LOng RANGE Navigation) : Imaginé par les Américains, c'est un système de navigation à grande distance, hyperbolique à impulsions qui nécessite deux stations au sol. D'une précision légèrement supérieure au CONSOL, il nécessite un matériel de bord plus lourd et absorbe une grande plage de longueur d'onde pour chaque émission.

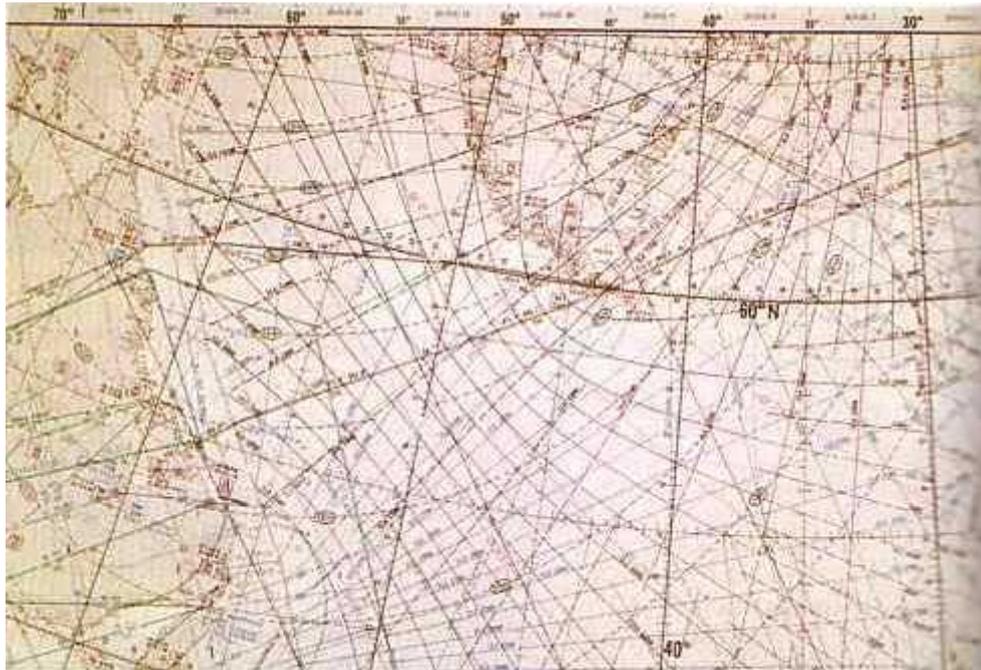


FIG.V.3 – Carte LORAN de navigation hyperbolique

Le GEE : C'est le nom de code du système anglais TR1335 basé comme pour le LORAN sur le recoupement des hyperboles. Il nécessite trois émetteurs: Un maître et deux esclaves disposés dans un triangle de 300 km de côté.

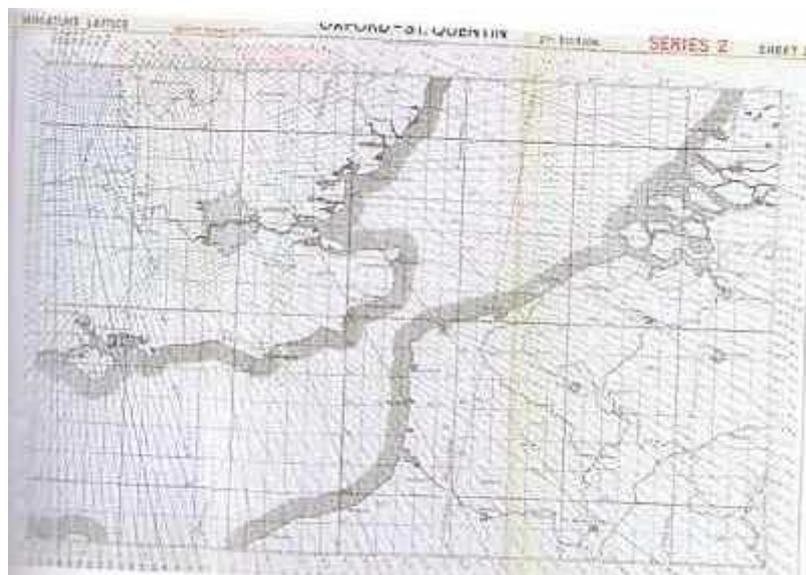


FIG.V. 4 – Carte de navigation GEE

Le DECCA : La Grande Bretagne continue ses recherches sur les ondes hyperboliques et met au point le DECCA qui fut utilisé pour le débarquement allié en Normandie en 1944. Ce principe est basé sur l'évaluation d'une différence de phase de deux ondes émises en même temps de deux positions différentes. La Grande Bretagne impose par la suite ce système de navigation pour tous les avions et navires à destination du Royaume.

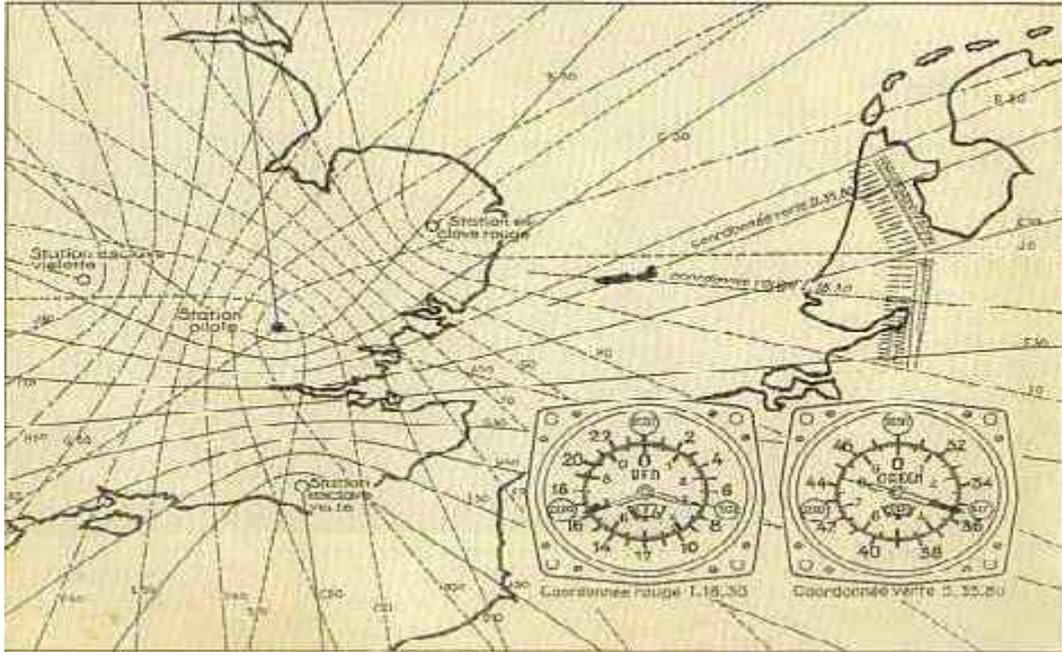


FIG.V.5 – Carte DECCA en 1950.

Sans être parfaits, ces systèmes permettent aux aéronefs de maintenir une trajectoire et donc d'être espacés.

Le RADAR : Le RADAR (RADio Detection And Ranging) repose sur le principe d'envoi d'impulsions électriques au rythme de 300 à 400 par seconde par un émetteur dont la puissance est de plusieurs centaines de kW, sur des fréquences entre 1000 et 3000 MHz. Ces impulsions se réfléchissent sur la surface de l'avion et reviennent très affaiblies à leur point de départ. L'intervalle de temps entre le départ et le retour de l'impulsion donne la distance de l'écho. Il faut naturellement un système de visualisation (l'écran) qui positionne les échos. Par contre, l'altitude reste inconnue.

Le radar trouve une application sur les terrains avec le GCA (Ground Controlled Approach). Ce système se base sur deux radars. Le SRE (Surveillance Radar Equipment) permet de guider l'aéronef depuis l'attente vers l'axe d'atterrissage puis le PAR (Precision Approach Radar) guide l'avion sur un plan fictif de descente jusqu'à l'atterrissage.

Du point de vue strictement militaire, on peut échapper au radar en le parasitant par de faux échos ou en volant près des reliefs. Mais, pour l'aviation civile, il permet de réguler les flux aux abords des aéroports et de se poser par tous les temps.

La radio : La VHF est choisie pour communiquer en radiotéléphonie, des stations relais sont implantées partout armées par des radios. Les antennes directionnelles vont les supprimer. Les contrôleurs vont peu à peu parler directement aux avions en VHF pour une question de rapidité d'exécution. Le corps des radios va disparaître en métropole, plus lentement aux colonies.



