

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



UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR



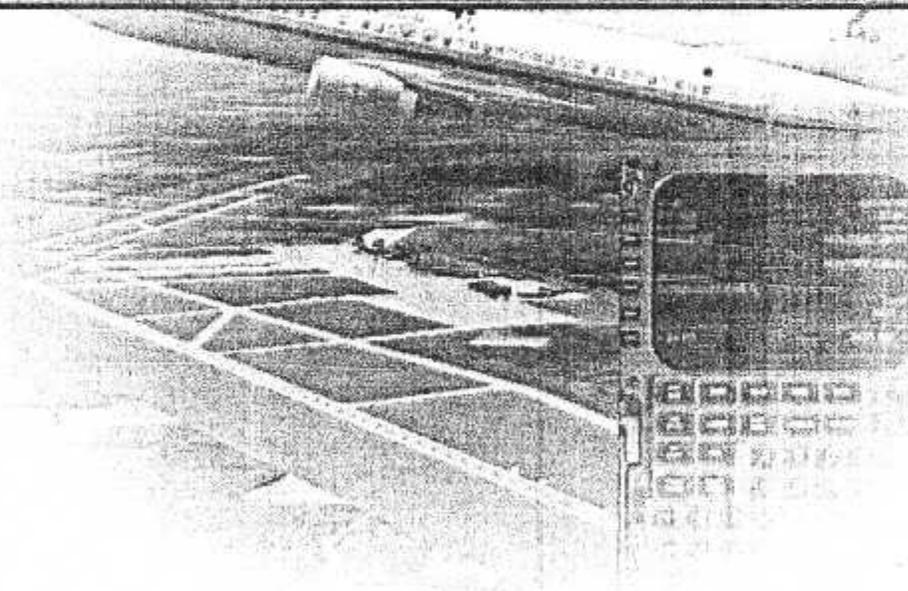
INSTITUT D'AERONAUTIQUE
DEPARTEMENT DE LA NAVIGATION AERIENNE

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

OPTION : OPERATIONS AERIENNES

THEME :

Étude descriptive avec simulation d'une navigation par
CDU
(Application sur le B737-400)



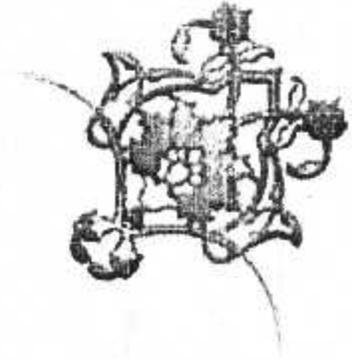
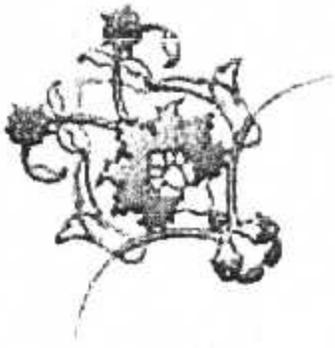
ENCADRE PAR :

Mme : BENCHIKH SALIHA

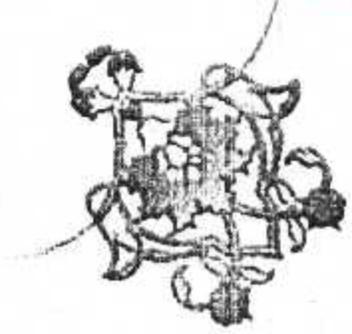
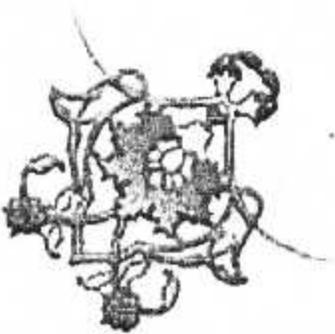
REALISE PAR :

BERKANI HICHEM

PROMOTION 2004



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ
الَّذِي أَحْتَسِبُ عَلَىٰ عِلْمِهِ
رَيْبِي إِنَّهُ يَكْتُبُ الْعِلْمَ
لِلَّذِينَ يَشَاءُ وَيَتَذَكَّرُ
أَلَّا يُغْتَابُوا وَرَبَّهُ لَبِيبٌ
عَلِيمٌ





REMERCIEMENTS REMERCIEMENTS

En premier lieu, je doit remercier le bon dieu qui ma donner la force et les moyens pour réaliser ce travail.

Je remercie ma promotrice Mme .BENCHIKH SALIHA qui ma aidé énormément durant toute l'année .

Ainsi ; Le directeur de l'Institut d'Aéronautique de Blida
Mr.BERGHEL SAÏD.

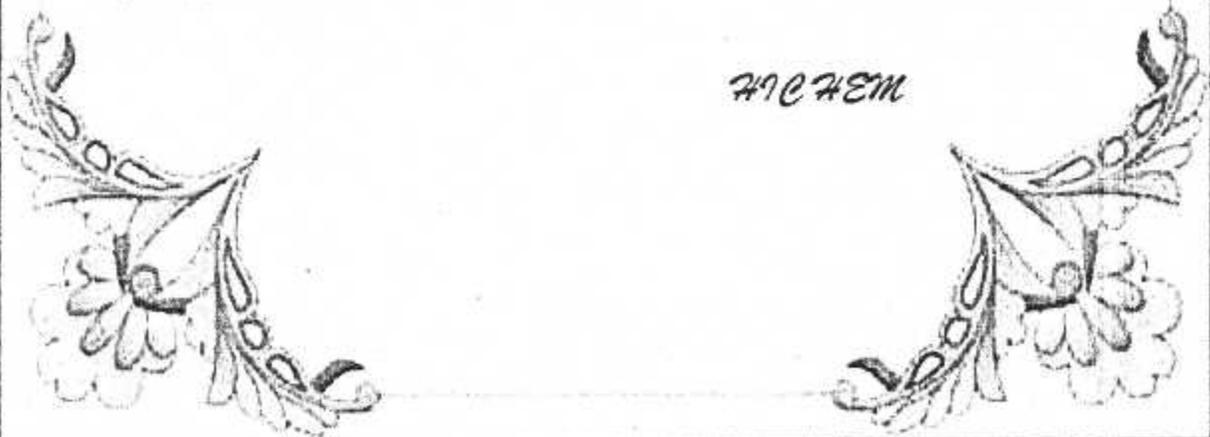
Je tiens à exprimer plus particulièrement ma reconnaissance à ma FEMME qui ma aider dans mon travail , et qui ma soutenue sur le plan moral .

Ainsi ; je tiens à remercie infiniment tous ceux qui ont attribué de près ou de loin dans la réalisation de ce modeste travail dont je doit citer :

Mon oncle Athman, Ma grande mère qui ma orienter avec ses Conseils.

Mrs : Meziani T, Amrane.A, Ami Hammoudi, Zawiche .M,
Kouadria. T.

MACHEM



DÉDICACE:

Je dédie ce travail :

- A mes très chers parents.
- A mes oncles Athman et Elhadj Ahmed.
- A ma grande mère.
- A ma femme.
- A mes frères et sœurs
- A toute la famille Berkani
- A tous mes amis, Sofiane, Mehdi, Abdelkader, Salim, Choaib, Zohir, Amin, Mounir, Ahmed, Hamza, Salim S, Zakaria, Fayçal, Tarek, Smail, Taher, Yacine...



SOMMAIRE

Chapitre I :

Généralités sur les systèmes de navigation

I.1. Introduction .

I.2. LE VOR.

- I.2.1. Définition.
- I.2.2. Principe du VOR .
- I.2.3. Radiales VOR captées.
- I.2.4. Stations VOR et Airways .
- I.2.5. Récepteur de bord et lecture d'information .
- I.2.6. Interception du VOR .
- I.2.7. Passage à la station et confirmation du repère sol .
- I.2.8. L'information de deux stations VOR .
- I.2.9. Distance et temps à la station .
- I.1.8. Avantages/Inconvénients .

I.3. Le DME.

- I.3.1. But de DME.
- I.3.2. Description .
- I.3.3. Principe du fonctionnement du DME .
- I.3.4. Les canaux DME .
- I.3.5. Association VOR-DME .

I.4. L'ADF.

- I.4.1. définition de l'ADF.
- I.4.2. Utilisation du récepteur de bord.
- I.4.3. Réception des signaux .
- I.4.4. passage et interception de la station .
- I.4.5. Repérage à l'aide de l'ADF .
- I.4.6. Correction de dérive .
- I.4.7. Avantages et inconvénients .

I.5. L'ILS .

- I.5.1. Définition .
- I.5.2. Équipement sol (Localizer et Glide) .
 - I.5.2.1. Le Localizer .
 - I.5.2.2. Le glide .
- I.5.3 Équipement de bord (Localizer et Glide) .
- I.5.4. Utilisation en vol.
- I.5.5. Les Markers.
- I.5.6. Radome pour système ILS.

I.6. La centrale Inertielle.

- I.6.1. Présentation .
- I.6.2. Principe de fonctionnement .

I.7. LE GPS (Global Positioning System).

- I.7.1. Historique

- I.7.2. Avantage du système ILS .
- I.7.3. Moyens primaires du système GPS.
- I.7.4. Limitations.

Chapitre II :

Description du système de gestion de vol

II.1. Introduction.

II.2. Présentation du système FMS .

II.3. Architecture du FMS .

II.4. interfaces du système FMS .

II.5. autopilote .

II.5.1. Définition .

II.5.2. L'intérêt du PA .

II.5.3. Fonctionnement.

II.5.4. Composition du pilote automatique.

II.5.5. Les fonctions ou les modes du pilote automatique .

II.5.5.1. Mode propre à la profondeur (pilotage automatique longitudinal) « VNAV » :

II.5.5.2. Mode propre au gauchissement (pilotage automatique latéral) « LNAV » .

II.5.5.3. L'automanette .

II.5.5.3.1 Fonctions de l'automanette (AutoThrust – A/THR) .

II.5.5.3.2 Situation de l'automanette dans les CADV .

II.6. le FMC .

II.6.1. Définition .

II.6.2. But du FMC.

II.6.3. Structure interne du FMC .

II.6.3.1. Banque de données (base de données) .

II.6.3.2. Mémorisation du plan de vol .

II.6.3.3. Calculateur de position .

II.6.3.4. Calculateur de performance (PMC).

II.6.3.5. Gestionnaire des aides radio .

II.6.4. Les entrées externes du système .

II.6.4.1. Boîte de commande et d'affichage (CDU) .

II.6.4.2. Chargeur .

II.6.4.3. Détecteurs divers .

II.6.4.4. Les sorties externes du système .

II.6.4.5. Échanges de communications .

II.7. Fonctions FMC .

II.7.1. Initialisation .

II.7.2. Navigation .

II.7.3. Plan de vol .

II.7.4. Performances .

II.7.5.Guidage latéral .

II.7.6.Guidage vertical .

II.7.7.Suivi du vol .

II.8.Choix et critère d'optimisation .

II.8.1.Principe d'optimisation .

II.8.2 - Contraintes et limites d'optimisation .

Chapitre III :

Le CDU et la gestion de vol

III.1.Information générales.

III.2.Pages d'affichage pré vol.

III.3.Pages de navigation latérale.

III.4.pages de navigation verticale.

Chapitre IV :

La simulation de la navigation.

IV.1.modification de l'environnement.

IV.1.1.Génération des fichiers BGL .

IV.1.2.Génération des fichiers de texture BMP .

IV.2.modification de l'extérieur de l'appareil B737-400 .

IV.3.Modification de l'intérieur de l'appareil B737-400 .

IV.4.REsultats des modifications .

IV.5. Exemple de l'application .

RÉSUMÉ

De nos jours, la navigation aérienne est devenue un élément clé dans toutes les études aéronautiques, et cela dans le but d'assurer des vols plus sûrs et plus confortables. C'est pourquoi, un système automatique appelé « Système de gestion de vol » a été élaboré, pour assister les navigateurs et les contrôleurs aériens dans leur travail et minimiser leurs erreurs. Pour cela on a étudié ce système et proposé un simulateur permettant de s'exercer sur son utilisation.

خلاصة:

إن الملاحة الجوية في يومنا هذا أصبحت لب كل الدراسات في علم الطيران، بغرض الوصول إلى رحلات جوية آمنة و مريحة. لذلك أسس لها نظام اتوماتيكي يسمى بنظام تسيير الطيران، و هذا لتسهيل مهمة الملاحين و المراقبين الجويين، و التخفيض من درجة أخطائهم. و عليه وجب علينا وصف هذا النظام و اقتراح برنامج في الإعلام الآلي للتمرن على كيفية استعماله.

ABSTRACT

To day, the aerial navigation became a key element in all the aeronautical studies, and this for ensuring more safety and comfortable. It's for this an automatic system called " Flight management system " has been elaborated to assist the pilots and air traffic controller on there work in order to minimize there eventual errors.

For this, we studied this system and suggested a simulator allowing to be exerted on his use.



INTRODUCTION

Introduction

Durant la première décennie de l'aventure aéronautique, dix ans de 1900 à 1910 (période durant laquelle on a atteint 300 m d'altitude, près de 200 km/h et 250 km en distance), les avions ne disposaient d'aucun instrument de contrôle ; seule l'intuition et le courage permettaient aux pilotes de conduire leurs machines avec le minimum de casse.

Au cours de la décennie 1960-1970, les semi-conducteurs, les premiers circuits intégrés et le calcul numérique (calculateurs de navigation et d'attaque...) prennent place à bord des avions ; à la juxtaposition des équipements succède leur coordination fonctionnelle.

Des instruments électromécaniques présentent des informations de synthèse (HSI, ADI...) et des viseurs cathodiques équipent certains chasseurs.

L'application de ces techniques d'électronique au domaine de l'aviation est appelée AVIONIQUE.

L'avionique constitue le système nerveux des aéronefs modernes dont l'équipage demeure le cerveau qu'elle allège des tâches de routine, tout en accroissant la sécurité et la précision des vols. Organisée en « systèmes », l'avionique, aussi simple soit-elle, assure des fonctions techniques et opérationnelles.

Les fonctions techniques gèrent les « ressources », moyens matériels et logiciels destinés à :

- capter des informations venant du monde extérieur à l'avion et communiquer ;
- présenter des informations à l'équipage et en recevoir des ordres ;
- traiter et gérer l'ensemble des signaux circulant dans le système ;
- participer à l'exécution des ordres donnés à la machine avion.

Durant un vol, l'équipage, souvent réduit au seul pilote pour les avions de combat, assure une charge de travail caractérisée principalement par :

- Conduire la machine en assurant son pilotage (position instantanée de l'espace) et la surveillance de son état de fonctionnement, tout en demeurant dans les domaines aérodynamique, structural et moteur de l'avion et en respectant les limites physiologiques supportables par les passagers et l'équipage.

- Naviguer, c'est-à-dire être toujours au bon endroit au bon moment, non seulement par rapport au sol, mais aussi, par rapport aux autres avions ;

- Maintenir le contact avec l'infrastructure au sol et d'autres avions,

- Survivre face à des conditions de vol dégradées du fait de la machine (pannes...) ou de l'environnement (météorologie...).

Pour remédier à certains de ces contraintes physiologiques et psychologiques, et résoudre divers problèmes pendant le vol, un aménagement de la cabine de pilotage est exigé.

Parmi ces aménagements on a :

a- Etudes ergonomiques devant, en particulier, éviter la saturation d'informations, leur bonne répartition dans la cabine...

b- Répartition des tâches entre plusieurs personnes (par exemple responsabilité des boucles à court terme telle que celle du pilotage et celle à long terme de la navigation...).

c- Multiplication des dispositifs automatiques comme les commandes de vol électriques, le pilotage automatique et le système de gestion de vol (FMS)...

BUT DE TRAVAIL :

Le but de notre travail est :

- ↓ D'expliquer le fonctionnement ainsi que l'utilisation des différents moyens et instruments de radionavigation.
- ↓ Donner des définitions ; Schémas et présentation du système de gestion de vol.
- ↓ Les relations entre les différentes parties constituant le système de gestion de vol FMS.
- ↓ Rédiger un manuel d'utilisation du CDU ainsi que les pages correspondants à ce dernier.
- ↓ Un vol d'exemple pour expliquer les pages principaux du CDU.

Pour cela ; ce projet nous a conduit à présenter notre travail en 04 chapitres :

CHAPITRE I :

Généralités sur les systèmes de navigation

CHAPITRE II :

Description du système de gestion de vol

CHAPITRE III :

Le CDU et la gestion de vol .

CHAPITRE IV :

Simulation de la navigation



CHAPITRE I

Généralités sur les systèmes de navigation

**I.1. INTRODUCTION :**

La navigation aérienne est aussi vieille que l'aéronautique et s'est, dès ses origines, inspiré des méthodes en usage chez les marins.

La navigation permet à l'équipage de savoir « où il se trouve » (dans les quatre dimensions : latitude, longitude, altitude et temps) et « par où aller » pour arriver à la destination suivant la route désirée et à l'heure prévue.

Naviguer ne signifie pas simplement se repérer dans l'espace à un instant donné, mais c'est conduire un avion d'un point à un autre en prévoyant la trajectoire future et en effectuant les corrections nécessaires pour rejoindre la bonne trajectoire souhaitée.

pour naviger on utilise deux techniques:

-La navigation à l'estime,totalement autonome,elle ne fait appel à aucune aide extérieure.

-La navigation observée, utilisant des moyens extérieurs à l'avion; observation du sol (navigation à vue), moyens radioélectriques (radionavigation) ou les astres (navigation astronomique).

Cette dernière est la plus utilisée dans l'aviation moderne et surtout dans le transport aérien. Cela est due essentiellement à la densité des moyens de localisation sur l'itinéraire considéré.

La technique de navigation observée se base sur les signaux radioélectriques émis par des stations au sol ou spatiales. Parmi les dispositifs usuels dans cette technique on rencontre le FMS.

Le FMS est un système embarqué permettant la navigation et la gestion du vol aussi bien sur le plan horizontal que vertical par l'intermédiaire d'un ordinateur puissant nécessitant la présence de différents instruments tel que le VOR,GPS,DME,IJS...ect qui permettent la collecte de l'information.

L'importance de ces instruments nous emmène à faire une brève description de ces derniers et donner le principe de leur fonctionnement.



I.2. LE VOR:

I.2.1. Définition:

Le VOR abrégatif de « VHF omnirange » ou « radiophare VHF omnidirectionnel », est un système de navigation normalisé par l'OACI (1950) pour les courtes et moyennes distances.

Ce radiophare est à portée visuel égal

$$\text{Portée(Nm)} = 1.23 \times \sqrt{\text{Altitude(ft)}}$$

Il fonctionne dans la bande de fréquences VHF de 108 à 117,95 Mhz.

Dans la pratique on distingue deux catégories de VOR :

- le VOR en route : les VOR utilisés sont typiquement pour la navigation en route et sont de ce fait dits : VOR en route ou VOR catégorie A.
- le VOR d'approche : Ces VOR sont installés en proximité ou dans l'enceinte d'aérodrome, pour faciliter les procédures d'approches. Dans cet usage le VOR est dit : VOR d'approche ou VOR catégorie B. Ce type de VOR peut également être utilisé pour la navigation en route.

Les VOR de la catégorie A ont des fréquences d'utilisation comprises dans la bande 112 - 118 MHz et des puissances permettant des portées d'au moins 100 NM. Les VOR de la catégorie B se situent dans la bande ILS de 108 - 112 MHz avec des portées égales ou supérieures à 25 NM.

D'autre part il y a deux types de VOR :

- VOR Doppler: le VOR Doppler est principalement utilisé pour réduire l'effet des multi- trajets .
- VOR Conventionnel : C'est un VOR avec un pylône simple sans les petits cônes circulaires qui l'entoure.



Fig.I.1.a UN VOR C (conventionnel)



Fig.I.1.b UN D VOR (Doppler)



I.2.2. Principe du VOR :

Le principe du VOR repose sur une mesure de phase entre deux tensions de MÊME FRÉQUENCE, à bord de l'avion. La phase n'est pratiquement pas altérée par les parasites atmosphériques, y compris les orages. D'où l'énorme avantage du VOR par rapport au radiocompas : il est utilisable quelle que soit la météorologie.

Les deux tensions ont une fréquence de 30 Hz. On a :

- Une tension de référence, c'est la tension que recevrait un avion au Nord magnétique de la station.

- Une tension de position, déphasée par rapport à la tension de référence.

Le déphasage est le QDR(relèvement magnétique depuis la station).

Les signaux de référence et variable sont émis en phase au nord magnétique seulement et sont décalés partout ailleurs comme suit :

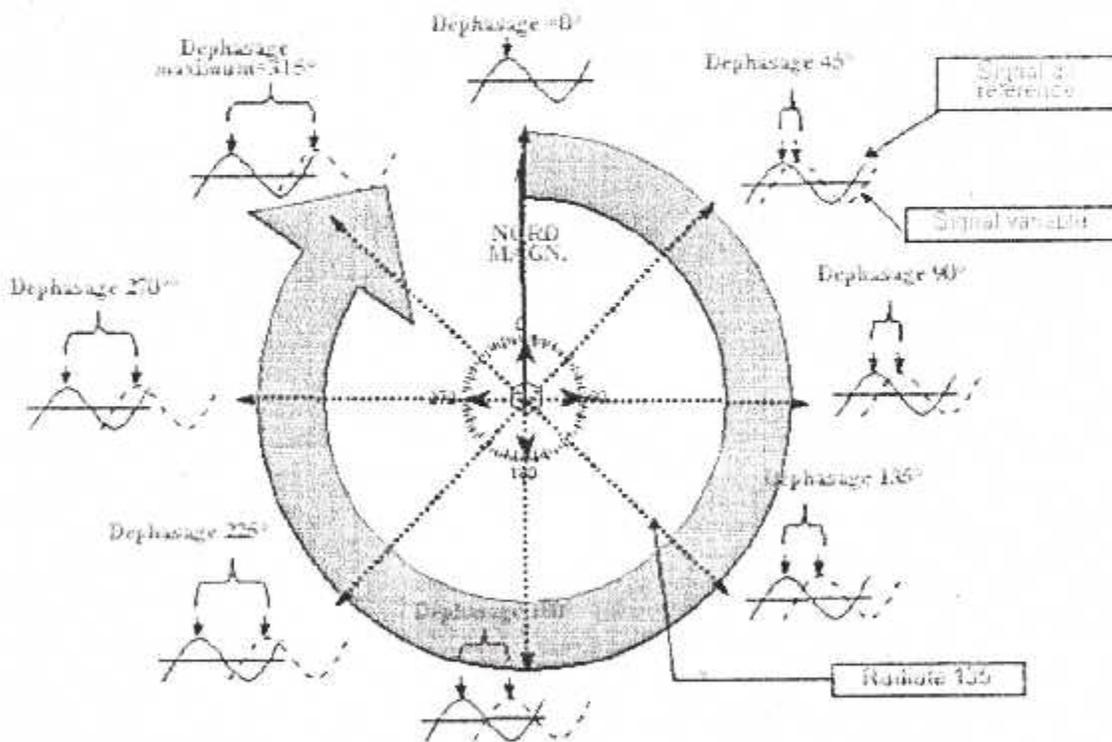
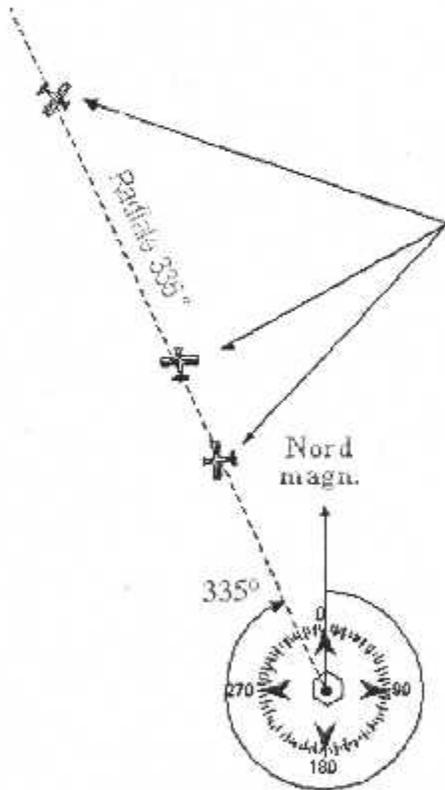


Fig.I.2 Le déphasage entre les signaux de référence et variable.



Cela permet de créer 360 demi-droites imaginaires qui rayonnent depuis la station comme les rayons d'une roue: on les appelle des RADIALES.

I.2.3. Radiales VOR captées:



Il est possible de déterminer ainsi la position de l'avion par rapport à la station, Cette position est indépendante du cap réellement suivi par l'avion et de sa distance par rapport à la station.

L'équipement de bord permet de savoir sur quelle demi-droite imaginaires depuis la station se trouve l'avion, ces droites imaginaires sont appelées RADIALES (Fig.I.3).

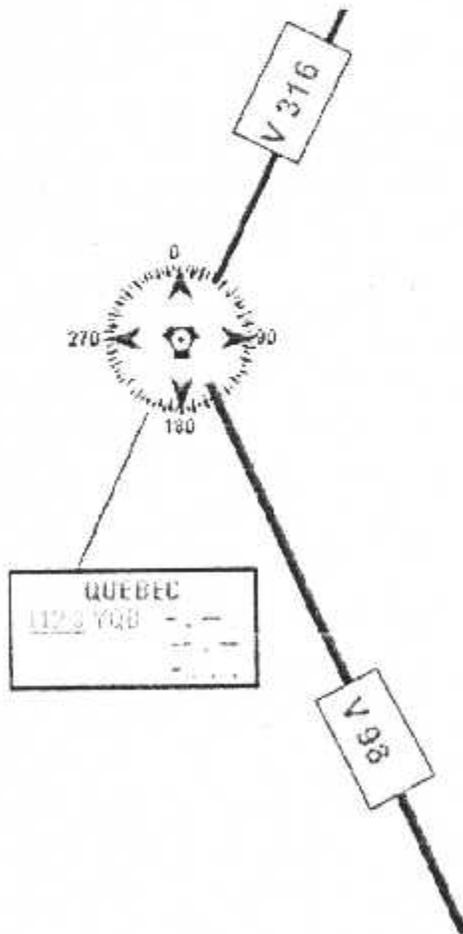
Fig.I.3 Radiale VOR



1.2.4. Stations VOR et Airways :

Sur les cartes aéronautiques, les stations VOR sont représentées par une rose des caps superposée au symbole de la station VOR :

-  VOR
-  VOR couplé avec DME
-  VOR couplé avec TACAN (militaire).



Avec le nom du VOR (trois lettres) est associé le code morse équivalent et la fréquence de la station, à partir de laquelle, certaines radiales sont matérialisées sur ces cartes pour définir ce qu'on appelle Voies Aériennes, comme il est montré dans le schéma ci-contre.

Fig.I.4 voies aériennes



I.2.5. Récepteur de bord et lecture d'information :

Le récepteur de bord se compose de deux parties :

- Un boîtier de commande permettant d'afficher les fréquences VOR (200 canaux, pas de 50 khz)(Fig.I.5).



Fig.I.5 Boîtier de commande du récepteur VOR.

- Un indicateur VOR (Fig.I.6) sous la forme d'un cadran circulaire à trois fonctions:

- 1- Selecteur de route (OBS) :
Comporte un cadran mobile, gradué sur 360°. Les chiffres représentent les radiales, la radiale sélectionnée est en haut sous la flèche.
- 2- Indicateur de lever de doute (TO/FROM):
Sert à déterminer si le relèvement va de l'avion vers la station (TO) ou de station vers l'avion(FROM). Il indique la perte de signal de position (OFF).
- 3- Une barre d'écart de route (CDI):
Elle se déplace horizontalement et indique si l'avion est à gauche ou à droite de la radiale affichée sur le sélecteur de route.L'échelle est graduée tous les deux degrés(Déflexion maximum: 10° de part et d'autre du centre).

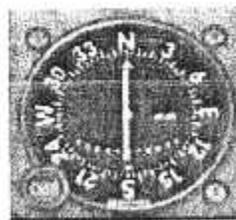


Fig.I.6 Indicateur VOR



I.2.6. Interception du VOR :

Un exemple d'interception du VOR est montrée dans la figure(I.7).

Le drapeau de l'indicateur, lorsque la barre d'écart de la route (CDI) est centrée permet de dire, comme le montre le schéma en face, la chose suivante :

→ Mon relèvement depuis (FROM) la station est de 330 degrés.

Ou bien

→ Mon relèvement vers (TO) la station est de 150 degrés.

Dans les deux cas, l'avion est placé sur la radiale 330 (drapeau FROM) et le cap de l'avion n'intervient pas.

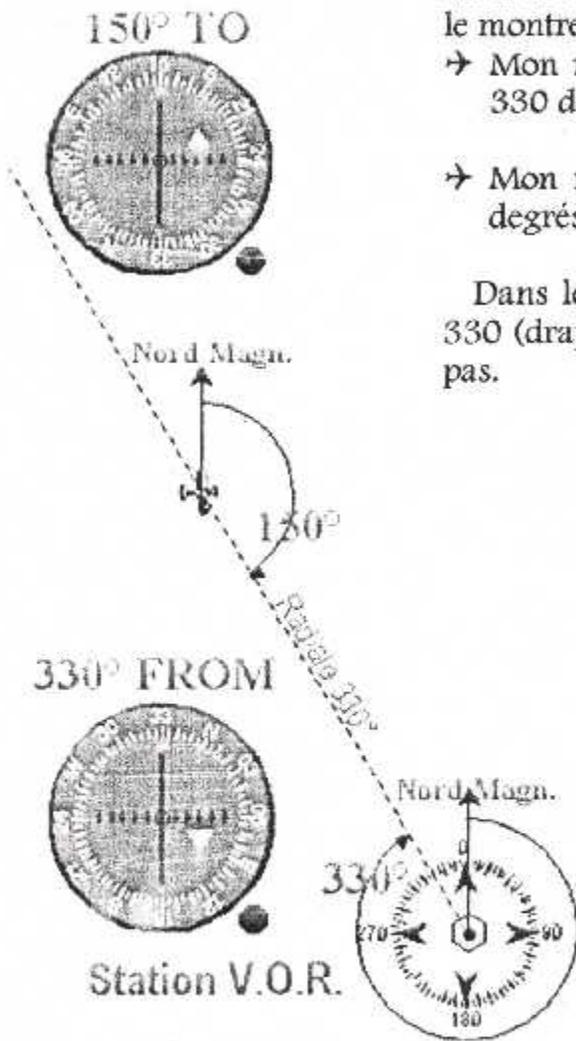


Fig.I.7 L'indication TO/FROM



En générale, l'interprétation de l'information sur le récepteur VOR est schématisée dans la figure ci-dessous :

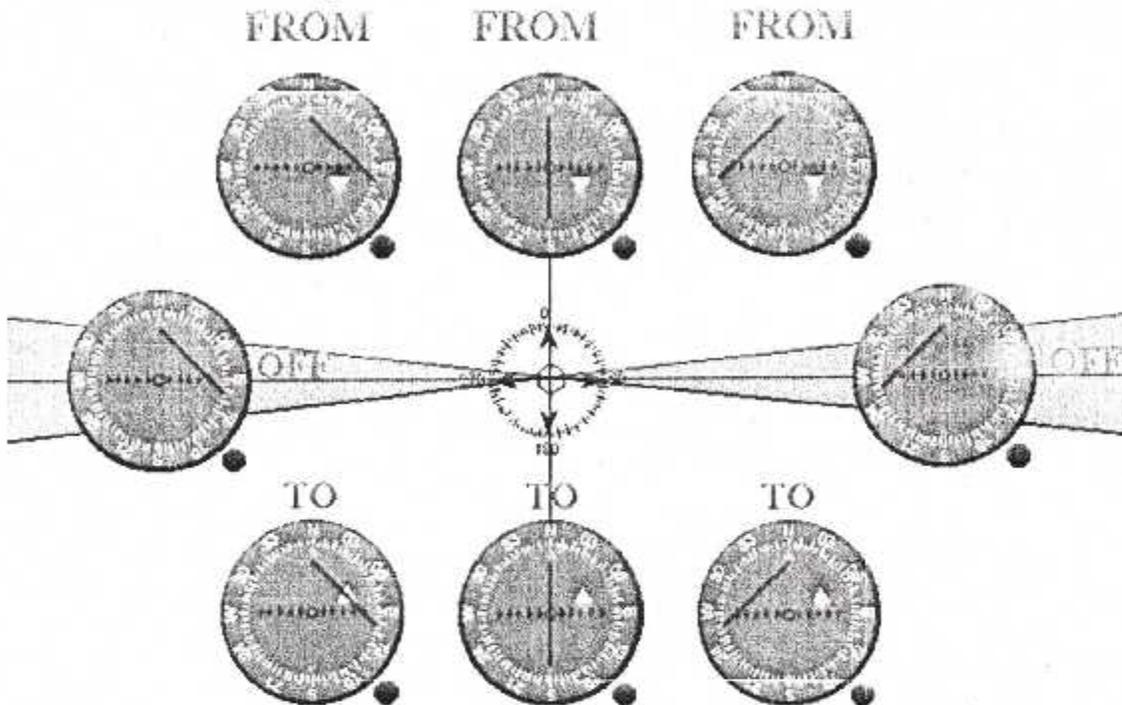
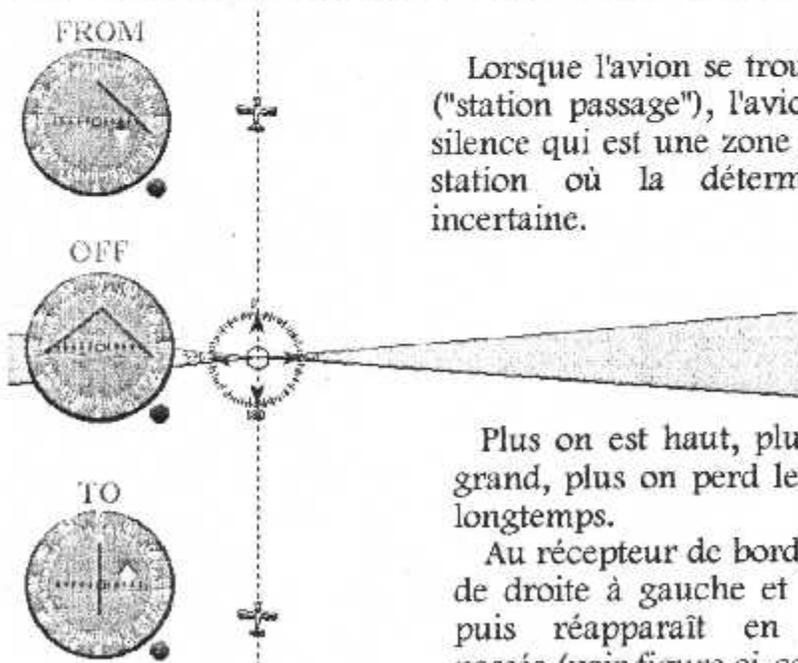