FIG.V.6 – Poste de contrôle en vigie

Le "plotting" : A partir des données transmises par les pilotes, le contrôleur en route essaye de visualiser ses avions. Pour ce faire, il utilise une carte posée sur une table ou accrochée à un mur. Les avions sont matérialisés par des aimants qui portent sur une étiquette l'indicatif de l'appareil et une tige qui indique la direction. Cette tige (ou vecteur) possède une longueur qui est en fonction de la vitesse de l'appareil et qui représente ainsi la position 15 minutes plus tard. Le contrôleur détecte ainsi les risques de collision et ordonne des changements d'altitude ou de route aux pilotes.



FIG.V.7 – Table de plotting

Le strip : C'est une bande de papier sur laquelle sont inscrits les éléments de l'avion : Indicatif, type d'appareil, vitesse, route, destination, altitude ainsi que des cases prévues pour noter les heures de passage de l'avion à différents points. Ces strips sont analysés par le contrôleur du secteur et il détecte par comparaison les conflits possibles. Cette méthode s'appelle le contrôle aux procédures. Elle est toujours en vigueur dans les centres non radar.



FIG.V.8 – Tableau des strips

V-2 LA MODERNISATION DU CONTROLE

Avec l'apparition des avions à réaction comme le Comet, le plotting est complètement dépassé. Il est abandonné en suit. C'est le radar puis l'automatisation qui vont servir de base au contrôle aérien.

LES EQUIPEMENTS DE RADIONAVIGATION : [B6]

Le VOR (VHF Omnidirectional Range) : Le VOR donne aux équipages le radial de navigation. Les VOR jalonnent les voies aériennes assurant une radionavigation précise. En 1957 apparaît le DME (Distance Measuring Equipment) qui est couplé au VOR, donne en plus du relèvement une distance par rapport à la balise.

Dans les Centres de Contrôle d'Approche, l'ILS (Instrument Landing System) assure le guidage des avions jusqu'au sol par mauvais temps. Les procédures d'approche sont basées sur les VOR pour guider les avions jusqu'à l'ILS.

Tous les grands terrains seront équipés d'ILS de plus en plus performants. Sur les bases militaires, le PAR reste en vigueur. Un ILS est trop facilement repérable. De plus, en cas de conflit, les contrôleurs doivent s'entraîner à faire atterrir par tous les temps les avions d'armes au radar.

LES RADARS : Au début, les contrôleurs se servent du radar comme un outil de surveillance. Ils constatent les croisements et anticipent leurs instructions. L'augmentation du trafic transforme le radar de surveillance en radar de contrôle afin de réduire les séparations entre les aéronefs.

En contrôle aux procédures, ils sont de l'ordre de 10 minutes soit 45 milles nautiques (noté NM, 1 NM = 1.852 km) pour les premiers jets.

Le radar primaire permet de réduire cette séparation à 20 NM et de doubler la capacité du contrôle aérien. Cependant, le radar primaire génère beaucoup d'échos parasites.

La solution vient des Etats-Unis avec la création du radar secondaire en 1961. Il reprend le principe de l'IFF (Identification Friend or Foe). Les avions amis répondent suivant un code aux impulsions radar (pas l'ennemi). Pour les civils, un code alloué à chaque avion autorise une identification parfaite sans parasite.



FIG.V.9 – Ecran d'un radar de surveillance secondaire



V-2-1 L'AUTOMATISATION DU CONTROLE AERIEN [W5]

L'automatisation consiste à transférer à un système (totalement ou partiellement) des tâches effectuées jusqu'à présent par un opérateur humain. Tant que l'automatisation n'est pas totale, l'opérateur garde un rôle et on parlera d'assistance automatisées.

La simple apparition du radar peut être déjà considérée, dans ce cadre comme une forme élémentaire d'automatisation. L'automatisation n'est donc pas une opération « tout ou rien », mais bien un processus qui a ses racines d'origines du contrôle aérien et continue depuis sa lente progression. Dès 1960, les ingénieurs de la navigation aérienne lancent le programme CAUTRA (Coordonnateur automatique du Trafic Aérien).

CAUTRA 1 (1961-1965) imprime automatiquement les strips et les données sont enregistrées sur cartes perforées.

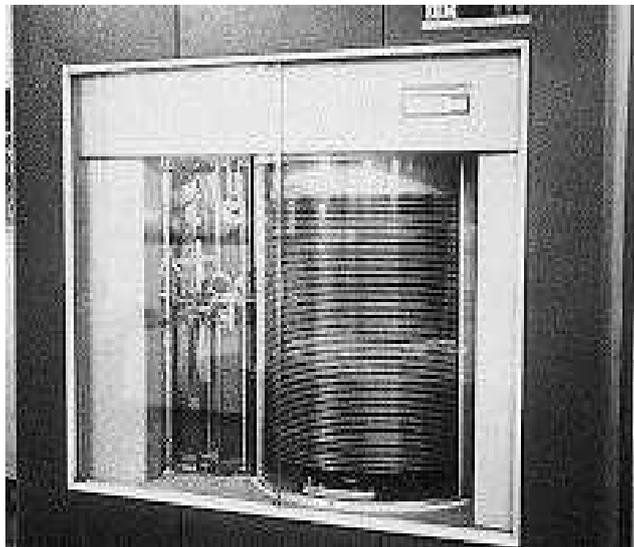


FIG.V.10 – Mémoire à disques du premier CAUTRA

Le CAUTRA 2 (1966-1972) permet l'envoi de strips. Mais surtout, il jette les bases des systèmes de traitement radar qui autorisent la corrélation entre le plan de vol et l'image radar. Sur son écran le contrôleur voit ainsi une étiquette associée à l'écho. Cette étiquette identifie l'aéronef.

Le CAUTRA 3 (1973-1985). La séparation entre aéronefs descend à 10 NM. La coordination entre secteurs de contrôle est automatisée par ordinateur. En 1978 apparaît le filet de sauvegarde. Quand deux échos se rapprochent dangereusement, leurs étiquettes radar clignotent pour alerter le contrôleur. L'étiquette indique en plus la vitesse et l'altitude de l'aéronef. Les routes aériennes sont visualisées sur l'écran.



FIG.V.13 – Nouveaux postes informatiques

De nouveaux outils informatiques sont régulièrement mis au point afin de faciliter la tâche du contrôleur sur sa position de travail. Quelques-uns d'entre eux sont décrits ci-après :

L'écran ARTEMIS téléphone: Sur la position de contrôle, les grosses touches ont été remplacées par une page de touches sur un écran tactile. Les avantages sont multiples : Les touches ne peuvent plus rester bloquées, mais surtout, la configuration des touches est automatiquement adaptée au secteur sur lequel on est. En effet, si on travaille sur un secteur en interface avec le centre de contrôle de Madrid, il est inutile d'avoir les touches permettant de joindre Londres ! Voilà pourquoi les configurations-types ont été élaborées pour chaque secteur de contrôle (ou regroupement de secteurs) afin d'être le plus utile et fonctionnel possible.



FIG.V.14 – Ecran ARTEMIS

La chaîne d'information CIGALE : est une nouvelle chaîne d'information que l'on peut consulter sur la position de contrôle, sur un écran 15 pouces situé en hauteur. On y accède à toutes les informations dont le contrôleur peut avoir besoin en temps réel :

- Indicateurs d'emplacements mondiaux.
- Météo des terrains et des régions (cartes satellites).
- Nom et position des zones militaires.
- Performances avions.
- Horaires des aérodromes de la FIR, etc...

Chapitre V la naissance et la modernisation du contrôle aérien

La grande nouveauté de CIGALE réside dans le fait que la consultation se fait via une souris, avec utilisation massive de liens hypertextes pour une navigation rapide et facile. De plus, le renseignement des pages (sur quelques postes de composition dûment autorisés) est plus aisé. C'est un Pentium III qui est au centre de l'unité centrale qui pilote chaque écran de CIGALE.



FIG. V.15 – Ecran CIGALE

L'écran DIGITATRON : Le terme "digitatron" désigne depuis longtemps déjà les périphériques tactiles de saisie et de modification des plans de vol machine (PLNM), c'est à dire la représentation d'un plan de vol qu'en ont les calculateurs qui gèrent les plans de vol déposés (FPL) des usagers en fonction des réseaux de routes qui existent et des contraintes opérationnelles à côté desquelles les opérateurs aériens (OA) passent parfois par erreur. Créer ainsi ex nihilo ou modifier un plan de vol est déroutant de faciliter. Avant de dérouter vol, il convient cependant de vérifier auprès de l'organisme de régulation local FMP (Flow Management Position) que la nouvelle route ne fait pas passer le vol dans un volume d'espace déjà régulé (donc plein comme un œuf).

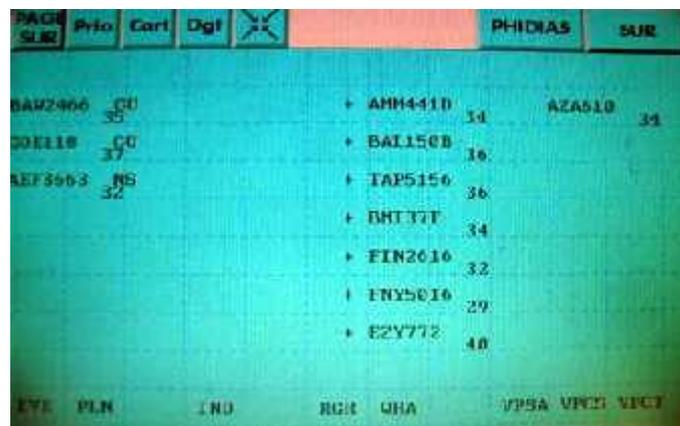


FIG.V.16 – Ecran d'un digitatron



L'écran TID : C'est un périphérique tactile sur la position de contrôle.



FIG.V.17 – Ecran TID

Il permet notamment de régler l'écran de visualisation radar (zoom + ou -, centrage) mais possède aussi d'autres fonctions bien utiles en temps réel :

- Mémorisation des réglages d'écran (touche MEMO)
- Rappel de la mémorisation de réglages d'écran (PERSO)

CONF STD : Configuration standard des réglages d'écran pour le secteur nominale attribué à cette position de contrôle. Mais comme on peut installer n'importe quel secteur (ou presque) sur toutes les positions présentes en salle de contrôle, cette fonction est peu utilisée.



VI-1 Introduction

Le terme navigation vient du latin (navigatio) [W6], art de diriger un navire. La navigation est l'ensemble des techniques qui permettent de maîtriser les déplacements.

La pratique de la navigation demande à la fois, une connaissance des théories qui la régissent, une solide expérience et du jugement personnel.

La Navigation d'aujourd'hui prend non seulement en considération les anciennes méthodes, mais elle utilise de nouvelles techniques (Ondes Électromagnétiques, radiocommunication, etc.)

VI-2 Trigonométrie

Ses applications sont nombreuses: arpentage (mesure de la superficie des terres), topographie (relevé et description des lieux), sylviculture (hauteur des arbres par exemple), navigation, électricité (l'intensité du courant alternatif est exprimée à l'aide du sinus) et bien sûr aviation.

Le mot « tangente » vient du latin "tangere" qui signifie toucher. La tangente a été inventée par un égyptien au début du Xe siècle. C'est l'outil idéal pour mesurer des hauteurs

VI-3 L'orientation

La Terre est une sphère légèrement aplatie aux pôles, de 40 000 km de circonférence. De rayon $R = 6\,367$ km. Elle tourne autour du soleil en 365,25 jours et sur elle-même en 24 heures.

Coordonnées géographiques : [B7]

- Petit cercle : ligne d'intersection entre la Terre et un plan parallèle au plan de l'équateur (ou perpendiculaire à l'axe nord-sud) ne passant pas par son centre. Un parallèle est un petit cercle.
- Grand cercle : ligne d'intersection entre la Terre et un plan passant par son centre (ex : équateur)
- Méridiens : demis grands cercles passant par les pôles. Méridien de référence : méridien de Greenwich
- Parallèles : petits cercles parallèles à l'équateur. Ils ont le centre de la Terre pour centre. Parallèle de référence : l'équateur

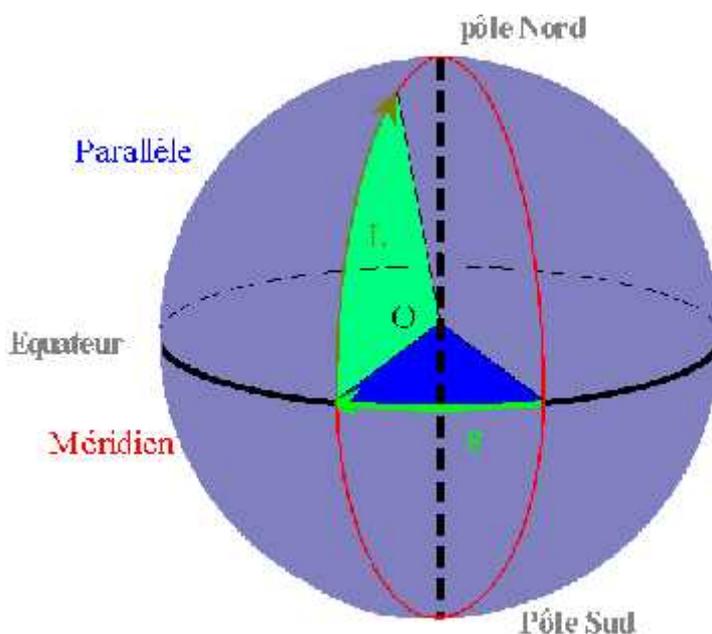


Figure.VI.1 - Les coordonnées géographiques.

Les coordonnées géographiques d'un point sont :

- **La latitude L** : distance qui sépare un point de l'équateur. Elle est mesurée par la longueur de l'arc de méridien passant par ce point ou par l'angle formé par le rayon terrestre passant par ce point et le plan de l'équateur. La latitude est mesurée en degrés et minutes sexagésimaux et est exprimée de 0 à 90° nord (N) ou sud (S). □□□
- **La longitude G** : distance mesurée sur l'équateur entre le méridien de Greenwich et le méridien passant par ce point. Elle est mesurée par la longueur du plus petit arc d'équateur compris entre ces 2 méridiens. La longitude est mesurée en degrés et minutes sexagésimaux et est exprimée de 0 à 180° est (E) ou ouest (W)

Les coordonnées géographiques sont exprimées par 2 groupes de chiffres (la latitude et la longitude), le premier groupe de chiffres étant toujours la latitude. Ex : Paris 4851 N 0221 E.

Longueur d'un arc de Parallèle de latitude L



NM: Nautical Mile { 1 minute d'arc = 1 NM (valide pour les grands cercles)

1 NM = 40 000 / (360 * 60) = 1,852 km (la Terre a une circonférence de 40 000 km)

Pour le calcul de distance qui sépare deux points des petits cercles, on va utiliser la latitude et la longitude des deux points.

On cherche à calculer la longueur ab d'un arc de parallèle situé à la latitude L et intercepté par 2 méridiens séparés par un écart de longitude g.

AB est un arc de grand cercle (équateur). Sa longueur exprimée en NM est égale à AOB exprimé en minutes d'angle.

$$\widehat{AOB} = g \quad \text{donc} \quad \widehat{AB}^{NM} = g'$$

Les secteurs angulaires AOB et aO'b sont semblables.

$$\frac{ab}{AB} = \frac{O'b}{OB} \quad O'b = Ob \cos L = R \cos L \quad OB = R$$

$$ab = AB \frac{R \cos L}{R} = AB \cos L$$

$$ab^{NM} = g' \cos L$$

La longueur d'un arc de parallèle situé à latitude L, exprimé en NM est égale à la différence de longitude entre ces deux points exprimés en minute multipliée par le cosinus de la latitude.



Figure.VI.3 - Les différents angles d'orientations.

- La route vraie (ou route géographique): La Route est la trace au sol de la trajectoire de l'avion. Elle est définie par :

Une distance (départ arrivée), mesurée à l'aide d'une règle graduée en NM et en reportant les distances le long du méridien à l'aide d'un crayon l'angle formé avec le méridien (c.-à-d. le nord géographique ou nord vrai) : l'angle de route vraie ou route vraie (Rv), mesuré à l'aide d'un rapporteur (centre du rapporteur à l'intersection de la route avec un méridien, puis lire la route en prenant le méridien comme origine)

La déclinaison magnétique est par convention positive lorsqu'elle est "Est" et négative lorsqu'elle est "Ouest".

Nous obtenons donc :

- Avec une déclinaison magnétique Est (E) :
 - Route vraie (Rv) = Route magnétique (Rm) + Déclinaison magnétique (Dm).
 - Route magnétique (Rm) = Route vraie (Rv) - Déclinaison magnétique (Dm).
- Avec une déclinaison magnétique Ouest (W) :
 - Route vraie (Rv) = Route magnétique (Rm) - Déclinaison magnétique (Dm).



- Route magnétique (Rm) = Route vraie (Rv) + Déclinaison magnétique (Dm).

VI-4 Le triangle de vitesses

Généralités : Un avion en vol se déplace dans une masse d'air, laquelle est en mouvement par rapport à la terre. Nous avons donc à tout moment : [W7]

Vitesse avion par rapport à la terre = vitesse avion par rapport à l'air + vitesse de l'air par rapport à la terre

Soit : Vitesse sol = vitesse propre + vent

$$\vec{V}_S = \vec{V}_P + \vec{V}_W$$

Le vent v_w : Il est exprimé par un groupe de deux nombres. Le premier représente la direction d'où souffle le vent par rapport au nord vrai. Le deuxième traduit la force du vent, exprimé généralement en nœuds, parfois en kilomètres heure.