Fig.I.8 Interception de l'information VOR

I.2.7 Passage à la station et confirmation du repère sol :

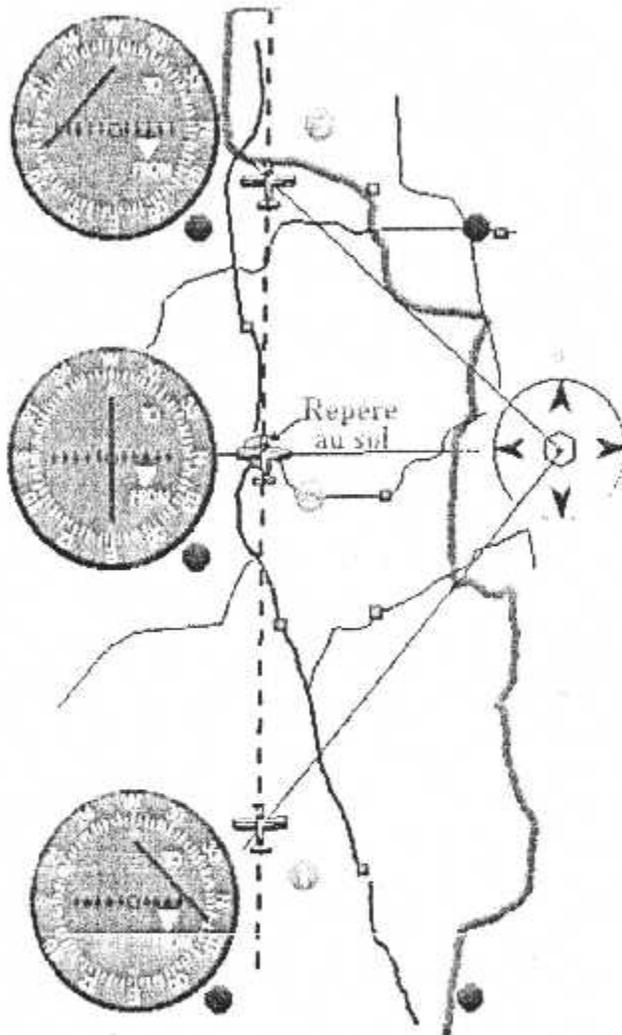


Lorsque l'avion se trouve très près de la station ("station passage"), l'avion passe dans le cône de silence qui est une zone située à la verticale de la station où la détermination TO/FROM est incertaine.

Plus on est haut, plus le cône d'incertitude est grand, plus on perd le signal de loin et pendant longtemps.

Au récepteur de bord, l'aiguille se met à osciller de droite à gauche et Le drapeau TO disparaît puis réapparaît en FROM: la station est passée.(voir figure ci-contre).

Fig.I.9 Passage à la station



Lorsque des stations VOR sont à proximité de la route choisie, le VOR peut être utilisé pour matérialiser des repères sol par repérage à l'aide du VOR, c'est-à-dire afficher la radiale du repère (ex: R 270) avec le sélecteur de course, drapeau sur FROM (Fig.I.10)

1-Tant qu'on a pas franchi le repère, l'aiguille du VOR est à droite.

2-Au passage du repère matérialisé par la radiale, l'aiguille se centre.

3-une fois le repère franchi, l'aiguille part vers la gauche.

Fig.I.10 Confirmation du repère sol.



I.2.8. L'information de deux stations VOR :

Pour utiliser une information par deux stations, on trace les lignes de positions résultantes sur la carte, l'intersection de ces lignes représente la position sol de l'avion. (Voir Fig.I.11)

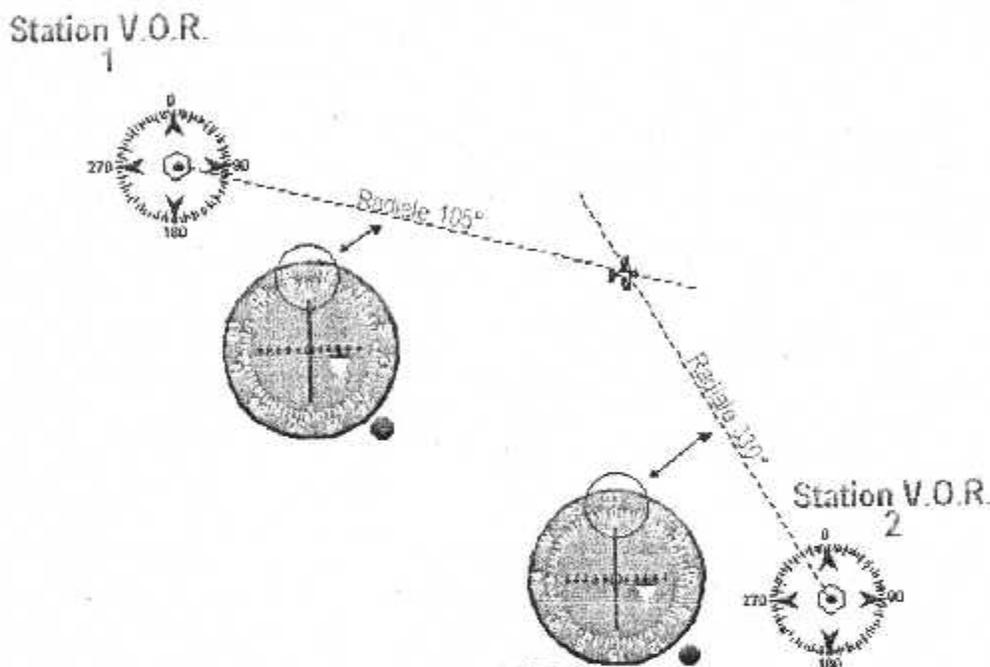


Fig.I.11 L'information de deux stations VOR.

I.2.9. Distance et temps à la station :

Le temps pour aller à la station (en minutes) TTS est:

$$TTS(\text{minute s}) = \frac{\text{Temps(secondes) pour franchir}}{\text{Nombre de radiales croisées}}$$

Et la distance à la station (en Nm) est donnée par:

$$D(Nm) = TTS(\text{minutes}) \times \frac{\text{vitesse(}kts)}{60}$$

D'après l'exemple de la figure.I.12, pour 30° de radiale croisée à 90° en 180 secondes, l'avion se trouve à 6 minutes de la station

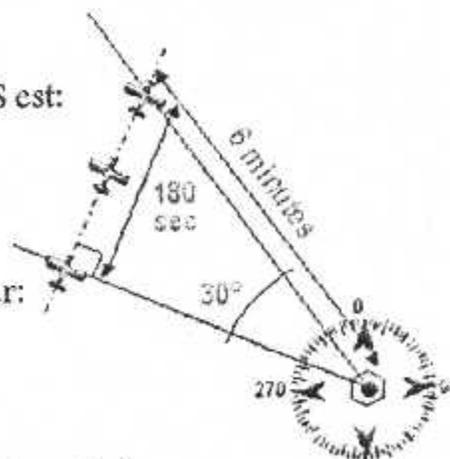


Fig.I.12 TTS et D.

**I.1.8. Avantages/Inconvénients :****Avantages:**

- Insensibles aux orages et perturbations magnétiques.
- Précision correcte (+ ou - 1 °)
- Les indications de l'instruments ne sont pas liées au vent .

Inconvénients:

- Portée optique $1.23 \times \sqrt{\text{altitude en Ft.}}$
- Portée maximum optimale : 200 Nm environ.
- Limitations de portée par les montagnes (MRA: Minimum Reception Altitude) .



I.3. LE DME

I.3.1. But de DME:

Le DME, acronyme de "Distance Measuring Equipment", est le système de mesure de distance normalisé par l'OACI depuis 1960.

Le DME donne la distance directe entre l'avion et une station sol. A cette mesure il faut intégrer l'erreur due au fait qu'on considère la balise elle même et non sa verticale (Fig.I.13). Or, la distance qui intéresse la navigation est la distance horizontale entre l'avion et la verticale balise. Cette erreur est négligeable quand on est loin de la station, ou si la hauteur est faible.

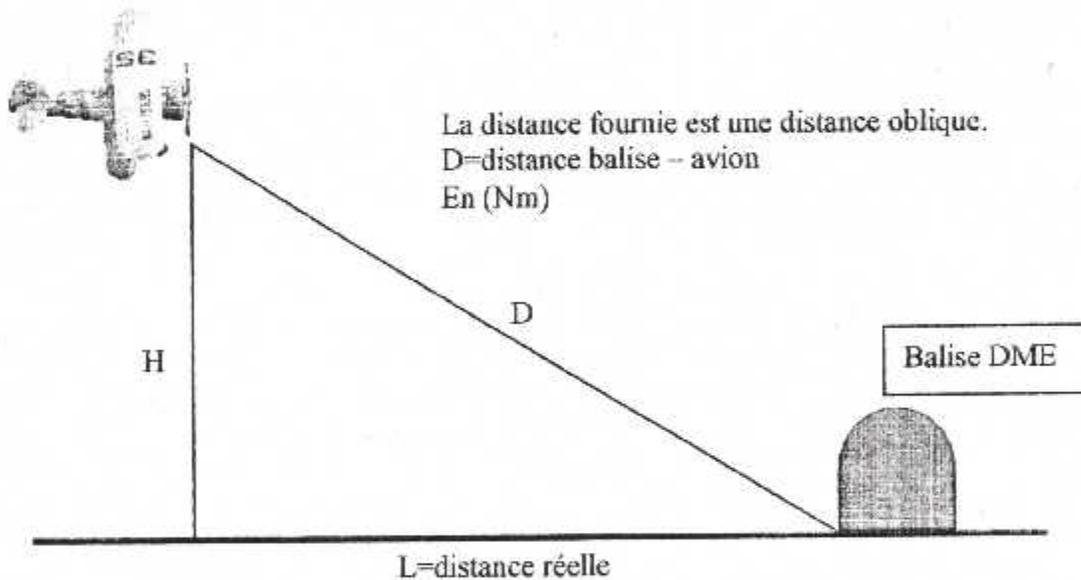


Fig.I.13 Distance fourni par la balise DME

NB :

Il existe deux catégories de DME :

Le DME/N (en route) : Dispositif de mesure de distance répondant principalement aux exigences opérationnelles de la navigation en route ou en TMA. La lettre N signifie : Narrow, soit spectre étroit.

Le DME/P (d'atterrissage) : Élément de mesure de distance de précision conçu pour équiper le système d'atterrissage hyperfréquence MLS. La lettre P signifie : mesure précise de la distance. Il est compatible avec des interrogateurs de bord conçus pour interroger un DME/N. Il est généralement utilisé avec FILS comme DME ATT (DME d'Atterrissage) : Ne fonctionne qu'avec des avions interrogeant avec des impulsions propres à un DME/N et peut avoir une antenne directive).

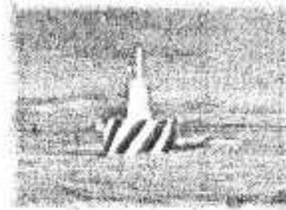


Fig.I.14 Station DME

I.3.2. Description :

Le DME est composé:

→ D'un boîtier de commande (Fig.I.15).

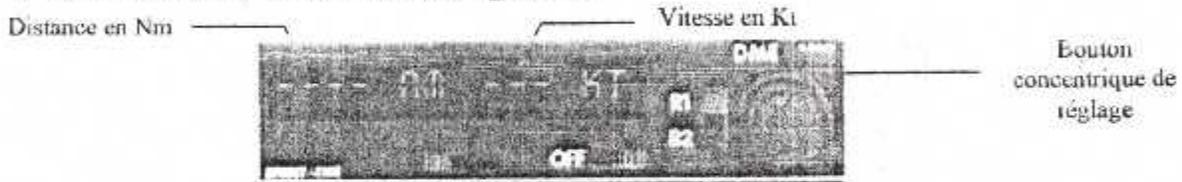


Fig.I.15 Boîtier de commande DME

→ D'un cadran de lecture (Fig.I.16).

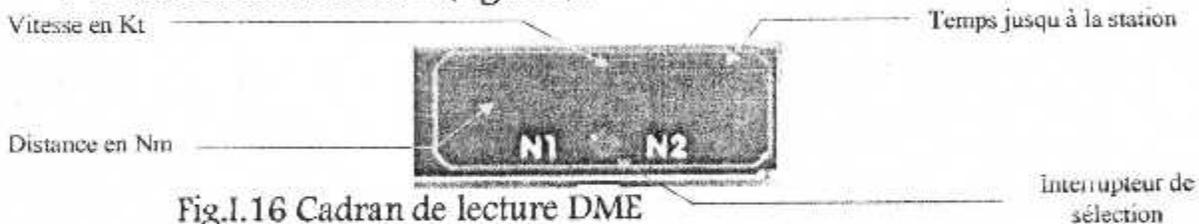


Fig.I.16 Cadran de lecture DME

I.3.3. Principe du fonctionnement du DME :

Le système DME permet la mesure à bord de la distance oblique entre un aéronef équipé d'un interrogateur et le point de référence d'une installation "sol" dûment sélectionnée et identifiée (" transpondeur sol").

La distance est calculée par la mesure du retard pris par l'onde hertzienne émise par l'avion et renvoyée par le "transpondeur sol".

Le système fonctionne avec des IMPULSIONS. L'avion envoie une impulsion à t_0 . On dit qu'il envoie une INTERROGATION (ou une QUESTION), ou qu'il interroge la balise sol.

La balise sol reçoit l'impulsion de l'avion, puis, après un retard θ fixe et connu (50µs), elle envoie à son tour une impulsion. On dit qu'elle RÉPOND à l'avion. L'avion reçoit la réponse à t_1 . La vitesse de la lumière étant "c" , la distance D vaut donc :

$$2 D = c(t_1 - t_0 - \theta)$$

CHAPITRE I :

Généralités sur les systèmes de navigation



L'information la plus intéressante pour le pilote n'est pas la distance oblique mais la distance en projection sur l'horizontale. Une correction peut être effectuée à partir de la connaissance de la différence d'altitude entre avion et transpondeur sol et d'un petit calcul.

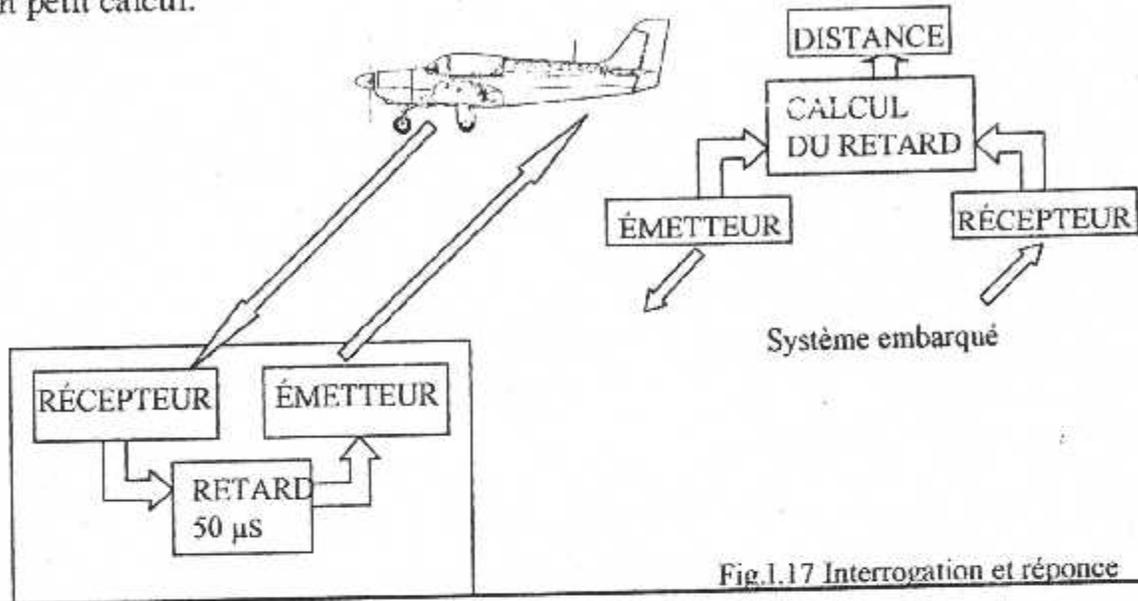


Fig.1.17 Interrogation et réponse

Pour qu'il n'y ait pas d'interférences entre interrogation et réponse, l'interrogation s'effectue sur une fréquence UHF et la réponse de la balise se fait sur une autre fréquence UHF, Un DME fonctionne donc sur DEUX FRÉQUENCES UHF qu'on appelle CANAL DME. La bande attribuée au DME va de 962 MHz à 1213 MHz répartis sur le tableau suivant :

	RÉPONSE SOL	INTERROGATION AVION	RÉPONSE SOL
Canal 1	962	+63	1025
Canal 2	963	+63	1026
Canal 63	1024	+63	1087
Canal 64		1088	+63 → 1151
Canal 65		1089	-63 → 1152
Canal 126		1150	+63 → 1213



NB :

La portée est une portée optique, 200 Nm sur la plupart des équipements .