Exemple : v_w 270 /40 = vent d'ouest de force 40 kts
 045 /50 km /h = vent du nord est, force 50 km /h .

Dans le triangle des vitesses le vecteur vent est représenté par un segment de droite portant 3 flèches.

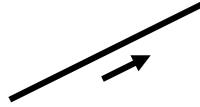


Au départ d'un vol le pilote dispose grâce aux cartes fournies par le service météo d'un vent estimé à différents niveaux(5 000 ,10 000,30 000,34 000 et 39 000 ft) .on sait que le vent est parallèle aux isobares et que dans l'hémisphère nord il laisse les basses pression à sa gauche (Loi de buys-ballot).donc on voyant les cartes on connaît la direction du vent et d'autre part la force du vent est indiquée régulièrement par une ligne reliant tous les points de même force (ligne isotach).parfois le vent est directement représenté sur ces cartes en direction et en force. Il faut bien sûr connaître la valeur des différents symboles.

Si le vol se déroule à une altitude pour laquelle on ne dispose pas de prévision on peut, soit prendre la valeur du vent sur 2 cartes encadrant le niveau de vol, soit prendre le vent sur la carte la plus proche et admettre que le vent varie environ de 5% par 1 000 ft. La vitesse propre v_p : C'est la vitesse de l'avion par rapport à la masse d'air dans laquelle il se déplace. La notation



anglaise est TAS (True Air Speed), dans le triangle des vitesses on la représente symboliquement par un segment de droite portant une flèche

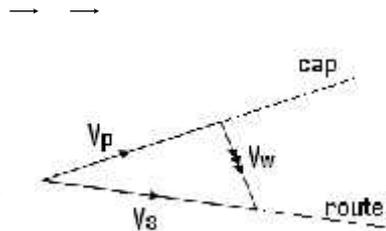


La vitesse propre est portée par l'axe de l'avion, c.-à-d. par le cap de l'avion. Elle est connue en vol à partir de la lecture soit de l'anémomètre ou badin, soit du machmètre.

La vitesse sol : C'est la somme vectorielle de

$$\vec{V}_s = \vec{V}_p + \vec{V}_w$$

On la représente par un segment de droite port:

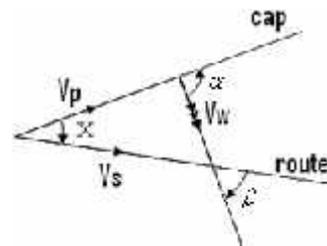


La direction de \vec{V}_s définit la route de l'avion.

Le triangle $(\vec{V}_p, \vec{V}_w, \vec{V}_s)$ s'appelle le triangle des vitesses.

Les angles du triangle de vitesses

$x =$ dérive



La dérive est droite ou positive si pour «amener» le cap sur la route il faut tourner à droite.

$r =$ Gisement du vent

$S =$ Angle au vent.

VI-5 La mesure du temps

Calcul du temps sans vent

Pour faciliter le calcul au pilote on fait appelle à la notion de facteur de base.

- **Le facteur de base [W7]:** C'est un coefficient multiplicateur sans dimension qui permet de calculer les caractéristiques aérodynamiques d'un mobile. Le facteur de base varie en fonction de la vitesse de l'avion.

$$Fb = 60 / Vp$$

Fb : facteur de base

Vp : vitesse propre de l'avion par rapport à la masse d'air



- **Le temps sans vent :** Le temps sans vent (TSV) est le temps que va mettre un avion pour aller d'un point A vers un point B sans vent. Sa vitesse par rapport au sol (Vitesse sol, V_s) est égale à sa vitesse propre (V_p).

$$TSV = D * F_b$$

TSV : temps en minutes

D : distance entre deux points en milles nautiques (NM)

F_b : facteur de Base

- **Influence du vent :** Vent effectif (parallèle à la route): accélère ou freine le déplacement de l'avion par rapport au sol selon qu'il est arrière ou de face. S'il est connu avant le vol, veillé particulièrement aux limitations au décollage et à l'atterrissage, ainsi qu'aux prévisions d'emport de carburant lors de la préparation du voyage. Vitesse sol = vitesse propre +/- vent effectif (+ : vent arrière, - : vent de face)

V_e (vent effectif) = V_w (force du vent) x cosinus de l'angle au vent

Vent traversier (perpendiculaire à la route) : fait dériver l'avion. Il faut effectuer une correction de cap égale à la valeur de la dérive. Le nez de l'avion doit toujours être du côté du vent.

La dérive est l'écart entre la route suivie et le cap. Sa valeur est proportionnelle à la force du vent traversier et inversement proportionnelle à la vitesse propre de l'avion.

X_{max} (dérive max) = F_b (facteur de base) x Force du vent (en noeuds).

X (dérive) = X_{max} (dérive max) x sinus de l'angle au vent.

- **La mesure des vitesses**

L'unité de vitesse est le mille nautique par heure nommé le noeud et noté Kt.

1 Kt = 1 NM/heure = 1 852 m/heure

- **Les radiales :** Les radiales sont des axes radioélectriques qui sont repérés par leur mesure angulaire à partir du Nord magnétique. Ils sont générés par une balise radioélectrique. Une balise radioélectrique permet de définir 360 radiales de 0° à 360° . Le pilote veut suivre le radial 045, le vent est de 320° pour 20 kt, il estime sa dérive à 15° droite.

Pour suivre La route magnétique 045, il doit prendre le cap $045 - 15 = 030$.



VI-6 Les méthodes de navigation

[W8]

➤ L'estime

C'est la méthode de base enseignée dans les écoles de loisir comme les écoles professionnelles.

L'estime consiste à déterminer le cap à prendre pour rejoindre un point caractéristique connaissant la position de départ ou à déterminer la position de l'avion connaissant son cap. Elle est utilisée lorsque le pilote veut joindre 2 points en utilisant la ligne droite.

En vol, le pilote compare la dérive et le temps mis pour parcourir la distance entre deux repères avec la dérive et le temps prévus (en fonction du vent) lors de la préparation du vol et fait éventuellement une nouvelle estimation pour le tronçon suivant.

A l'heure prévue on doit survoler le point prévu si le cap a été maintenu.

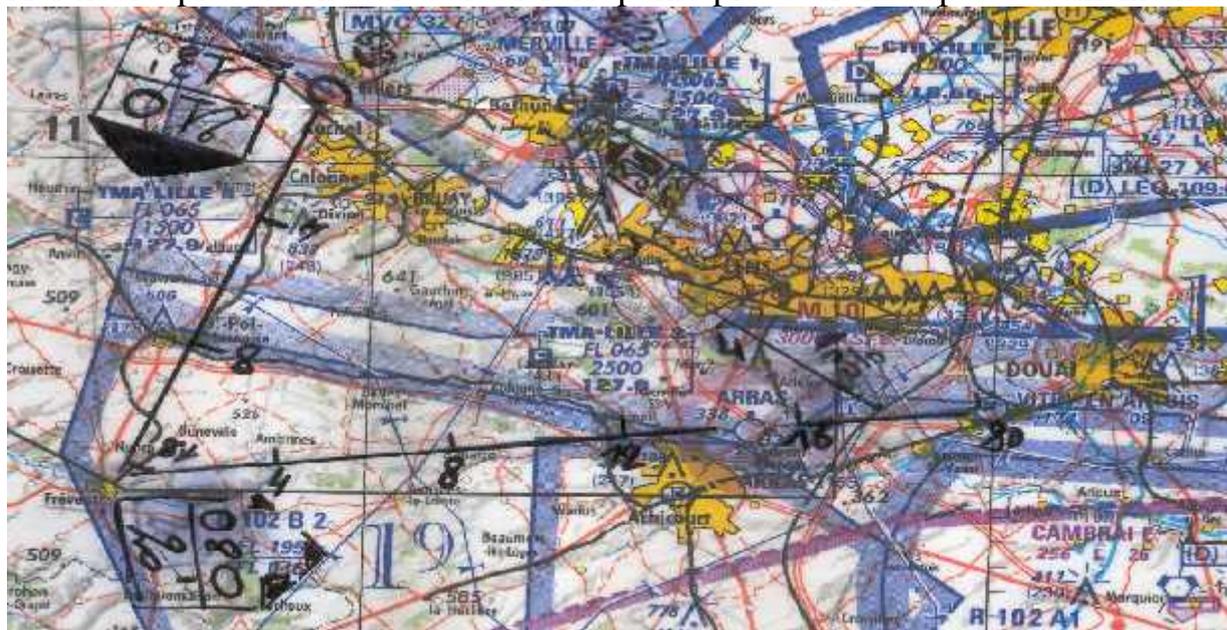


Figure.VI.4 - La navigation à l'estime.

➤ Le cheminement à vue

Le cheminement consiste à suivre des lignes naturelles caractéristiques bien visibles et reconnaissables (Fleuves, autoroutes, côtes, voies ferrées importantes). Il faut toujours déplacer à droite du repère (le pilote est assis à gauche).

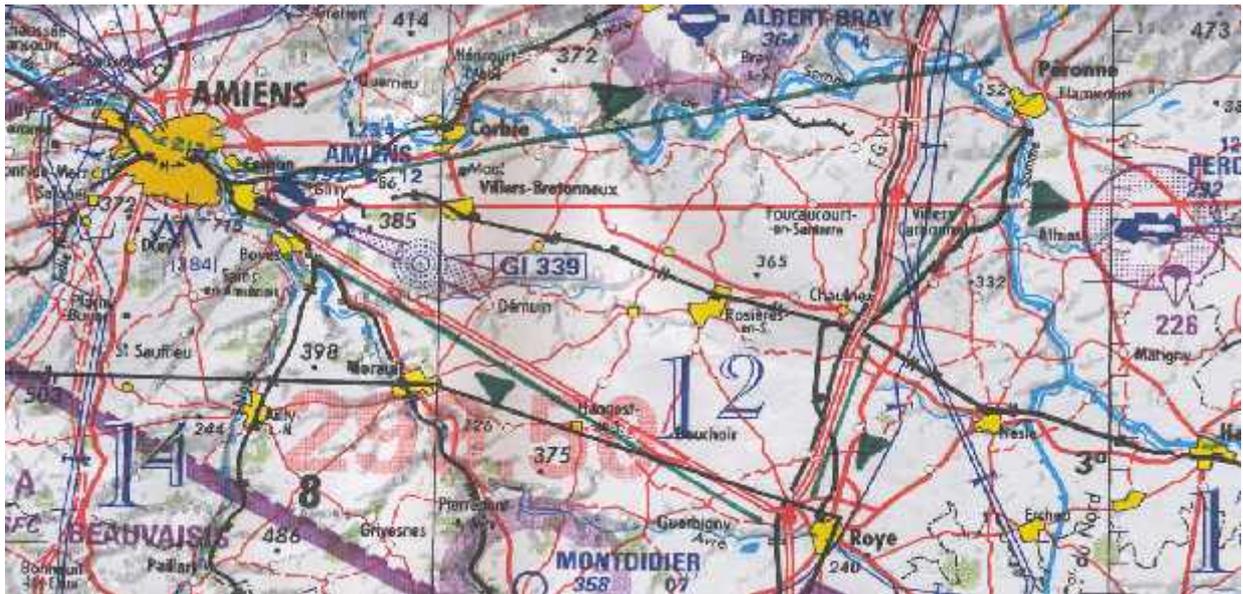


Figure.VI.5 - Le cheminement a vue.

➤ **Le cheminement radionav**

Il se pratique dans le même esprit que le cheminement à vue mais utilise des balises de RN (VOR et radiocompas) comme points de repère. On note la fréquence des balises et le radial (ou QDM) que l'on désire suivre et on passe ainsi de balise en balise jusqu'à la destination.

Il faut être très prudent car les balises sont destinées à l'origine aux avions en IFR et il est donc très important de ne pas interférer avec eux (altitude ou FL de vol et contact radio dans les zones contrôlées).



Figure.VI.6 - Le cheminement radionav.

**VI-7 Conclusion**

La navigation a bénéficié des progrès des mathématiques et particulièrement la géométrie. Les formulations parfois simples et parfois compliquées, sont facilement utilisables. Les anciens ont basé leur navigation sur les étoiles et d'autres repères faiblement précis (eau, reliefs, etc....), ce qui leur exigeait une longue expérience.



VII-1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons développer un outil numérique qui sera une aide au contrôleur aérien et au pilote au même temps. Il permettra :

- De décharger le pilote et le navigateur de ces opérations archaïques.
- De décharger le contrôleur aérien de certaines de ses tâches (la détection du conflit).
- Diminuer le risque d'erreur humaine.

VII-2 Méthodologie

A cet effet nous nous sommes fixés comme objectif de réaliser un système informatique qui permettra de réaliser toutes les tâches citées en dessus. Le système dénommé « ATC » que l'on va développer doit fonctionner de la manière suivante :

➤ Données :

- Données à saisir :
 - Le nombre des vols prévus pour une journée.
 - ❖ Les informations concernant chaque vol :
 - indicatif d'avion.
 - type de l'avion.
 - aéroport de départ
 - aéroport d'arrivée.
 - vitesse de l'avion.
 - niveau de vol.
 - force et direction de vent.
 - route à suivre balise par balise.
 - changement de niveau de vol.
 - S'il y a des changements, alors combien y a-t-il, sur quelle balise se font ces changements et les nouveaux FL.
- Données qui s'affichent automatiquement :
 - heure d'arrivée de chaque vol.
 - vent effectif.
 - dérives max.
 - dérives réelles.
 - caps.
 - routes.
 - avions en conflit s'il existe.
 - heure de conflit.





➤ **Traitement :**

La fiabilité de ATC est un souci majeur, pour cela il dispose d'un nombre important des contrôles de cohérence, on peut citer entre autres :

Dans la saisie des paramètres, ATC indique l'erreur et refuse de l'accepter tant qu'elle n'est pas corrigée.

▪ **Résultats :**

- Edition du tracé du trajet de chaque vol (Cheminement).
- Edition des messages contenant Les valeurs déjà saisies.
- Ainsi que les valeurs calculées (cap vrai, route vraie, le temps d'arrivée...)
- Edition des conflits s'ils existent ainsi que les avions en conflits et l'heure de ce dernier.

Unités et conversions

La Terre est une sphère légèrement aplatie aux pôles, de 40 000 km de circonférence.

NM: Nautical Mile.

{ 1 NM = 40 000 / (360 * 60) = 1,852 km

KT: Nœud 1 KT = 1 NM/heure = 1,852 Km/heure

' : Minute (unité de mesure des angles)

'' : Seconde

Mn: Minute.

Système horaire : L'heure UTC est utilisée pour le contrôle, pour les moyens de télécommunications ainsi que dans les documents publiés par le service de l'information aéronautique algérien. L'heure légale en Algérie est exprimée en UTC + 60 Min.

VII-3 Les différents Symboles

Les types d'avions : [W9]

B737	Boeing B737
ATR	ATR 72-500
CASA	Casa C-101
HERCULE	L382G HERCULE (C130)
A330	Airbus A330





Les aérodromes : [10]

DAUA	ADRAR/Touat-Cheikh Sidi Mohamed Belkebir DAUA
DAAG	ALGER/Houari Boumediene
DABB	ANNABA/Rabah Bitat
DABT	BATNA/Mostépha Ben Boulaid
DAAE	BEJAIA/Soummam-Abane Ramdane
DAOR	BECHAR/Boudghene Ben Ali Lotfi
DATM	BORDJ BAJI MOKHTAR
DAAD	BOU SAADA
DAUB	BISKRA/Mohamed Khider
DAOI	CHLEF
DABC	CONSTANTINE/Mohamed Boudiaf
DAAJ	DJANET/Tiska
DAUE	EL GOLEA
DAUO	EL OUED/Guemar
DAUG	GHARDAIA/Noumerat-Moufdi Zakaria
DAOV	GHRISS
DAUH	H.MESSAOUD/Oued Irara-Krim Belkacem
DAAP	ILLIZI/Takhamalt
DATG	IN GUEZZAM
DAUI	IN SALAH
DAAV	JIJEL/Ferhat ABBAS
DAOO	ORAN/Es Sénia
DAUU	OUARGLA
DAAS	SETIF/8 MAI 45
DAAT	TAMANRASSET/Aguenar
DABS	TEBESSA/Cheikh Larbi Tébessi
DAOB	TIARET/Abdelhafid Boussouf Bou Chekif
DAUT	TIMIMOUN





DAOF	Tindouf
DAON	TLEMCEM/Zenata-Messali El Hadj
DAUK	TOUGGOURT/Sidi Mahdi
DAUZ	ZARZAITINE/Ine Amenas

Les balises:[W10]

MOS	MOSTAGHANEM
TRB	TIARET
BSA	BOUSADA
ANB	ANNABA
TBS	TEBESSA
ELO	EL OUD
BAY	BAYED
GHA	GHARDAYA
MSD	HASSI MESEOUD
OURGLA	OURGLA
BCR	BECHAR
MEA	MENEA
ZAR	AIN AMINAS
BOD	BORDJ OMAR DRISS
TIO	TIMIMOUN
ADR	ADDRAR
SAH	AIN SALAH
TDF	TINDOUF
ILZ	ILLIZI
DJA	DJANET
TAM	TAMANRASSET
BJA	BEJAYA
MOK	BORDJ BAJI MOKHTAR





ALR	ALGER
IGZ	AIN GHEZAM
TGU	TOUGGOURT
HKI	HASSI KHEBI
BISKRA	POINT DE REPORT (VOR)
Amira	POINT FICTIF (point entrée et sortie)
Nadji	POINT FICTIF (point entrée et sortie)
Rtila	POINT FICTIF (point entrée et sortie)
Melog	POINT FICTIF (point entrée et sortie)
DJI	JIJEL
ORA	ORAN
CSO	CONSTANTINE
CHE	CHERCHELL
INC	INCONNU
RGN	REGANE

VII-4 difficultés rencontrées

-Le plus grand problème que nous avons rencontré dans ce travail est celui de la collecte de l'information. On a voulu prendre comme exemple pour réaliser ce travail les aéroports militaires avec toutes les procédures dans l'aviation militaire, mais pour des raisons de sécurité cela n'a pas été possible.