La précision est de l'ordre de 0,2 Nm (+-0.25% de la distance).

I.3.4. Les canaux DME :

On a donc 126 canaux, l'espacement entre les fréquences porteuses est de 1 MHz. Les fréquences d'interrogations et de réponses sont associées de façon à présenter entre elles une différence constante de 63 MHz. Par conséquent, 126 voies ou canaux sont disponibles dans la bande 962-1213 MHz. Ce nombre est insuffisant pour l'appariement des voies DME avec les 200 voies VOR-ILS. Le doublement des voies DME est obtenu avec les mêmes fréquences mais celles-ci étant associées différemment et distinguées par le codage d'espacement des impulsions. Le nombre de voies DME s'élève donc à 252 dont 200 pour l'association à un VOR ou ILS. Il existe 2 types de canaux : X et Y. Leur répartition est la suivante :

20 canaux X de 18X à 56X (uniquement canaux pairs).

80 canaux Y de 17Y à 56Y et de 80Y à 119Y.

Exemple :

Le canal 65 est constitué de 1089 MHz pour l'interrogation avion et de 1152 MHz pour la réponse du sol. La question et la réponse sont espacées de 63 MHz. On remarquera que les deux fréquences 1030 MHz et 1090 MHz sont inutilisables car elles sont réservées au radar secondaire.

En fait, on n'utilise pas une seule impulsion, mais deux impulsions, ce qui permet d'éliminer tout signal parasite. En jouant sur l'espacement des deux impulsions, on peut multiplier le nombre de stations sur un même canal. Dans la pratique, deux formats sont utilisés et appelés MODE X et MODE Y.

On a ainsi le canal 1 X et le canal 1 Y.

Dans la suite, quand on parlera d'impulsion, il s'agira en fait, de paires d'impulsions. Les canaux se trouvent dans la documentation aéronautique.

I.3.5. ASSOCIATION VOR-DME :

Très généralement utilisés car elle constitue un moyen de radionavigation complet en coordonnées polaires, elle implique l'implantation rapprochée des VOR et DME à :

- 30 mètres maximums pour les besoins à courte distance.
- 600 mètres maximums pour les besoins en route.



Si un VOR et un DME sont assez proches l'un de l'autre pour être vus confondus par l'avion le plus simple étant de les co-implanter. (Fig.1.18).

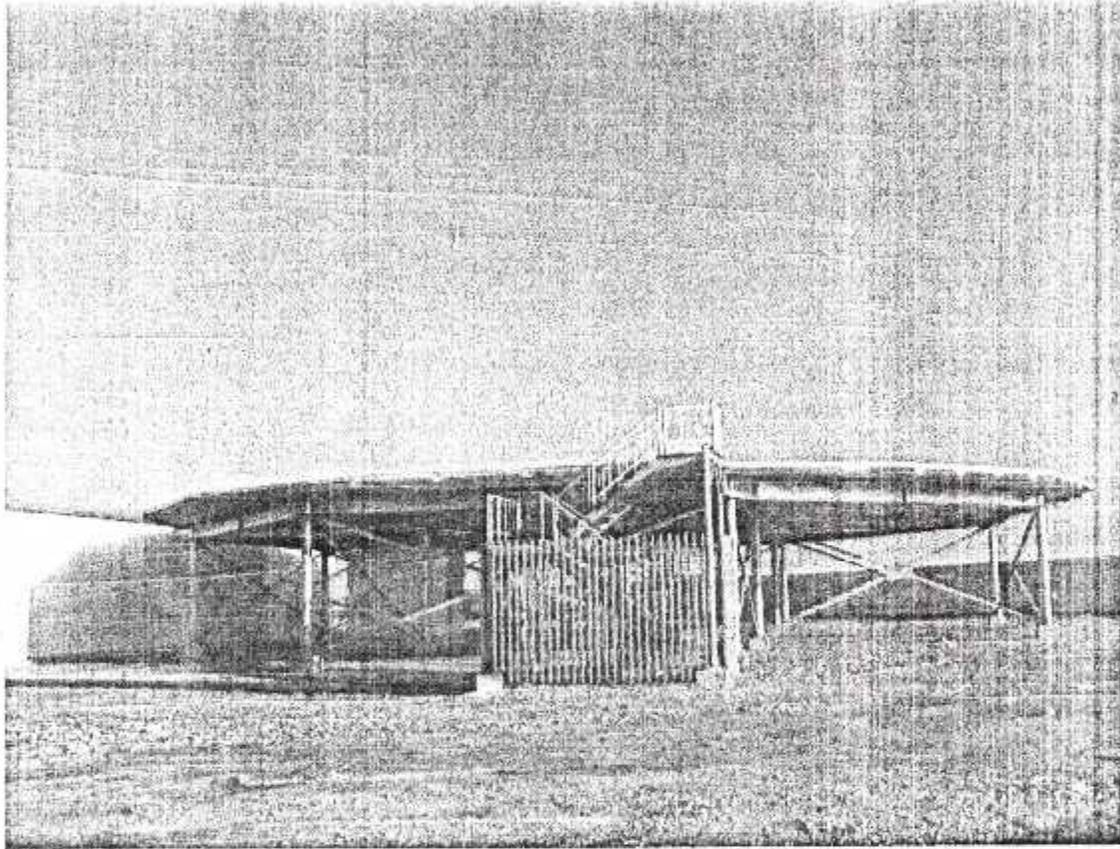


Fig.1.18 Vue générale de la station VOR-DME

Les fréquences sont appariées suivant un tableau OACI (20 voies VOR appariés à 100 voies DME Mode x plus 10 voies mode y).

Ce qui permet à bord le choix simultané et sans erreur des fréquences VOR et DME. Les indicatifs sont identiques et combinés en 30 secondes à indicatif DME plus 3 indicatifs VOR.



I.4. L'ADF:

L'ADF est l'indicateur principale des informations données par les stations sol NDB et LOCATOR qui sont aussi des moyens importants pour la navigation en route, c'est pour quoi nous devons en parler.

C'est quoi un NDB et un LOCATOR?

-Le NDB, acronyme de « non directionnal beacon », est une balise de forte puissance émettant un signal dans les basses et moyennes fréquences (200 à 420 Khz). Sa portée est d'environ 200 Nm.

-Le LOCATOR est aussi une balise de faible puissance émettant un signal dans les basses fréquences (200 à 420 Khz) et don't la portée est d'environ 25 Nm.

I.4.1. définition de l'ADF:

L'ADF (Automatic Direction Finder) est un Radiocompas automatique basé sur des émetteurs à basse et moyenne fréquence basés au sol (LF/MF). Le récepteur de bord indique automatiquement la direction de ces balises émettrices.

I.4.2. Utilisation du récepteur de bord:

A bord, le pilote dispose d'un boitier de commande et d'un cadron de lecture:
 → le boitier de commande(voir Fig.I.19) regroupe des touches parmi les quelles on trouve :

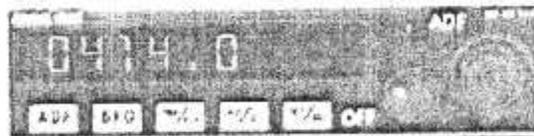


Fig.I.19 Boitier de commande ADF

•Tune:

Afficher la fréquence de l'émetteur (NDB ou station de radio commerciale) sur le récepteur .

•Ident:

Vérifier que la fréquence affichée est correcte et que la station reçue est bien la bonne ou n'est pas en panne. On doit pouvoir, en augmentant le volume,



reconnaître l'indicatif morse de la station NDB. Si le signal n'est pas émis, le signal reçu n'est pas fiable (on doit avoir une réception continue).

•Test:

Appuyer brièvement sur le bouton ANT du récepteur et vérifier que l'aiguille tourne à 90°, puis revient

Revenir en mode ADF et vérifier que l'aiguille revient à sa position initiale par le plus court chemin.

→ le cadron de lecture (voir Fig.1.20)

Il est constitué d'une rose graduée qui peut être fixe ou mobile manuellement.



Fig.1.20 Cadron de lecture ADF

I.4.3. Réception des signaux :

Le récepteur de bord reçoit le signal émis depuis l'émetteur par l'intermédiaire de deux antennes:

1- L'antenne à cadre (direction du signal) reçoit le signal avec une intensité maximale lorsqu'il est parallèle à celui-ci et nulle lorsqu'il est perpendiculaire. On peut déterminer la direction du signal à 180° près.

2- L'antenne de lever de doute permet de compléter la détermination de la direction de l'émetteur.

L'ADF permet d'indiquer la direction de la station par une aiguille mobile sur une rose fixe ou mobile.

L'aiguille de l'instrument pointe toujours vers la station quelque soit la position de l'avion. (voir Figure ci-contre)



Fig.1.21 Indicateur de balise NDB



I.4.4. passage et interception de la station :

L'aiguille de l'ADF est sensible aux changements de cap.

Donc le gisement indiqué est différent suivant ce cap suivi par l'avion.

Si le cap augmente, le gisement diminue. Si le cap diminue, le gisement augmente.

Au passage verticale de la station, l'aiguille de l'ADF tourne dans tous les sens avant de faire un demi-tour complet pour s'immobiliser vers la queue de l'avion, indiquant que le radiophare se trouve derrière l'avion si on vole à cap constant par le travers d'une station. Au fur et à mesure de la progression de l'avion, l'aiguille se déplace vers la queue de l'avion (180° de l'indicateur) comme le montre la Figure.I.22

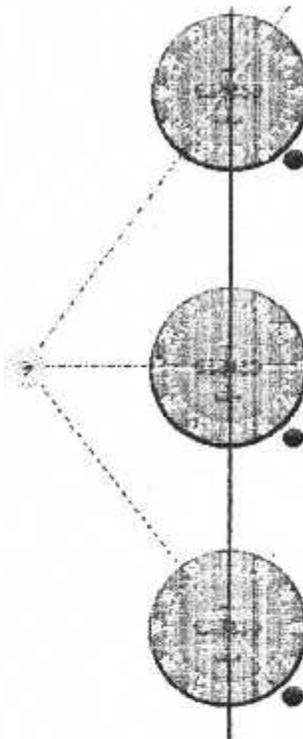


Fig.I.22 Lecture d'information

Une route prescrite qui relie deux radiophares non directionnels (émetteurs NDB) s'appelle Voie aérienne Basse ou Doyenne fréquence (LF/MF). (Fig.21)

Elles sont indiquées sur les cartes aéronautiques :

- En trait point ou en grisé sur les cartes VNC
- En vert sur les LO-en route
- Leur plancher est à 2200ft/sol, elles sont en espace aérien non contrôlé.

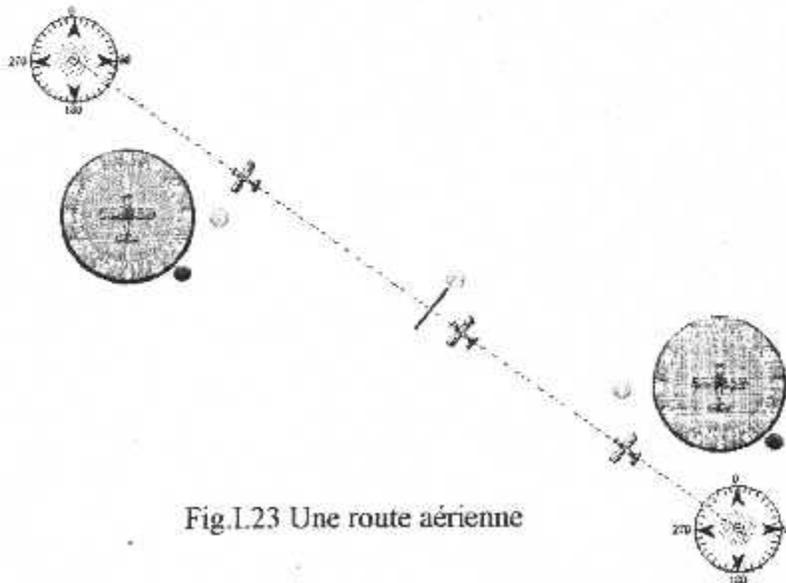


Fig.I.23 Une route aérienne



Concernant l'interception de la station on a deux cas :

1-Route en rapprochement de la station: (voir l'exemple de la figure ci- dessous)

La route en rapprochement doit être à moins de 60° de la route actuelle, les étapes à suivre sont :

- 1-Virer sur le même cap que l'axe ADF désiré.
- 2-Virer à 90° en direction de la pointe de l'aiguille.
- 3-Dès que l'aiguille arrive au niveau du saumon d'aile (gisement de 090° ou 270°), virer vers la trajectoire désirée.
- 4-Maintenir la pointe de l'aiguille dans le 0 du cadran de ADF (sans vent).

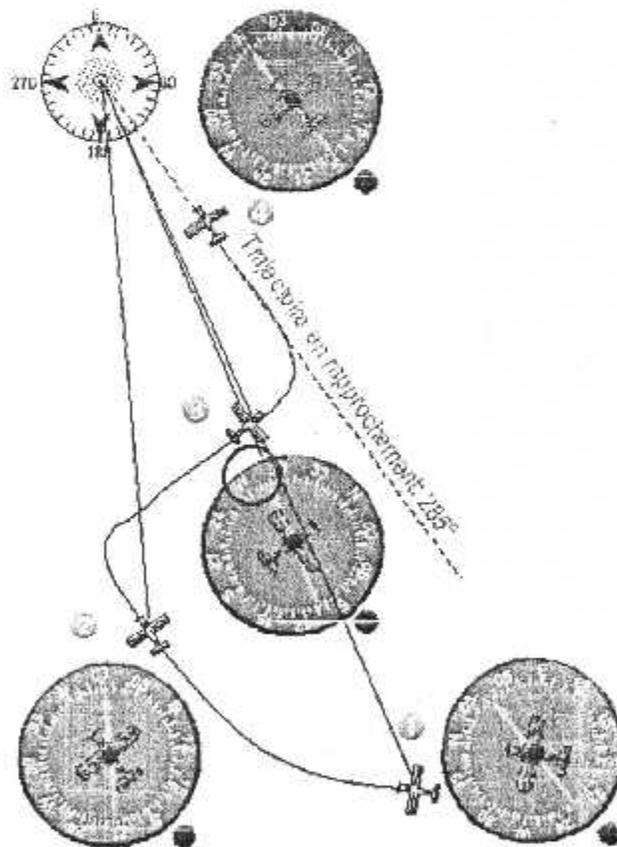


Fig.I.24 Route en rapprochement de la station



2-Route en éloignement : (voir Fig.I.25)

Elle doit être à moins de 135° de l'actuel route en éloignement, pour cela les étapes à suivre sont :

- 1-Virer sur le même cap que l'axe ADF (route en éloignement) désiré.
- 2-Virer à 90° en direction de la pointe de l'aiguille (Cap +/-90°).
- 3-Dès que l'aiguille arrive au niveau du saumon d'aile (gisement de 090° ou 270°), virer vers la trajectoire désirée (90° vers la queue de l'aiguille).
- 4-Maintenir la queue de l'aiguille dans le 0 du cadran de l'ADF (sans vent).

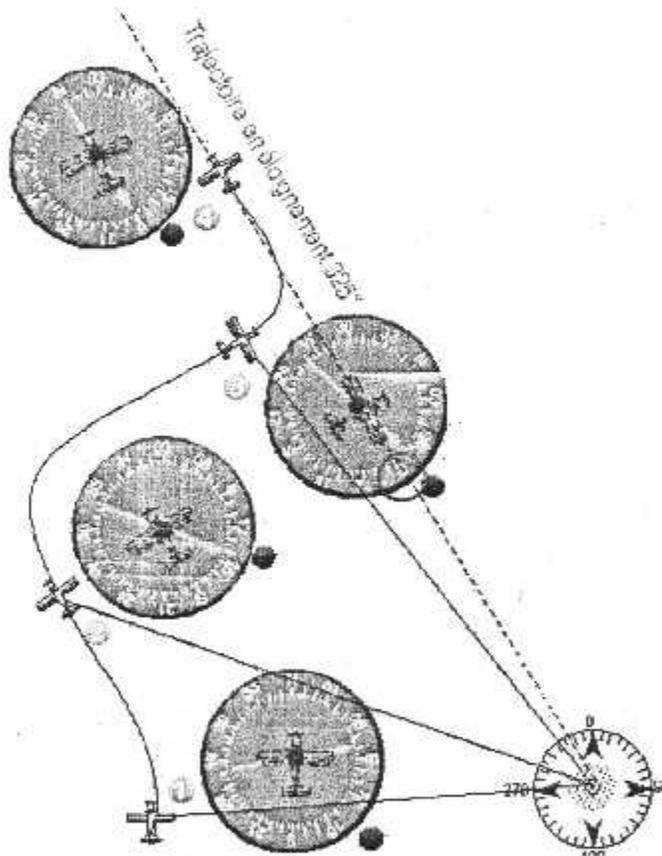


Fig.I.25 Route en éloignement

Lorsque des stations NDB sont à proximité de la route choisie, l'ADF peut être utilisé pour matérialiser des repères au sol.



I.4.5. Repérage à l'aide de l'ADF :

~ Déterminer sur la carte le relèvement de la station depuis le repère au sol, en ajoutant la déclinaison magnétique.

Exemple (Fig.I.26): Relèvement 090 Mag.

~ En déduire le gisement attendu du repère:

Gisement = Relèvement - Cap.

~ Au cours du déplacement de l'avion, l'aiguille de l'ADF s'abaisse vers le bas de l'instrument.

On sait que l'avion a atteint le repère au sol lorsque l'aiguille de l'ADF indique le gisement calculé.

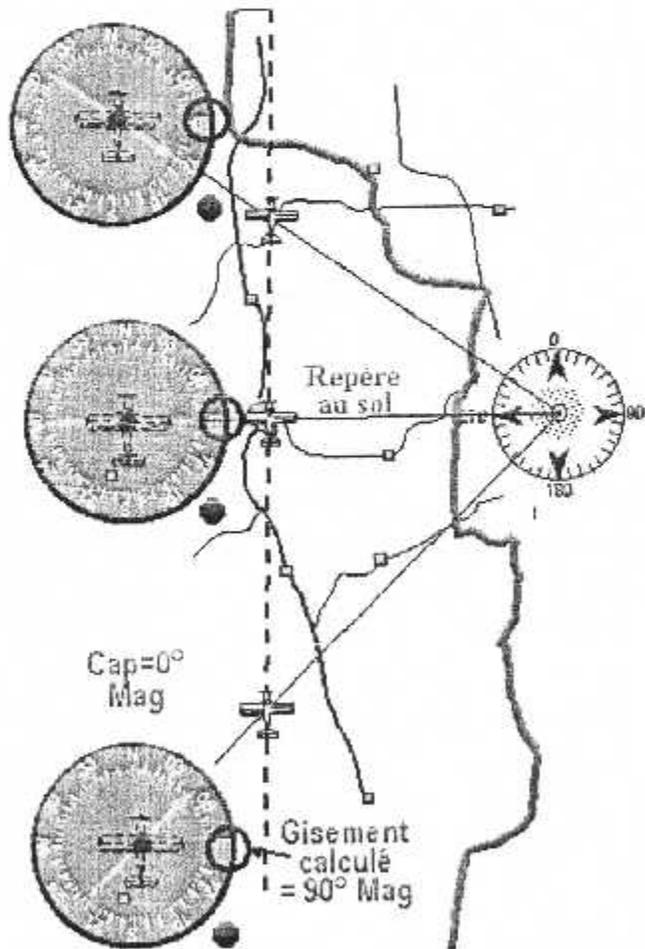


Fig.I.26 Repérage ADF



La position d'un avion peut être reportée sur une carte à l'aide de relèvements obtenus de deux émetteurs NDB ou plus.

Pour ce faire on doit (Fig.I.27) :

a-noter, pour chaque station le gisement de la station et le cap de l'avion.

En déduire le relèvement depuis l'avion:

CAP+Gisement=Relèvement (ex: 090+195=285).

b-Calculer le relèvement DEPUIS la station:

relèvement+/-180 (ex: 285-180=105°).

c-Tracer les lignes de position résultantes sur la carte (utiliser les roses de la carte). L'intersection de ces lignes représente la position-sol.

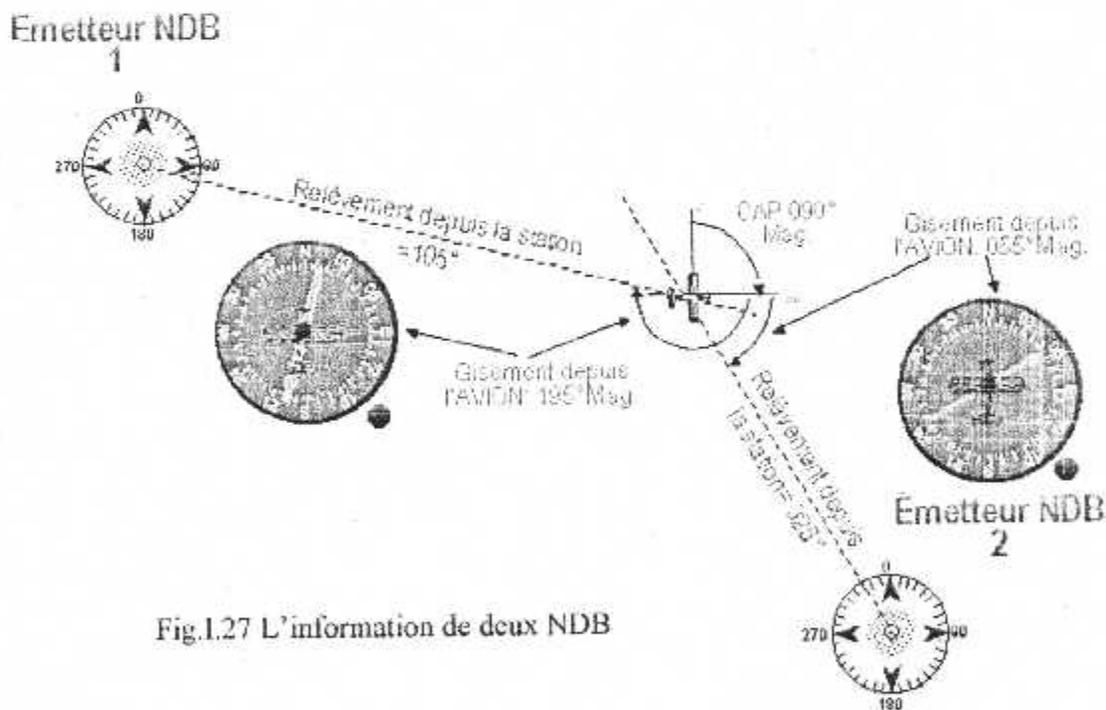


Fig.I.27 L'information de deux NDB

I.4.6. Correction de dérive :

Une fois l'avion stabilisé sur une route en rapprochement ou éloignement, il existe une dérive due au vent ou l'aiguille indique la direction d'où vient ce vent.



On va commencer la dérive due au vent jusqu'à obtenir un gisement constant et faire les corrections suivantes :

→ **En rapprochement:**

L'aiguille part à gauche ⇒ le vent vient de la gauche. donc le processus est :

- Altérer le cap actuel de 20° dans la direction du vent, c'est le nouveau cap d'interception.
- Maintenir ce cap d'interception jusqu'à ce que l'aiguille indique un angle de 20° par rapport au nez de l'avion.
- L'axe est de nouveau intercepté. Pour rester sur l'axe, prendre une correction de dérive égale à la moitié de l'angle d'interception.

La correction de dérive est correcte si l'aiguille ne bouge plus jusqu'à la station. Si la correction n'est pas suffisante, l'aiguille se remet à bouger dans la direction du vent (Fig.I.28).

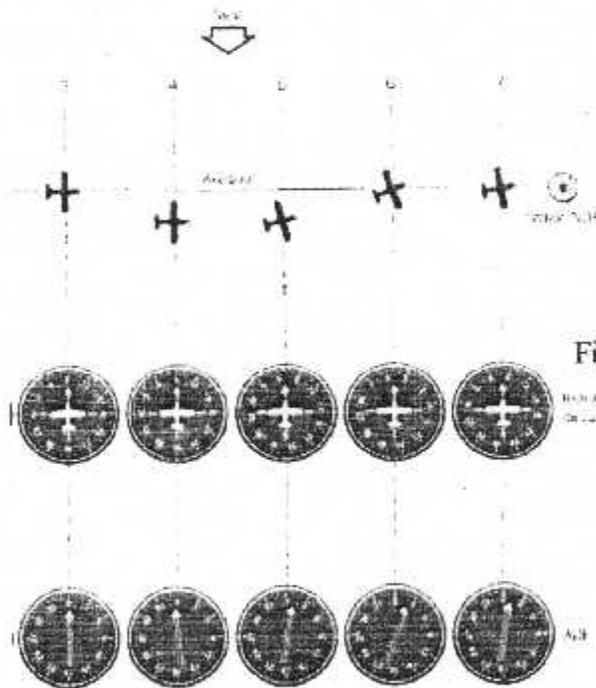


Fig.I.28 Correction de dérive en rapprochement

→ **En éloignement:**

L'aiguille part à gauche ⇒ Le vent vient de la gauche. donc le processus est :

- Altérer le cap actuel de 20° dans la direction du vent, c'est le nouveau cap d'interception.
- Maintenir ce cap d'interception jusqu'à ce que l'aiguille indique un angle de 20° par rapport à la queue de l'avion.
- L'axe est de nouveau intercepté. Pour rester sur l'axe, prendre une correction de dérive égale à la moitié de l'angle d'interception.



La correction de dérive est correcte si l'aiguille ne bouge plus.
Si la correction n'est pas suffisante, l'aiguille se remet à bouger dans la direction du vent (Fig.I.29).

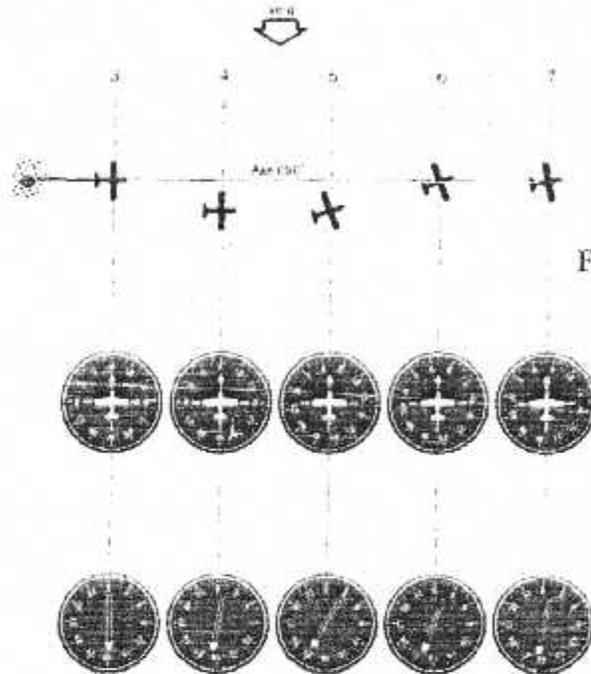


Fig.I.29 Correction de dérive en éloignement

I.4.7. Avantages et inconvénients :

Avantages :

- Grande portée:
 - Les signaux suivent la courbure de la terre.
 - La portée de l'émetteur dépend de la puissance .
- faible coût d'installation:
 - Permet de l'installer partout au Canada y compris régions éloignées

Inconvénients:

- Sensibilité aux orages:
 - L'ADF s'oriente vers la source des éclairs au lieu de la station n Effet côtier:
- Effet cotier :
 - En vol au dessus de la mer, les signaux émis depuis la côte un angle inférieur à 30° ne sont pas fiables.
- Erreur de roulis:
 - Erreur de l'antenne réceptrice pendant les virages.
- Effet de nuit :
 - Mauvaise fiabilité des signaux avant le coucher et juste avant le lever du soleil
- Effet de montagne:
 - Réflexion et déviation des signaux.



I.5. L'ILS :

I.5.1. Définition :

Les instruments étudiés précédemment permettent d'exécuter des finales mais leur précision est insuffisante et ne permettent pas l'atterrissage quand les conditions météorologiques deviennent inférieures à un seuil donné. On a donc été amené à créer un système permettant la finale avec une très grande précision : il s'agit de l'ILS (Fig. I.30) : INSTRUMENT LANDING SYSTEM (Système d'atterrissage aux instruments). Certains ILS permettent actuellement l'atterrissage par visibilité et plafond nuls

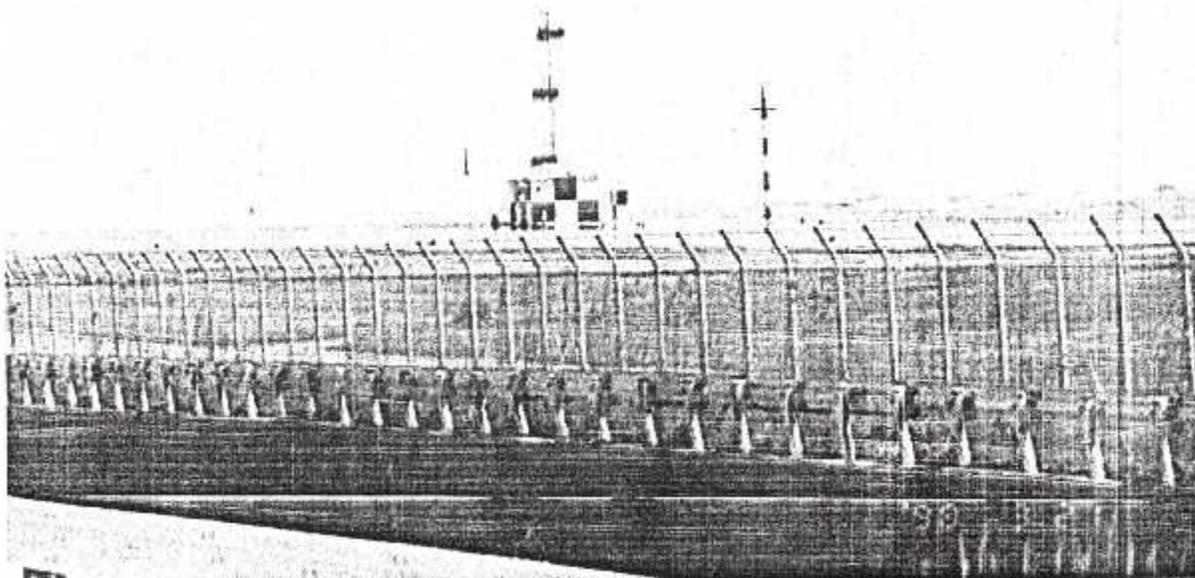


Fig.I.30 Stations de guidage ILS

Les informations délivrées sont les suivantes :

- L'écart par rapport au plan vertical passant par l'axe de piste,
- L'écart par rapport au plan de descente,
- Distance par rapport au seuil de piste.

L'information de distance est discontinue, elle a lieu à trois reprises maximum, et le plus souvent, à deux reprises.

CHAPITRE I : Généralités sur les systèmes de navigation



L'ILS se compose donc de trois sous-systèmes :

- le sous-système donnant l'écart par rapport au plan vertical s'appelle le « LOCALIZER » que l'on abrège en LOC (Ne pas confondre alors, avec LOCATOR) ou LLZ.
- Le sous-système donnant l'écart par rapport au plan de descente s'appelle le « GLIDE PATH » ou « GLIDE SLOPE » quelquefois que l'on abrège en GLIDE ou ALI (pour alignement de descente).
- Le sous-système donnant la distance est composé de trois balises maximum appelées BORNES ou RADIOBORNES ou MARKERS.

Nous étudierons séparément ces trois sous-systèmes.

I.5.2. Equipement sol (Localizer et Glide) :

I.5.2.1. Le Localizer :

Le localizer est un système d'antennes au sol qui émet un signal sur une fréquence. L'avion reçoit le signal et l'exploite. La bande de fréquence utilisée est la gamme VHF :

de 108.00 MHz à 112.00 MHz tous les dixièmes IMPAIRES (I comme ILS pour mémoire). Exemple: 108.1 MHz

Nous rappellerons ici que les dixièmes pairs sont des fréquences VOR de faible puissance. La boîte de commande de bord est donc celle du VOR.

Le localizer comporte une antenne centrale et plusieurs paires d'antennes latérales (voir Fig.I.31) dont le but est de rendre le diagramme le plus directif possible ; on diminue ainsi les réflexions parasites qui créent des distorsions de l'axe. C'est aussi la raison d'utiliser une polarisation horizontale. Par ailleurs, pour rendre le faisceau directif, on doit utiliser l'ILS que pour un seul QFU (sens d'atterrissage).

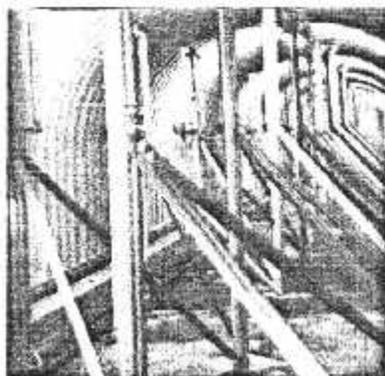


Fig.I.31 Antenne localizer



I.5.2.2. Le glide :

Le Glide est un système d'antennes au sol qui émet un signal sur une fréquence. Comprise dans la gamme UHF : 329.3 MHz (inclus) à 334.7 MHz (inclus) tous les 3 dixièmes.

Cette bande de fréquences est située à l'intérieur de la bande phonie UHF. L'utilisation d'une fréquence UHF proche (compte tenu du pas de l'équipement) d'une fréquence glide, ou égale (c'est le cas pour 332 et 335 MHz) perturbe ce dernier. Il convient donc de choisir correctement les fréquences de travail.

Comme le VOR/DME, les fréquences glide sont appariées aux fréquences localizer.

Par suite, sur la boîte de commande, l'affichage d'une fréquence localizer entraîne l'affichage automatique de la fréquence glide appariée.

Les fréquences utilisées sont dans la documentation aéronautique.