-Dans l'impossibilité d'avoir une carte Jeppesen numérique ; on a été dans l'obligation de scanner une carte, raison pour laquelle on a une qualité d'image médiocre nous avons été dans l'obligation de la redessiner manuellement.

-Concernant les unités et leur conversion. Le problème est que dans les Ecoles d'entraînement, on utilise toujours le système francophone, tandis que dans l'Aviation Civile on utilise le système anglo-saxon (comme c'est le cas d'Air Algérie)

On a donc choisit pour notre application le système anglo-saxon parce qu'il a une relation directe avec les angles, donc il est plus précis surtout lorsqu'il s'agit des grandes aires car l'effet de la sphéricité de la terre et bien pris en compte (Echelle internationale).





VII- 5 Outil de développement

L'outil utilisé pour développer ATC est :

Langage de programmation **Matlab** [B8], [W10], [W11] : MATLAB est à la fois un langage de programmation et un environnement de développement développé et commercialisé par la société américaine The Math Works. MATLAB est utilisé dans les domaines de l'éducation, de la recherche et de l'industrie pour le calcul numérique mais aussi dans les phases de développement de projets.

VII-6 Utilisation du Logiciel « ATC »

Le but de ce logiciel est de faciliter le travail au pilote et au contrôleur aérien.

- ❖ **Etape 1** :(données à saisir: entrées).
 - Le nombre des vols planifiés pour toute une journée (les missions de navigations effectuées) dans un aéroclub, compagnie aérienne...etc.
 - Les informations concernant chaque vol : le type d'avion, l'indicatif de l'avion, l'aérodrome de départ, l'aérodrome d'arrivée, bien sur l'heure de départ, la vitesse de croisière, le niveau de vol, la route à suivre...etc.
 - Les informations concernant la météo : la force et la direction du vent.





```

MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
Current Directory: C:\Program Files\MATLAB71\work
Shortcuts How to Add What's New

bonjour ,combien y a t-il de vol ?
veuillez entrer les informations concernant le vol N° 1:
le type de l'avion N°1 : 'B737'
indicatif de l'avion N°1: '7T-VJM '
l'aerodrome de depart de l'avion N°1 : 'DLAG'
l'aerodrome d'arrivee de l'avion N°1 : 'DAGF'
l'heure de decollage de l'avion N°1 sous la forme Heure/Minute
heur:1
minute:30
la vitesse de croisiere de l'avion N°1 en Kt: 460
le niveau de vol de l'avion N°1 : FL 330
voulez vous changer des donnees?'non'
entrer la route a suivre kalise par balise pour le vol N°1 :
combien de balise existe dans cette route (vol N°1) 73
entrer la balise N°1 : 'BCF'
entrer la balise N°2 : 'HEI'
entrer la balise N°3 : 'TDF'
la force du vent en kt :12
la direction du vent:230
est-ce que il y'a un changement de niveau de vol(FL) pour le vol N°1 oui ou non 'rcn'
    
```

FIG.VII.1 les informations concernant chaque vol.

❖ **Etape 2 :**(traitement)

- A partir des données saisies et des données stockées telle que les caps entre chaque deux balises et les distances entre chaque deux balises, le programme va comparer les données saisies avec les données stockées, s'il y a des valeurs qui dépassent les limitations ou incorrectes, le programme va afficher un message d'erreur en vous indiquant que la valeur est incorrecte et de bien vouloir entrer une autre jusqu'à ce que la valeur soit corrigée.

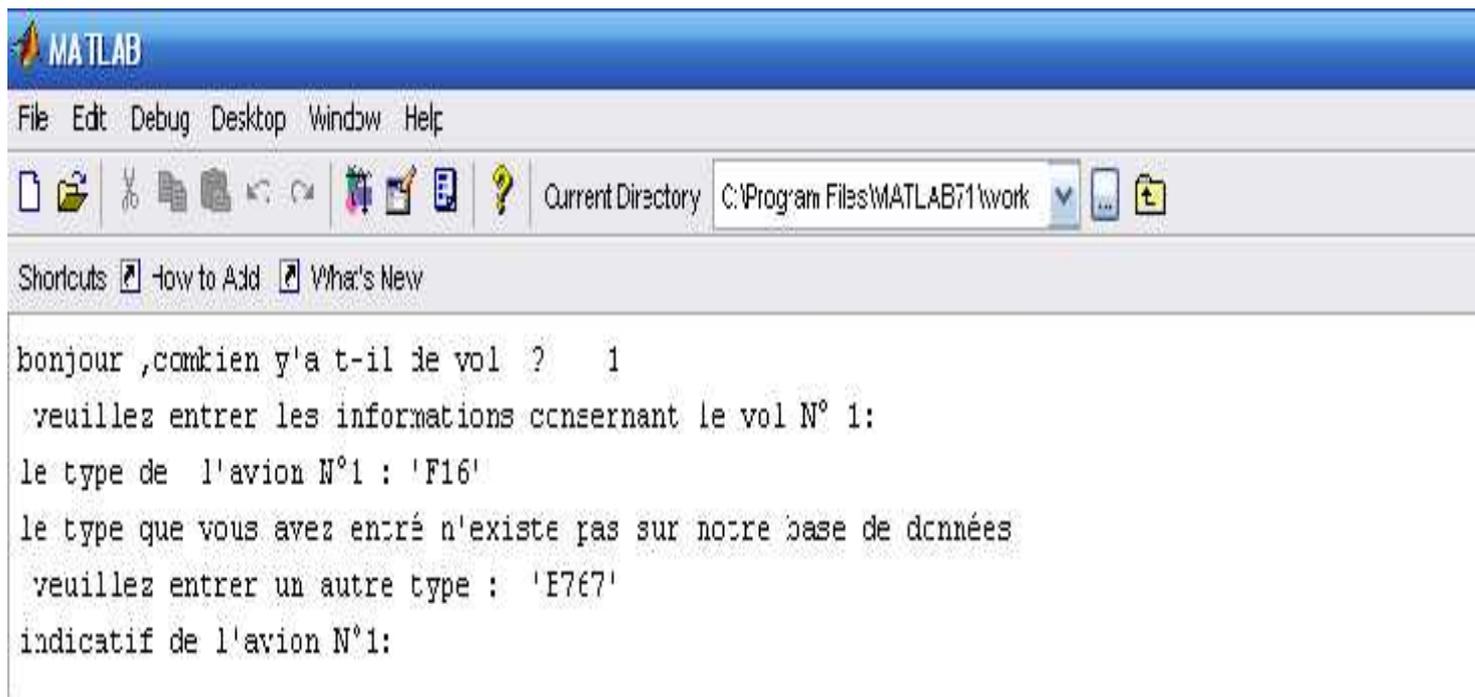


FIG.VII.2 message d'erreur.

- Et puis le programme va vous demander si vous voulez changer une entrée ou plusieurs entrées.