Pour les mêmes raisons que le localizer, la polarisation est horizontale. On trouve quelquefois une troisième antenne au milieu des deux autres qui sert à tester le glide. La puissance est de l'ordre de 30 W.

Quelquefois, quand les approches ont lieu au dessus de l'eau et que la réflexion n'est pas stable, on utilise des antennes directives pour le glide

La stabilité en fréquence est $\Delta f = 2 \cdot 10^{-5}$.

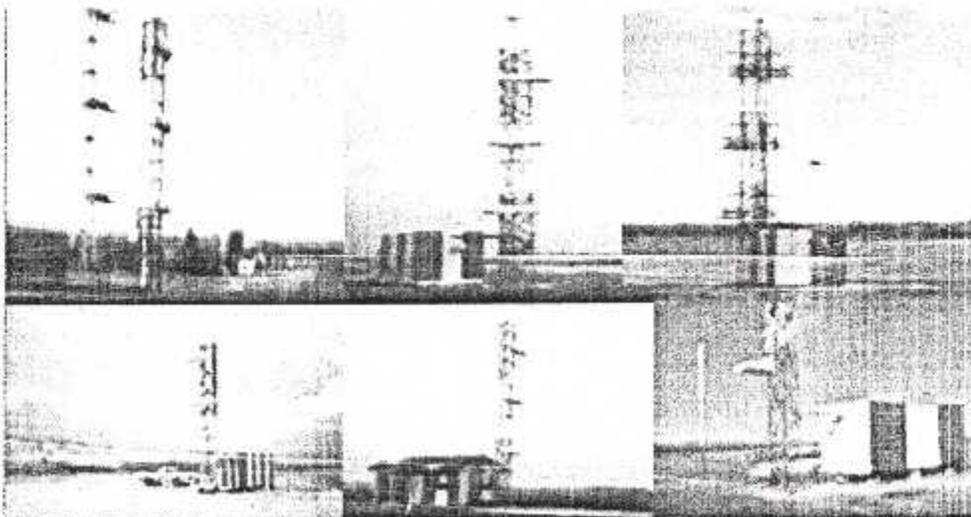


Fig.I.32 Vue générale des glides.



I.5.3 Équipement de bord (Localizer et Glide) :

L'équipement de bord se compose d'une boîte de commande et des indicateur d'affichage.

La boîte de commande est celle du VOR. L'affichage d'une fréquence localizer entraîne l'affichage automatique de la fréquence glide appariée et sélectionne la voie de traitement ILS. L'indicateur est un indicateur à aiguilles croisées.

On a deux « flagsalarm » : un pour le glide et un pour le Loc. Ils apparaissent si l'équipement de bord est défectueux, si l'équipement sol est défectueux, si on est hors de portée du sous-système concerné, si l'on est hors des gobes (cas du localizer) ou lorsque la porteuse est au voisinage de l'extinction (cas du glide).

Un système peut marcher indépendamment de l'autre. On peut donc faire des finales avec le localizer seul (glide défectueux) ; les minima sont alors moins performants qu'avec le glide. On notera que l'ILS est inexploitable en cas de panne du localizer (même si le glide fonctionne), car il est très dangereux de descendre sans référence à un axe même si cet axe peut être donné par un autre moyen (les procédures sont en effet différentes selon le moyen utilisé).

I.5.4. Utilisation en vol

L'ILS est utilisable en phase d'approche/atterrissage.

Le sens de la déviation de l'aiguille désigne le sens de la manoeuvre à entreprendre pour rattraper :

- L'axe de la piste (LOC) ;
- Le plan de descente (Gilde).

I.5.5. LES MARKERS :

Les markers sont des balises radioélectriques qui émettent un faisceau très étroit. Ils constituent une aide à la navigation (petite et moyenne distance). Ils sont généralement placés sur l'axe d'approche finale. Toutefois certains servent comme points de report en route (fan markers).

Ils fonctionnent dans la gamme VHF 75 MHz. Ces balises fournissent une information discontinue de distance par rapport au seuil de piste.

Un ILS est presque toujours associé à des markers, qui peuvent être complétés par un DME Att implantés sur le Glide.



Dans la pratique, il y a 3 markers associés à LILS

- l'outer marker (balise extérieure)
- le middle marker (balise médiane)
- l'inner marker (balise intérieure)

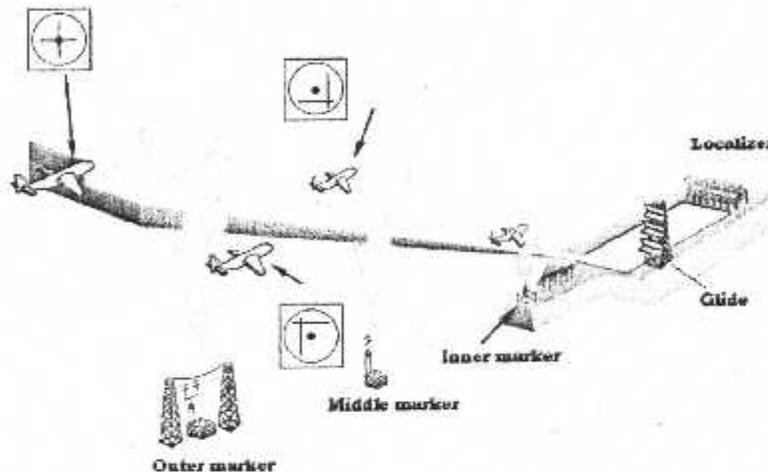


Fig. I.33 Les balises markers

Lorsque l'avion passe dans ce faisceau, une lumière clignotante de couleur s'allume sur le tableau de bord et un signal sonore est émis :

- O Outer MARKER -- 2 traits/seconde
- M Middle MARKER -, 1 trait 1 point/seconde
- I Inner MARKER 6 points/seconde

La couleur de la lampe (Fig.32) et le signal sonore sont fonction de leur distance par rapport à la piste.

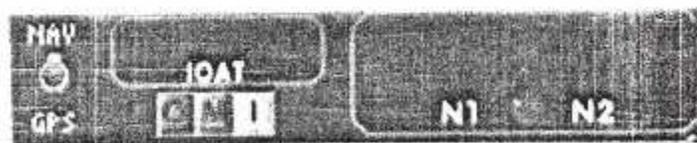


Fig.I.34 Lampes des markers à bord



I.5.6. RADOME POUR SYSTEME ILS :

Après consultation au niveau européen, sous le contrôle des Services Techniques de la Navigation Aérienne, la fabrication de radômes a été confiée à la société "Fibres de Verre" de Marseille pour protéger l'ensemble antennes et réflecteurs ILS sur les aéroports où les conditions météorologiques sont particulièrement difficiles : vent, neige, proximité de la mer, flux des réacteurs d'avion. Pour les mêmes raisons, les circuits de distributions et recombinaisons, habituellement placés derrière le réseau, sont placés dans le radôme.

Les deux premiers radômes ont été construits à St Pierre et Miquelon en 1993 et 1996. L'électronique du localizer est un Thomson ILS 381 bifréquence doublée, alimentation ALC101 double. Un réseau de 25 antennes plan s'est avéré nécessaire : piste courte 1250 m, hangars d'un côté, relief de l'autre. Le radôme de St Pierre a une envergure de 58m, une largeur de 3,60m et une hauteur de 2,90m. Il est prévu pour résister aux conditions extrêmes : vent 200km/h, neige 90 cm, température -15°C. Il est constitué de panneaux réalisés en fibre de verre et résine polyester avec une structure élaborée. Une porte d'accès est installée à chaque extrémité, le passage devant les antennes et derrière le réflecteur est confortable. Ce type d'installation de localizer "tout à l'abri" apporte une stabilité accrue des paramètres et une maintenance aisée par tous les temps, contribuant ainsi à l'amélioration de la sécurité aérienne.



Fig.1.35 Radôme de l'aéroport de Saint Pierre et Miquelon



Fig.1.36 Vue des antennes ILS à l'intérieur du radôme



I.6. LA CENTRALE INERTIELLE :

I.6.1. Présentation :

La centrale inertielle ou IRS (*Inertial Reference System* ou *INS* pour *Inertial Navigation System*) est un système de navigation autonome.

Les avions équipés d'IRS ont donc la possibilité de survoler des régions désertiques ou des océans où le recalage par des stations VOR-DME demeure impossible.

L'IRS détermine principalement des informations de caps, d'attitude, d'accélération et de navigation.

I.6.2. Principe de fonctionnement :

Le principe sommaire de fonctionnement d'une centrale inertielle repose sur la double intégration de l'accélération afin de pouvoir déterminer la position de l'avion. En effet, connaissant à la fois l'accélération subie à chaque instant, la position initiale de l'aéronef ainsi que sa vitesse initiale, généralement à l'instant $t=0$. Il est alors possible de déduire sa position instantanée.

Avant toute chose, il faut donc déterminer l'accélération du centre de gravité de l'avion.

Le vecteur accélération sera calculé à l'aide de trois accéléromètres formant un trièdre accélérométrique.

Dans le cas d'une centrale inertielle à plate-forme stabilisée, ces trois accéléromètres sont disposés sur une plate-forme asservie à conserver une orientation déterminée dans le temps.

Dans le cas d'une centrale inertielle à composants liés ou centrale «Strap Down» les trois accéléromètres sont rendus solidaires de la structure de l'avion et leur orientation instantanée est déterminée par des gyromètres.

Les accéléromètres, chacun aligné sur un axe de mesure coïncidant avec les trois axes de référence de l'avion, mesurent l'accélération sur les trois axes, alors que les gyromètres mesurent les changements d'attitude sur les trois axes.

Les centrales inertielles sont donc composées en règle générale de trois éléments : des accéléromètres, des gyromètres (ou gyromètres laser) et des calculateurs.

Le calculateur IRS est représenté dans la figure.I.37 ci-dessous.

En sortie, les IRS donnent des informations au pilote automatique, au FMS, au radar météorologique (stabilisation de l'antenne) et au GPWS pour la détermination des enveloppes de calcul des différents modes.



- 1-Ecran d'affichage
- 2-Sélecteur de paramètres (DSPL SEL)
- 3-Sélecteur de mode (SYS DSPL)
- 4-Les voyants d'alerte
- 5-Clavier
- 6-Sélecteurs de modes (MSU)

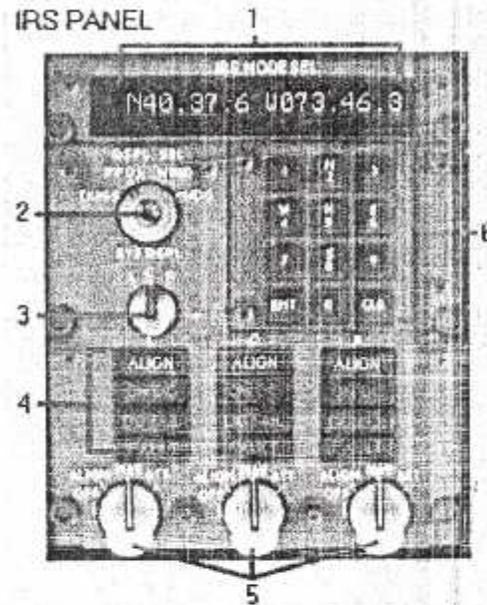


Fig.I.37 Boiter de commande IRS

I.7. LE GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTÈME):

I.7.1. HISTORIQUE

Le département de la défense a activement poursuivi le concept d'un système de navigation par radio basé sur l'utilisation des satellites et cela depuis le début des années soixante. La marine et l'Armée de l'Air USA ont développé des systèmes pouvant fournir avec précision la position, la vitesse et les données de temps pour des applications militaires.

Les satellites de GPS transmettent sans interruption le signal fortement surveillé de position et de synchronisation qui permet à un récepteur GPS de déterminer sa portée au satellite de transmission. En observant et en dépistant les satellites multiples, le récepteur GPS peut exactement déterminer sa position dont la longitude, la latitude, et l'altitude, permettant à la navigation précise de point-to(point d'être exécutée). En plus, le module de réception GPS surveille indépendamment l'intégrité de sa position sans référer à d'autres systèmes de navigation.



Le GPS a réalisé ses possibilités de fonctionnement initiales mais son sujet a quelques limitations et lacunes dans l'assurance. La technologie courante de récepteur est capable de déterminer (et affirmer) la disponibilité satellite et le niveau résultant de la rentabilité du GPS pour différentes phases de vol. Le GPS est approuvé lorsque on utilise la certification correctement et installer l'équipement pour l'IFR.

Le GPS se compose de trois segments fonctionnels distincts:

(A.) le segment de l'espace, (B.) le segment de contrôle et (C.) le segment utilisateur. La discussion suivante de ces éléments inclut l'assurance du récepteur autonome de surveillance d'intégrité (RAIM), la détection de défaut et l'exclusion (FDE) et la limite Horizontal d'intégrité (HIL).

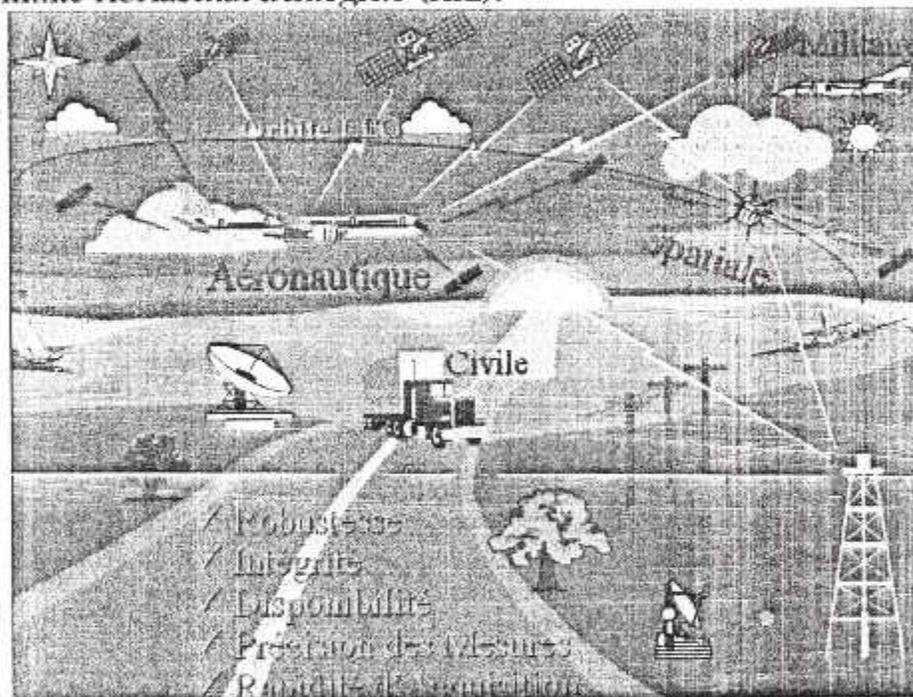


Fig.I.38 Les segments de GPS

I.7.2. AVANTAGES DU SYSTEME GPS:

A. ASSURANCE DU SIGNAL :

Les critères de conception pour le GPS sont basé sur la visibilité de quatre satellites au minimum et cela de n'importe quel point sur la terre, 24 heures par jour. Une constellation de 24 satellites opérationnels fournit cette assurance quand toute est fonctionnelle. Les satellites additionnels doivent assurer l'assurance en cas des échecs satellites et pendant le test de routine. Tandis que l'assurance étendue est disponible quand le DOD a déclaré les possibilités opérationnelles initiales (décembre 1993), elles sont sujettes toujours à des lacunes variables dans l'assurance.

**B. EXACTITUDE :**

L'exactitude du système GPS pour l'application civile est seulement limitée par l'utilisation du code C/A. Les erreurs mineures et cumulées sur l'ordre de quelques pieds à 100 pieds se produisent chaque retard atmosphérique, des caractéristiques d'équipement et de traitement et des limitations de données d'almanac. Avec quatre satellites visibles, l'exactitude de système de moins de 0,2 milles marins (1,200 pieds) est facilement possible. Dans la pratique, les erreurs de position peuvent être aussi petites que 82 pieds.

DOD nous assure que la dégradation de code C/A du GPS induira des erreurs de positionnement latérales pour ne pas excéder 100 mètres (330 pieds) 95 % du temps, ou 300 mètres (900 pieds) 99,99 % du temps.

Les erreurs de positionnement verticales ne doivent pas excéder 156 mètres (515 pieds) 95 % du temps et 500 mètres (1,650 pieds) 99,99 % du temps.

I.7.3. MOYENS PRIMAIRES DE NAVIGATION DU GPS :

Le FMS est, en même temps qu'un GPS interne ou un GPS externe approprié, acceptable pour l'usage en tant que des moyens primaires de la navigation dans le cubage de distance/océanique en utilisant le GPS selon la fourniture de la notification 8110,60 de FAA. Des conditions de logiciels en plus d'un programme de prévision de RAIM sont exigés pour vérifier qu'une intégrité proportionnée existera pour le vol proposé.

I.7.4. LIMITATIONS :**A) DISPONIBILITÉ :**

Avec les possibilités de fonctionnement initiales, une limitation importante imposée par des conditions d'essai de système étendu a été enlevée. Comme mentionné, quand le système est totalement opérationnel, l'assurance est conçue pour être visible 24 heures par jour en tout points au-dessus de la terre. Actuellement, IOC laisse a certifié les installations à utiliser comme système de navigation primaire dans des conditions d'IFR sans contrôle continu de la position par les navaid additionnels.