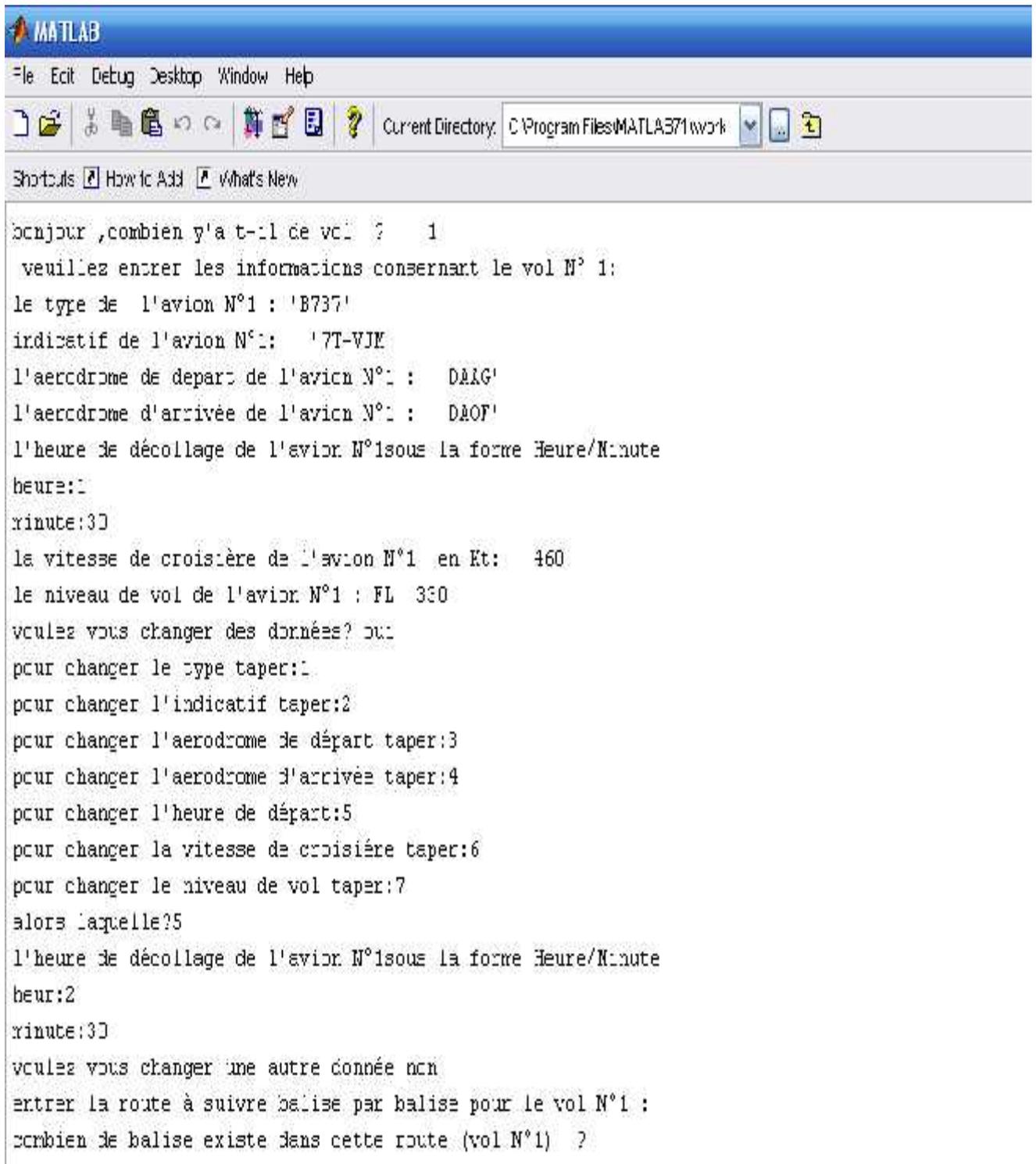


FIG.VII.3 changement des entrées.

- le programme va calculer le temps d'arrivée de chaque avion, et d'autre information telle que la vitesse propre, la vitesse sol, la dérive max, la dérive réelle, le vent effectif et le vent traversier et il va les afficher.





```

MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
Current Directory: C:\Program Files\MATLAB71\work
Shortcuts How to Add Whats New

pour changer le niveau de vol taper:7
alors laquelle?5
l'heure de décollage de l'avion N°1 sous la forme Heure/Minute
heur:2
minute:30
voulez vous changer une autre donnée 'non'
entrer la route à suivre balise par balise pour le vol N°1 :
combien de balise existe dans cette route (vol N°1) 23
entrer la balise N°1 : 'BCR'
entrer la balise N°2 : 'HKI'
entrer la balise N°3 : 'TDF'
la force du vent en kt :12
la direction du vent:230
est-ce que il y'a un changement de niveau de vol (FL) pour le vol N°1 oui ou non 'non'
l'indicatif de l'avion N°1 est :
7T-VJM
le type de l'avion N°1 est :
B737
l'aerodrome de départ de l'avion N°1 est :
FAAG
l'aerodrome d'arrivée de l'avion N°1 est :
FAOF
l'heure de départ de l'avion N°1 est :
2h: 3Cmin
la vitesse de l'avion N°1 est :
460 Km/h
le niveau de vol de l'avion N°1 est :
330
    
```

FIG.VII.4 résultat concernant chaque vol.

Pour les données calculées par le programme :

- Temps d'arrivée=Distance parcourue/Vitesse propre.
- Vitesse propre=Vitesse indiquée+Fl*100*0.295.
- Vitesse indiquée =Vitesse lue sur l'indicateur d'écran.





- $V_{sol} = V_{propre} + V_{vent}$.
- $D_{max} = f_b \cdot (Force\ du\ Vent)$.
- $f_b = 60 / V_{propre}$.
- $D_{réelle} = (D_{max}) \cdot \sin(\text{Angle de vent})$.
- $\text{Angle de vent} = \text{Cap} - (\text{Direction du vent})$.
- $V_{effectif} = Force\ du\ vent \cdot \cos(\text{Angle de vent})$.
 - Le programme va tracer le trajet de chaque avion dans le plan (ox, oy).et ensuite il va chercher les avions qui sont en conflit.

Pour la détection des conflits, le programme est conçu de façon à détecter tout les conflits c'est-à-dire toutes les violations des séparations dans le plan (ox, oy) c'est-à-dire dans le plan horizontal : séparation longitudinale, séparation latérale et séparation verticale.

Pour détecter un conflit entre deux avions, il faut savoir la position (x, y, z) de chaque avion et le temps de passage sur cette position puis comparer la distance qui sépare ces deux avions et la comparer avec les minimums de séparation et c'est de cette manière que le programme fonctionne.

▪ Séparation verticale :

Le programme compare les positions (X, Y, Z) et le temps de chaque avion, si la différence d'altitude (dz) ≤ 1000 ft et La différence du temps (dt) ≤ 10 min et la différence de longitude dX et La différence de latitude dY sont inférieure à certaines valeurs alors le programme détecte un conflit.

▪ Séparation horizontale :

➤ Séparation longitudinale :

On a deux cas :

- Les avions suivent la même route :

Les avions sont sur le même niveau de vol, le programme détecte un conflit si $dt < 15$ min et $dX < 27$ km.

- Les avions suivent des routes différentes :

Les avions sont sur le même niveau de vol, le programme détecte un conflit si $dt < 15$ min et $dX < 27$ km.

➤ Séparation latérale:

- Les routes des deux avions se croisent :

C'est à dire il y'a un point de croisement, le programme calcule les coordonnées de ce point, pour la détection des conflits, il va calculer la distance qui sépare les positions des deux avions, si la distance est inférieure a 27 km et $dt < 15$ min alors le programme détecte un conflit.

- Les routes des deux avions se rapprochent mais ne se croisent pas :





Pour la détection des conflits, il va calculer la distance qui sépare les positions des deux avions, si la distance est inférieure à 27 km et $dt < 15$ min alors le programme détecte un conflit.

❖ **Etape 3 :(Résultats) :**

Pour chaque vol :

- Type.
- Indicatif.
- Aéroport de départ
- Aéroport d'arrivée.
- Heure de départ
- Vitesse de croisière.
- Niveau de vol.
- Distance parcourue.
- heure d'arrivée de chaque vol.
- vent effectif.
- dérives max.
- dérives réelles.
- caps.
- routes.
- avions en conflit s'il existe.
- heure de conflit.





```

MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
Current Directory: C:\Program Files\MATLAB71\work
Shortcuts How to Add What's New

la force du vent en kt :12
la direction du vent:230
est-ce que il y'a un changement de niveau de vol(FL) pour le vol N°1 oui ou non 'non'
l'indicatif de l'avion N°1 est :
7T-VJM
le type de l'avion N°1 est :
B737
l'aerodrome de départ de l'avion N°1 est :
DAGG
l'aerodrome d'arrivée de l'avion N°1 est :
DADO
l'heure de départ de l'avion N°1 est :
2h: 30min
la vitesse de l'avion N°1 est :
450 Km/h
le niveau de vol de l'avion N°1 est :
330
les informations concernant le vol N°1:
le 1 cap à afficher est de : 252°
la dérive max sur le 1 tranche de trajet:1°
la dérive réelle sur le 1 tranche de trajet:-1°
la 1 route à suivre est de : 253°
le vent effectif est de -12kt
vent de face est
vent travers est
le 2 cap à afficher est de : 66°
la dérive max sur le 2 tranche de trajet:1°
la dérive réelle sur le 2 tranche de trajet:0°
la 2 route à suivre est de : 68°
le vent effectif est de 10kt
vent arrière est
le temps d'arrivée pour l'avion N° 1 est de : 3h et 8 min et 5 sec
la distance parcourue par l'avion N° 1 est de : 292 NM
    
```

FIG.VII.5 informations utiles





❖ Les conflits aériens :

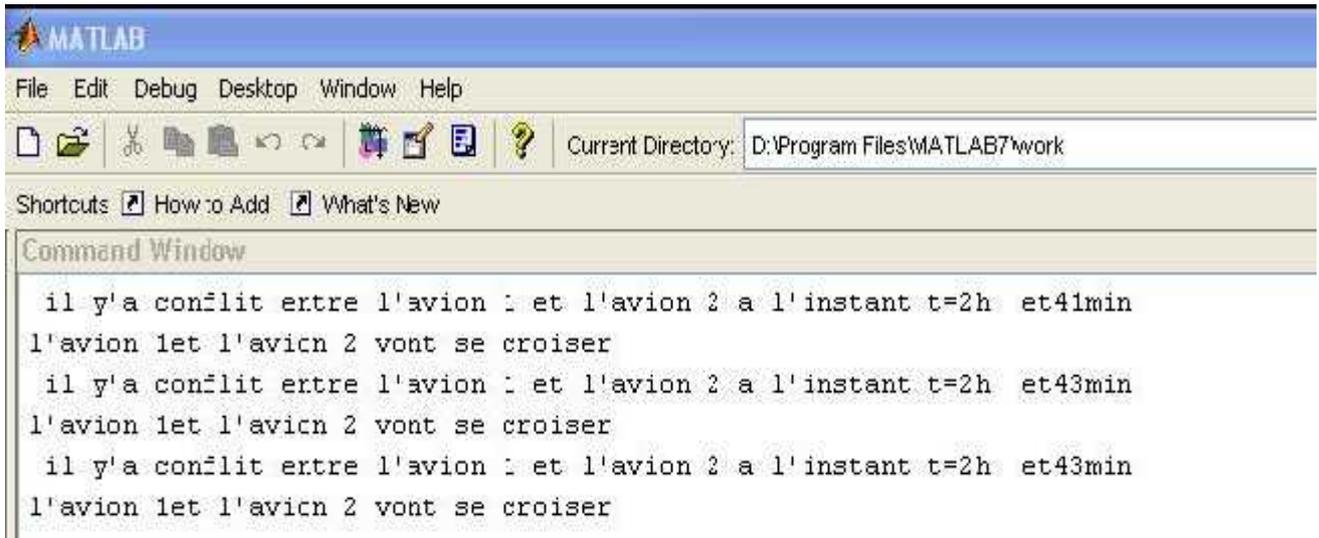


FIG.VII.6 conflits.

Le trajet de chaque vol et les conflits aériens :

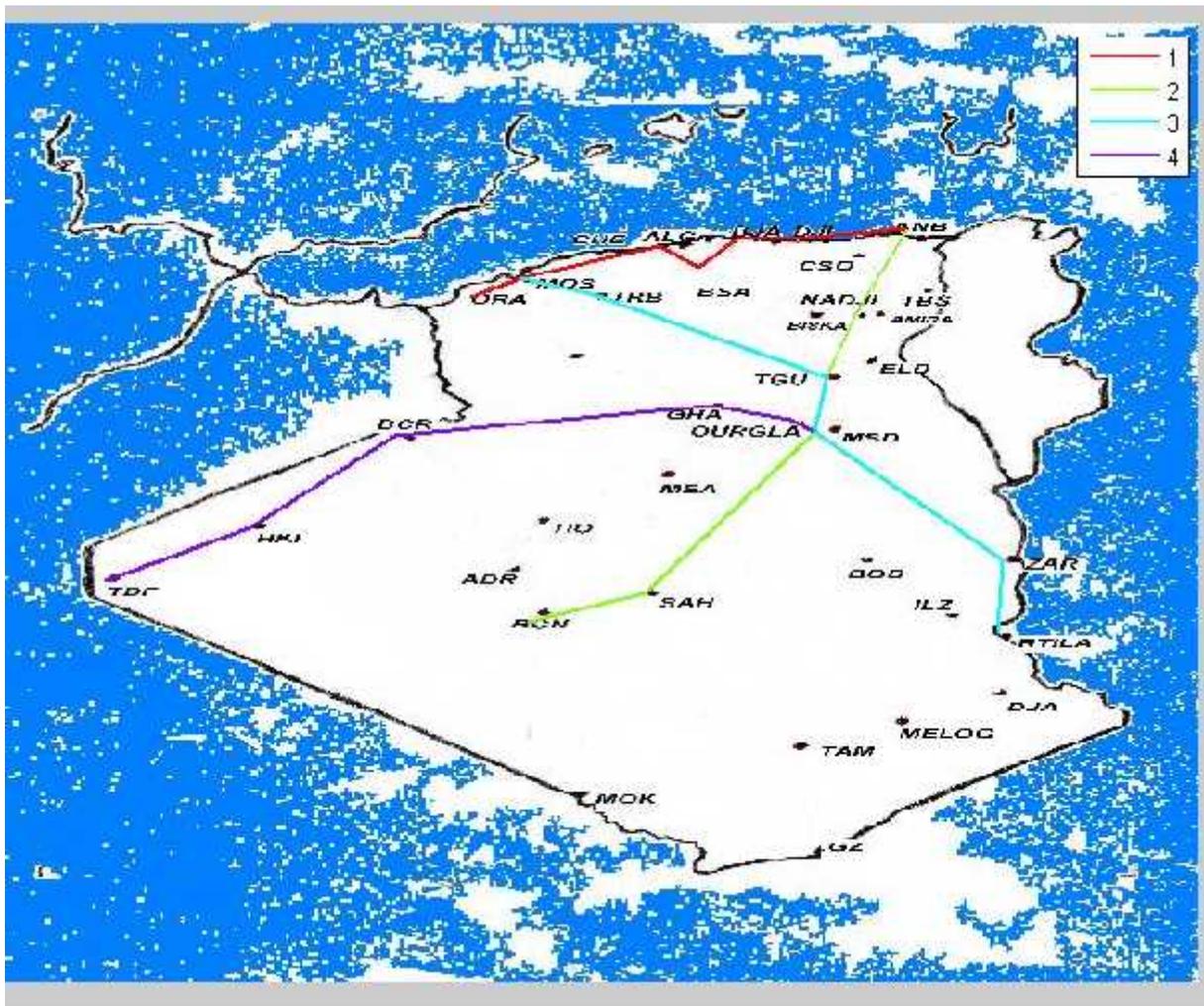


FIG.VII.7 Tracé des avions dans le plan horizontal

**VII-7 Conclusion**

Il est bien évident que l'objectif de ce projet est d'avoir un système embarqué. Le système ATC fera partie intégrante de l'appareil et des centres de contrôle (CCR), ceci permettra au pilote de bien préparer son vol sans difficultés puisque toutes les opérations fastidieuses de calculs et les risques d'erreur lui sont évités et la même chose pour le contrôleur.



Références

1 Bibliographiques

[B1] Gestion du trafic aérien ,quatorzième édition 2001.

[B2] Règlementation, circulation aérien, Jean-Pierre Tourrés, version 4 édition 1996.

[B3] La radiotéléphonie-Jean pierre Duvialard, édition maritimes, 1981.

[B4] Formation au contrôle-Tenue radar, 2 éditions, 1974.

[B5] Devenir contrôleur aérien, Daniel Casanova, cépadués-éditions, 2001.

[B6] Radionavigation/JM Leroi-Paris-Jean Mermoz, 1997.

[B7] Navigation, navigation générale/Demis Chambelin, Jean Mermoz, 1997.

[W8] Matlab pour l'ingénieur, Adrian Biran et Moshe Breiner, version 6 et 7, 2004.

2 Webographiques

[W1] <http://www.recherche.enac.fr/opti/papers/articles/anae03.pdf>

[W2] http://fr.wikipedia.org/wiki/Gestion_du_trafic_aerien

[W3] <http://pilotage.choletais.free.fr/dea.htm>

[W4] <http://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/batiment/tourcontrol/tour1.htm>

[W4] <http://controle.chakram.info/>

[W6] <http://www.aviationpassion.org>

[W7] <http://jmquetin.free.fr/5simu/Navigation1.html>

[W8] www.pilotlist.org/instructeur/download/methode_navigation.ppt

[W9] http://fr.wikipedia.org/wiki/Armée_de_l'air_algérienne

[W10] <http://www.sia-enna.dz>

[W11] <http://fr.wikipedia.org/wiki/MATLAB>

[W12] <http://www.devloppez.com>



Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous avons pu mettre un point un programme qui aide le pilote à la préparation de son vol ainsi que le contrôleur aérien mais ce logiciel n'est pas performant et il faut l'optimiser.

Et comme il n'y est pas un centre de contrôle national nous n'avons pas pu l'essayer réellement.

Et de même le programme n'est pas fiable a 100% car :

- La prévision des trajectoires n'est pas précise (les conditions météorologique, l'erreur de pilotage, maintient du trajectoire, erreur instrumental,).
- Force et direction du vent pour chaque région survolée et même en altitude.

Nous avons montré la faisabilité de ce projet, il est bien évident de l'étoffer encore plus et de lui rajouter des fonctionnalités complémentaires. On peut citer entre autres :

- Une interface graphique pour faciliter l'utilisation du logiciel.