**B) CERTIFICATION :**

Le GPS peut être utilisé pour des opérations de l'enroute IFR (océaniques et domestiques), des opérations terminales, et des approches d'imprécision assumant une installation d'avion approuvée par FAA.

L'approbation pour l'usage du GPS pour des approches est affirmée aux systèmes de navigation traditionnels de l'avion, la TSO C129 de réunion de GPS et ayant l'intégrité autonome de récepteur surveiller les possibilités (RAIM), et l'équipement étant une installation approuvée.

Pour une approche de non précision, l'équipement de navigation traditionnel dans l'avion ou sur la terre n'est pas exigé pour être installé, opérationnel, ou pour être surveillé. Cependant, pour une approche à l'aéroport de remplacement, à tous équipement requis traditionnel dans l'avion et sur la terre, doit être installé et opérationnel.



CHAPITRE II

Description du système de gestion de vol



II.1. INTRODUCTION :

Les impératifs économiques liés à l'exploitation du transport aérien ont conduit les compagnies aériennes à se soucier constamment de l'efficacité dans l'utilisation en exploitation de leur avions et donc à rechercher la diminutions des coûts .

Si les premiers développements de l'avionique numériques(fin des années 70) ont concerné les aides au pilotage(directeur de vol, protections automatiques, pilote automatique...) dans le but d'accroître la sécurité et la régularité dans le service offert aux passagers, très vite cette technologie a été appliquée à la résolution des problèmes liés à la gestion du vol. les premiers systèmes de gestion du vol (Flight Management Systèmes) ont été certifiés en 1984 sur Boeing 747Classique/757-200/767-200)et sur Airbus(A310-200) .

Les principaux avantages escomptés de l'emploi d'un système de gestion de vol sont:

→ La minimisation des coûts d'exploitation :

Les dépenses de carburant chez Air France en 1993 ont été de l'ordre de 4miliard de francs pour 3.2 millions de tonnes consommées par 140 000 vols. Une économie de 1% sur la consommation de carburant représente donc environ 40 million de francs.

Comment diminuer de 1% la consommation de fuel ?

Ceci pourra être obtenu par exemple en choisissant une étape de 500 miles nautiques, une route plus directe et qui la raccourcit de 6 à 7 Nm, ou encore en choisissant un niveau de vol plus bas de 4000 ft par rapport à l'altitude optimale théorique si le vent y est moins défavorable de 25kts .

Comment augmenter de 1% la consommation de carburant ?

Ceci peut être obtenu :

- en entamant la descente une minute plus tôt(55kg de + pour l'A300, 150kg pour le B747)
- en volant 1 point de mach(0.01) trop vite à l'altitude optimale .
- en volant trop bas de 1000' en croisière .
- en transportant inutilement une tonne supplémentaire de carburant sur A320.



comment peut on éviter d'augmenter de 1% la consommation de carburant ?

c'est le rôle du système de gestion du vol d'aider le pilote à prendre à chaque étape du vol les décisions qui conduiront à la minimisation des coûts qui tiennent comptes non seulement des coûts du carburant mais aussi des gains de temps .

→ la diminution de la charge de travail de l'équipage :

L'automatisation des fonctions de gestion du vol contribue à rendre possible le pilotage à 2, conduisant donc aussi à la réduction des coûts d'exploitation ; et à ce propos il faut savoir que lors de la livraison des premiers A310-200 à Air France, les équipages AF étaient tellement hostile à l'idée du pilotage à deux qu'Airbus fut obligé d'aménager un poste de pilotage à trois, ce qui fait que les A310 d'AF étaient les seuls au monde équipés pour le pilotage à trois.

II.2. PRÉSENTATION DU SYSTEME FMS :

Les système précurseurs des FMS(B737,A300) se composaient d'une part d'une aide à la navigation de surface(RNAV)et d'autre part du système d'optimisation du profil vertical du vol(performance management Système « FMS »).

Les premiers permettaient la définition d'un plan de vol simplifié et fournissent à l'équipage des informations d'état instantané (position, vitesse, écart latéral de route(STK) et écart d'angle de route(TKE), ainsi que des prévisions (temps estimé de passage au dessus d'un point de report WPT).

Les seconds, souvent du type « advisory », proposaient au pilote des consignes de vol optimisées(niveau de croisière, vitesse, régimes moteurs correspondants) compatibles avec le plan de vol et les conditions atmosphériques(présence de vent).

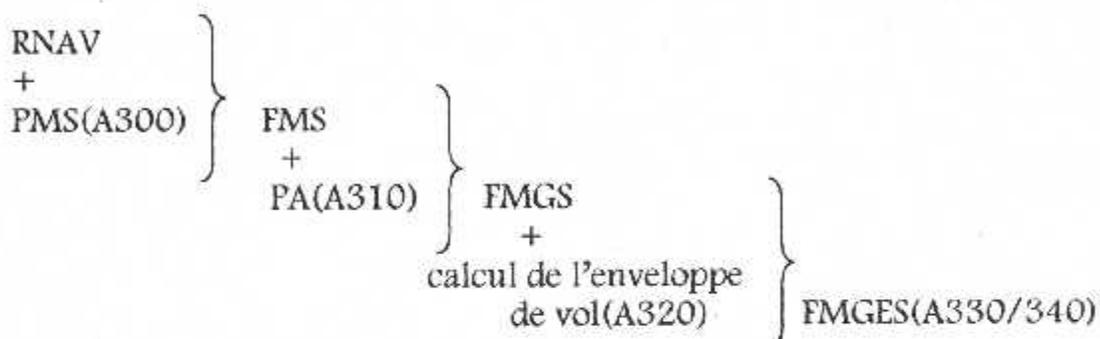
L'intégration des calculs nécessaires à la gestion du vol sur un unique calculateur et le développement de nouvelles fonctions ont conduits à l'apparition des systèmes de gestion de vol dits(Flight management systems « FMS » comme ce fut le cas sur le B767 ou l'A310 en 1985. Ceci a conduit à l'intégration des interfaces de ce nouveau système avec l'équipage : nouveau indicateur de situation horizontale(EHSI ou ND) et l'introductions d'un boîtier de commande et d'affichage(Control & display Unit - CDU)

C'est simultanément que sont approuvés les avions de transport à commandes de vol électriques (CDVE) utilisant des calculateurs de plus en plus puissant et fiables, et que les fonctions de gestion du vol et les fonctions de pilotage automatique ont été intégrées dans un même système(flight management &



Guidance systems - FMGS, pour l'A320 en 1988). Cette tendance s'est poursuivie par l'intégration des fonctions liées aux protections du domaine de vol (Flight Management, Guidance & Enveloppe System - FMGES pour l'A330/340 en 1993). Toutes fois il faut noter que d'un point de vue fonctionnel, chaque sous-système (pilotage, protection et gestion automatiques) gardent leur identité propre.

Pour l'évolution des systèmes de gestion de vol chez Airbus on a :



Enfin, les principales fonctions réalisées par le FMS sont :

- la construction du plan de vol .
- le séquençage du plan de vol .
- l'élaboration de prévisions et l'optimisation des performances .
- l'initialisation (alignement initial au sol) des centrales inertielles .
- La sélection autour des moyens RNAV .
- L'émission d'informations pour l'équipage (EFIS et écran CDU) .
- L'émission d'ordres de pilotage et guidage vers le pilote automatique, directeur de vol et l'auto manette constituant, elle, la partie guidage .

II.3. ARCHITECTURE DU FMS :

L'architecture du système FMS est articulée autour de deux (ou trois) FMC (Flight Management computer) associés à deux (ou trois) CDU (Control Display Unit); le tout relié au pilote automatique. Ces calculateurs sont en relation permanente par la ligne d'intercommunication (Cross Talk).

Les calculateurs FMC, contenant de la mémoire morte et vive, sont alimentés par de nombreuses sources (voir fig.II.1) telles que:

- Capteurs de navigation (associés aux IRS : Inertiel Référence System ou autre moyen - AHRS : Attitude Heading Référence system) .
- Récepteurs ILS.



- Récepteurs VOR-DME.
- Capteurs de conditions de vol (réactualisation de la masse avion par les fuel flow ou jaugeurs carburant, masse introduite initialement par le pilote au parking et températures ambiantes fournies par les ADC (Air Data Computer).
- Montres (heure et date).
- GPWS, etc.

Les calculateurs FMC ont besoin pour leurs calculs d'une importante banque de données (**Data Base**) contenant :

- les paramètres de l'avion (paramètres aérodynamiques, paramètres moteurs, poussées et consommations).
- Les informations d'infrastructure (voies aériennes, Points de report, balises VOR-DME , balises ADE aéroports , procédures de départ et d'arrivée (SID et STAR. etc).
- Les routes compagnie.

La banque de données relative à l'infrastructure (**Nav Data**) est remise périodiquement à jour (une fois par mois) à l'aide d'un chargeur de base de données (**Data Loader**).

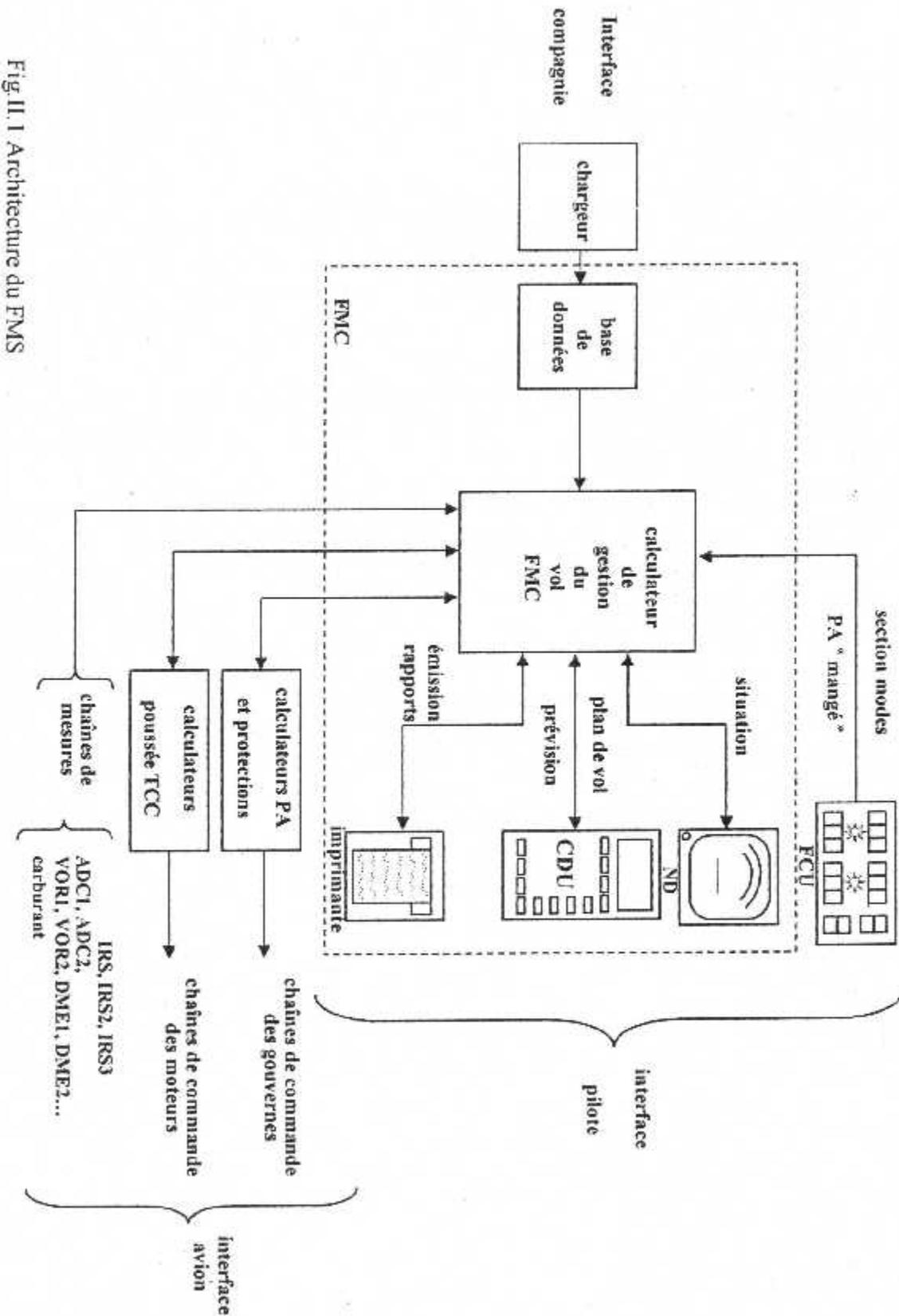


Fig II. 1 Architecture du FMS



II.4. INTERFACES DU SYSTÈME FMS :

Les principales interfaces du système FMS sont:(voir Fig.II.2)

→ L'EFIS (Electronic Flight Instrument System)avec l'image ND (Navigation Display) représentant la situation à la fois dans le plan horizontal et dans le plan vertical(pour certain type d'avion seulement).

En mode horizontal, l'avion y est représenté dans son environnement de navigation (l'itinéraire prévu avec ses way-points, balises les plus proches, aéroports les plus proches, distance et cap pour rejoindre le prochain point du plan de vol, les différentes contraintes d'altitude, le vent calculé à l'altitude, les vitesses propre et sol de l'avion, etc.).

En mode vertical quand il existe, l'avion y est représenté dans son environnement profil de montée prévu. Sur l'axe des ordonnées figure les niveaux de vol (FL) et sur l'axe des abscisses figure les points de report du plan de vol associés à la distance. Par l'utilisation de différents symboles, Le vent effectif, le niveau de vol optimal, les contraintes d'altitude sont également indiqués ainsi que le type de montée retenue (économique, rapide, pente max, etc.).

→ Le CDU (Control Display Unit)qui est l'interface de dialogue entre le Pilote et le calculateur du FMS.(voir chapitre III)

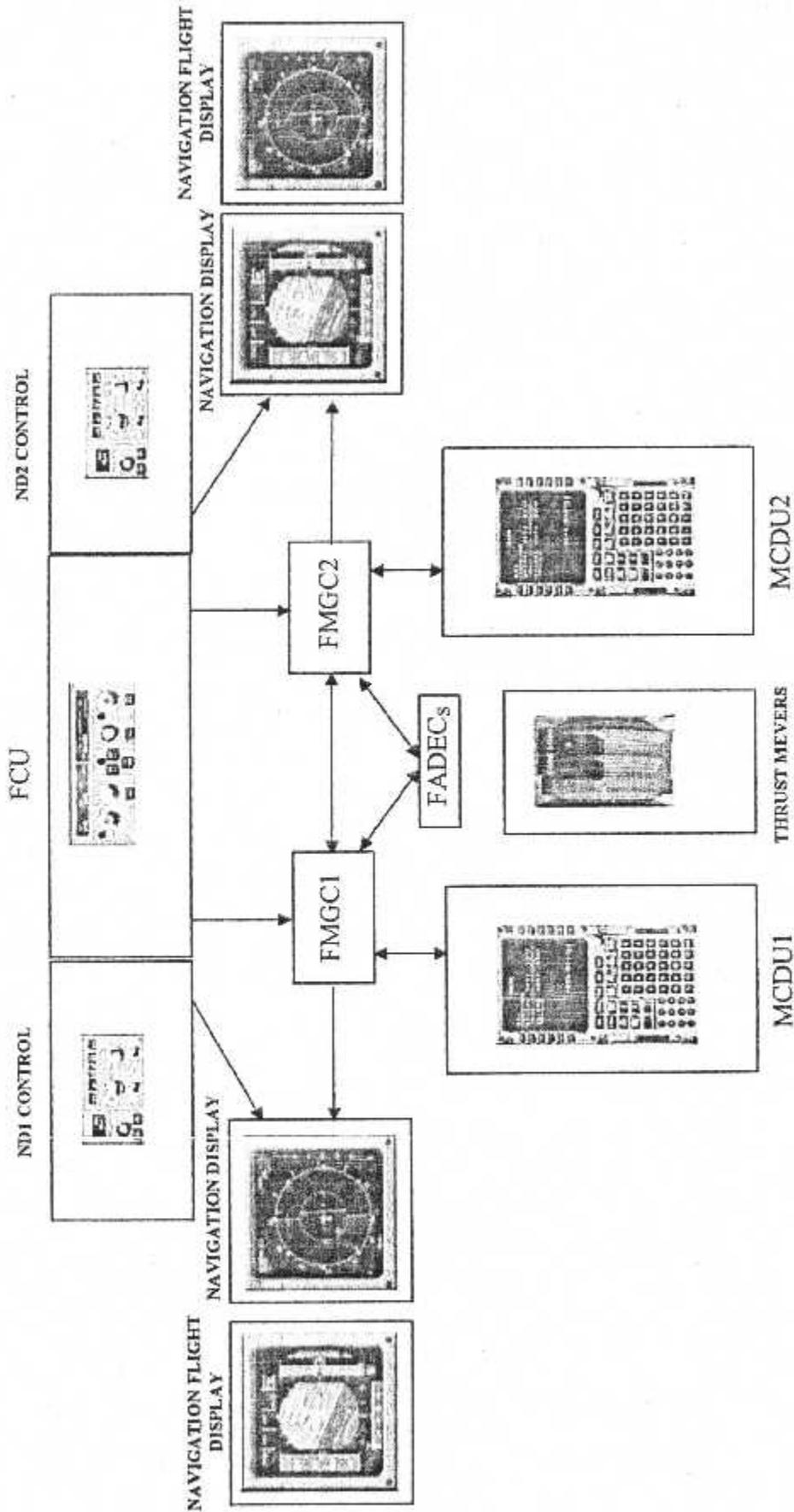


Fig.1.1.2 Interface du système FMS



II.5. AUTOPILOTE :

II.5.1. Définition :

Le pilote automatique a été inventé en 1914 par l'Américain Elmer Sperry. Ce n'est toutefois qu'à partir de 1930 qu'on commença à équiper les avions d'un pilote automatique, après le pilotage aveugle d'un avion par l'Américain James Doolittle le 25 septembre 1929.

Un pilotage automatique permet au pilote de l'avion qui en est équipé de lâcher les commandes et de se reposer. Il agit sur les gouvernes pour stabiliser l'avion le long de sa trajectoire. Il sert parfois à remplacer le pilote d'un avion dans les manœuvres d'atterrissage sans visibilité.

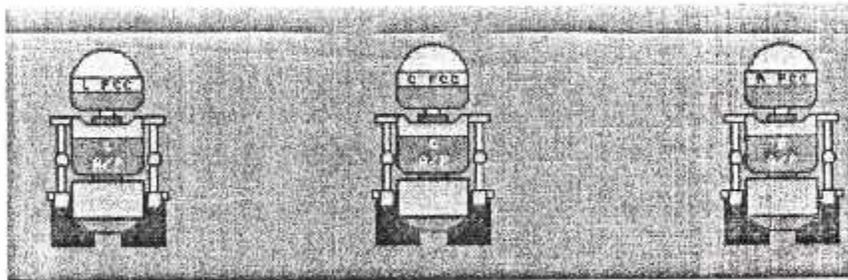


Fig.II.3 Représentation synoptique du PA.

II.5.2. L'intérêt du PA :

Il consiste avant tout à soulager le pilote dans ces tâches pour lui permettre de consacrer à la surveillance et au contrôle du vol, c.à.d il remplace le pilote humain pour certaines tâches à savoir :

1. Diminue l'amortissement des oscillations selon le roulis et la direction.
2. Facilite la commande de l'avion selon l'itinéraire présélectionner à l'aide des signaux du calculateur de bord (OB) ou L'INS.
3. S'occupe de la commande lors des manœuvres d'atterrissage à la fonction des signaux du calculateur de bord (OB) ou L'ADF.
4. Atterrir en régime automatique et directif selon les normes aviation (H=60m, visibilité 800m).
5. Stabilise la vitesse automatiquement.



II.5.3. Fonctionnement :

Le pilote consiste à suivre une trajectoire horizontal et vertical définie, pour ce faite le pilote interprète les instrument a sa disposition et si nécessaire engage une action sur les gouverne correspondante, ce processus peut s'apparenter à un asservissement entre le pilot et la trajectoire du centre de gravite de l'avion.

Pour modifier la position de l'avion dans l'espace (virage, montée, descente), le pilote doit agir sur la gouverne et crée un tangage, un roulis ou bien un lacet.

Le principe de pilotage automatique est identique à celui de pilotage manuelle ou le PA interprète les instrument à sa disposition, pour connaitre la position de l'avion et élaborer des ordres de braquage des gouverne pour modifier cette position si c'est nécessaire.

Le pilote automatique comprend un indicateur qui fournit les consignes de vol, un dispositif de détection qui mesure les différents paramètres du vol et qui les compare aux consignes reçues et des servomoteurs commandés à partir des écarts entre les données du vol et les valeurs de consigne qui agissent sur les gouvernes.

Le dispositif de détection est constitué par un ensemble de gyroscopes. Les indications fournies par ces appareils sont comparées aux valeurs de consigne à l'aide d'un calculateur électronique, le directeur de vol(Fig.II.4), qui dispose en mémoire des lois de pilotage reliant les écarts mesurés aux ordres à transmettre aux servomoteurs. Si l'avion a tendance à se cabrer, par exemple sous l'effet du vent, l'angle mesuré entre l'axe de l'avion et celui d'un des gyroscopes conduit à agir sur les gouvernes de profondeur pour réduire progressivement cet écart à une valeur normale.

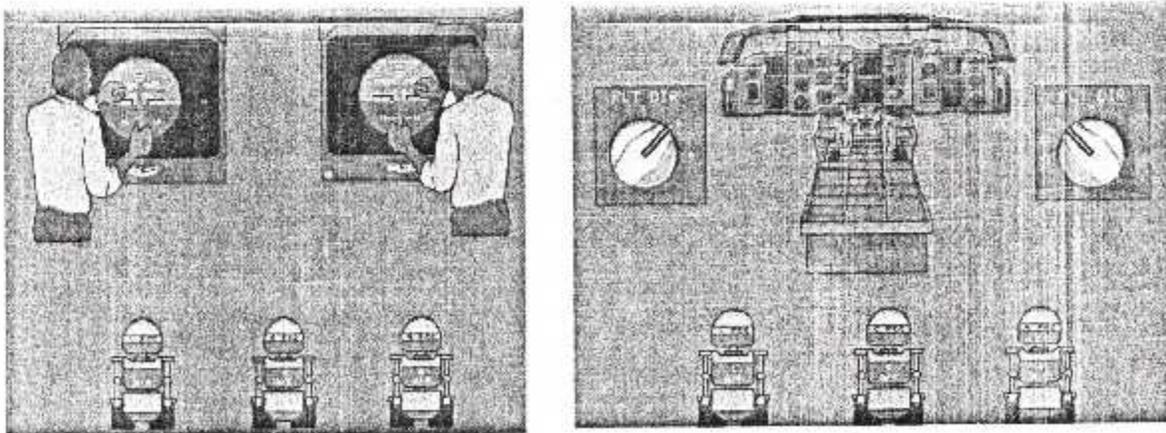


Fig.II.4 Représentation synoptique du directeur de vol



Le système de pilotage est généralement décomposé en trois chaînes distinctes, connectées entre elles au niveau du calculateur, qui correspondent respectivement à la stabilité par rapport à l'axe de lacet (commande des gouvernes de direction), à l'axe de roulis (commande des ailerons) et à l'axe de tangage (commande des gouvernes de profondeur).

II.5.4. Composition du pilote automatique:

Le pilote automatique comporte les éléments suivants :

→ Un interface homme-machine composé :

- d'un levier d'engagement/dégagement du pilote automatique,

- d'un boîtier de commande (Flight Control Unit-FCU) permettant au pilote de choisir le mode de fonctionnement du pilote automatique et d'afficher les consignes à suivre,

- d'un indicateur de mode (Flight Mode Annunciator-FMA) qui informe le pilote du mode de fonctionnement du pilote automatique (modes en opération et modes en attente ou "armés"). Sur les avions plus modernes cet indicateur est intégré à l'indicateur électronique d'attitude de l'avion (EADI ou PFD).

→ Des chaînes de mesures (données aérodynamiques, données inertielles, données de radionavigation) qui fournissent les éléments de calcul au système et les valeurs des paramètres de vol à surveiller.

→ Des calculateurs électroniques qui reçoivent les consignes du pilote (modes sélectionnés) ou du système de gestion du vol (modes managés) et les valeurs des chaînes de mesure, élaborent les signaux de commande correspondants.

→ Des chaînes de transmission des signaux de commande vers les servo-commandes qui actionnent les gouvernes et l'arrivée de carburant aux moteurs.



II.5.5 Les fonctions ou les modes du pilote automatique :

Les pilotes automatiques sont utilisés depuis la montée initiale (quelques secondes après le décollage) jusqu'à l'atterrissage et l'arrêt final. On peut distinguer les modes propres à la profondeur (pilotage automatique longitudinal) et les modes propres au gauchissement (pilotage automatique latéral).

Les fonctions principales du pilot automatique sont :

II.5.5.1 Mode propre à la profondeur (pilotage automatique longitudinal)

« VNAV » :

a) Modes de base :

Ce sont les modes « par défaut » qui assure la commande de l'avion quand le pilote engage le pilote automatique sans sélectionner de mode particulier au PA.

➤ Mode maintien d'assiette longitudinale :

C'est un mode de base utilisé sur les avions équipés de chaînes de commande de vol classique, compatible avec des boucles assez rapides appelées boucles d'asservissement. Ces boucles correspondent à des modes supérieurs plus lents qui intègrent généralement le terme d'amortissement de stabilisateur de tangage.

Ainsi, le terme d'amortissement de tangage est équivalent à une correction par retour de tangage dans l'asservissement de l'assiette longitudinale.

Pour chaque point du domaine de vol chaque configuration avion, et pour chaque valeur de consigne de l'assiette longitudinale correspond un braquage différent de l'ensemble PHR (plan horizontal réglable) + gouverne de profondeur.

Le pilote en général actionne cette molette (PITCH) jusqu'à ce qu'il constate à l'horizon artificiel que l'assiette obtenue est bien celle recherchée, dans le cas où la valeur de consigne est élaborée par les calculs relatifs aux modes supérieurs du pilote automatique, il sera utile d'introduire des limitations en amplitude et en vitesse de façon à limiter l'effet d'un empiètement du calcul des modes supérieurs et à limiter le facteur de charge normal.

De même à l'embranchement du PA il faut que la valeur de consigne pré-réglée soit telle que le braquage initial calculé par le PA soit égal au braquage réel de la gouverne de façon à éviter un (à-coup) qui est la synchronisation du pilote automatique longitudinal.

Une logique d'interconnexion pilotage automatique/pilotage manuel permettra, suivant le cas, de sélectionner les ordres PA ou les ordres manuels ou la somme des deux.



Les indications d'assiette longitudinale sont obtenues à partir de systèmes inertiels tels que :Centrales de verticale et centrales inertielles. En ce qui concerne la vitesse de tangage, celle-ci est obtenue à partir d'un gyromètre.

➤ **Mode maintien de vitesse verticale :**

C'est un mode qui peut servir de mode de base en longitudinal, il permet de maintenir la vitesse verticale à l'embrayage du pilote automatique. Il ne correspond pas à un mode de pilotage extrêmement précis puisque la mesure de la vitesse verticale en altitude n'est elle-même pas très précise (le variomètre en pilotage manuel est un instrument secondaire de pilotage).

b) Modes supérieurs :

Ce sont les modes sélectionnés au boîtier de commande du pilote automatique(FCU).

On distingue en général trois phases pour ces modes :l'armement du mode, la capture de la valeur de consigne et son maintien.

➤ **Modes prise et maintien d'altitude:**

L'information d'altitude permet non seulement d'adopter un niveau de vol économique, d'éviter le relief mais aussi de séparer verticalement les avions circulant dans l'espace aérien (voies aériennes, espace terminal,...). En pratique, l'altitude est maintenue pendant toute la croisière, il s'agit en pilotage manuel d'un travail de longue durée, fastidieux et monotone. La relève du pilote humain par le pilote automatique y est donc particulièrement opportune.

La navigation longitudinale utilise l'altitude pression Z_p (pression statique rapportée à l'atmosphère standard), qui présente une sensibilité variable :

- Au niveau de la mer, un écart de 1 mb correspond à un ΔZ de 8.5 m.
- A 11 000 m un écart de 1 mb correspond à un ΔZ de 30 m.

Ainsi afin de maintenir des performances équivalentes (précision de la tenue d'altitude) la loi de pilotage doit présenter des gains variables. C-à-d diminuer l'erreur de mesure de la pression statique qui dépend du champ aérodynamique entourant l'avion (configuration de sa vitesse, de son incidence et de la proximité du sol).

Ainsi, il est nécessaire d'apporter des corrections à cette mesure dans la centrale aérodynamique (ADC) à partir de la vitesse verticale (variomètre) et de l'accélération verticale. Au voisinage du sol en approche, on utilise le radio-altimètre dans le domaine 0 à 2500 ft missant une erreur de mesure inférieure à 1.5 ft en dessous de 50 ft.



II.5.5.2 Mode propre au gauchissement (pilote automatique latéral) « LNAV » :

a) Modes de base :

➤ Mode maintien de l'assiette latéral :

Ce mode base est similaire au mode maintien d'assiette longitudinal. L'assiette latérale est mesurée ici aussi par un instrument inertiel (central de vertical, central inertielle), la vitesse de roulée est considérée représentative de la tendance de l'assiette.

➤ Mode maintien de cap :

Le maintien de cap à l'engagement du pilote automatique (à condition que l'assiette latérale soit faible) constitue aussi sur certains systèmes de pilotage automatique un mode de base latéral. A ce mode de base est associé le mode supérieur d'acquisition et tenue de cap sélectionné au boîtier de commande du pilote automatique (FCU).

En général, c'est la même loi qui assure la capture et le maintien de cap. Même s'il est possible de tenir le cap par la gouverne de direction, aujourd'hui c'est par la commande du roulis par les ailerons que cette fonction de guidage est réalisée.

A la gouverne de direction est en général assignée la fonction de stabilisation en lacet.

L'information de cap peut être soit magnétique, soit inertielle. Dans le premier cas, c'est un système gyro-magnétique constitué d'un gyroscope directionnel et d'une vanne de flux qui fournit le cap magnétique, dans le deuxième cas c'est une centrale inertielle qui fournira le cap inertiel.

Le mode tenue de cap permet la navigation à court terme. Il est utilisé au passage au-dessus du cône de confusion des VOR et en navigation terminale sous contrôle ATC en mode "vectoring".

➤ Maintien de facteur de charge latéral :

Dans le cas d'un avion équipé de commandes de vol électriques, le calculateur du pilote automatique traitera les ordres reçus du manche de façon à assurer la tenue ou la prise d'un taux de roulis caractéristique d'une manœuvre absolue de virage.

**b) Modes supérieurs****➤ Mode VOR :**

Prise et maintien de route magnétique, la navigation moyen courrier traditionnelle se fait en suivant des itinéraires composés de segments rectilignes (routes aériennes ou "airways") délimités par des balises radio (radiocompas et VOR).

➤ Mode navigation :

Dans ce cas, il s'agit de suivre une route décrite par le plan de vol et constituée d'une succession de tronçons délimités par des "waypoints" (points de report géographiques, navais, aéroports, pistes...).

La route est introduite par l'équipage dans le calculateur de navigation ou sélectionnée à l'aide du calculateur de gestion de vol (flight management computer FMC) si l'avion en est équipé, comme c'est le cas avec l'A310, l'A320, le B757, le MD 11. Une centrale à inertie fournit l'information de position actuelle de l'avion. Le calculateur de navigation détermine alors l'écart latéral XTK ("X-Track") par rapport à la route choisie, la vitesse sol GS et l'écart d'angle de route TAE ("Track Angle Error").

II.5.5.3 L'automanette :

Les variations de vitesse longitudinale de l'avion peuvent être obtenus de deux manières :

I-A poussée constante par action sur la gouverne de profondeur, on a alors un échange entre l'énergie potentielle et l'énergie cinétique de l'appareil. Ainsi il est possible par asservissement de maintenir une vitesse sélectionnée.

Les profils de montée usuels sont définis par une montée à vitesse conventionnelle constante puis à Mach constant à partir d'une altitude dite de transition.

En pratique, l'équipage affiche un certain régime moteur dicté par des raisons de longévité de ceux-ci et d'économie de carburant et maintient la vitesse ou le mach en agissant sur le braquage de la gouverne de profondeur. On parle de tenue de vitesse/mach par la pente, ce mode peut être automatisé même si l'information de vitesse présente des retards notables.



2- l'utilisation de la surveillance de vitesse conventionnelle, ou du Mach par une variation de pente (par action sur la gouverne de profondeur à manette des gaz fixes) ne peut être retenue lorsque le pilote automatique longitudinal est en mode de maintien d'altitude ou suivi de faisceau radioélectriques de descente (GLIDE).

Dans ce cas, on ne peut commander la vitesse ou le mach qu'en modifiant la poussée, c'est-à-dire en agissant l'arrivée du carburant dans le moteur. C'est la fonction du calculateur d'automanette de réguler l'arrivée de carburant de façon à modifier ou maintenir une vitesse indiquée ou un mach sur trajectoire

II.5.5.3.1 Fonctions de l'automanette (AutoThrust – A/THR) :

Les modes "asservis" de l'automanette sont :

-En mode de base; le maintien de la poussée ou d'un paramètre caractéristique de celle-ci (N_1 , ou EPR).

-En mode supérieur; le maintien d'une vitesse ou d'un Mach, que la valeur de consigne soit choisie par le pilote ou calculée par le système de gestion du vol.

Celle-ci offre d'autres modes automatiques :

- la réduction automatique de la poussée lors de l'arrondi (mode retard).
- la remise des gaz automatique (mode TO/GA) lors de forts gradients de vent (Windshear) ou d'incidences excessives.

En général, si aucun mode de pilotage automatique longitudinal ou latéral n'est engagé, l'automanette assure le maintien d'une vitesse ou d'un Mach.

Si le pilote automatique longitudinal travaille en tenue de vitesse, l'automanette maintiendra la poussée et si le pilote automatique longitudinal travaille en tenue de vitesse verticale, prise ou tenue d'altitude, l'automanette maintiendra la vitesse ou le Mach.

Rappelons que l'on ne peut mesurer directement la poussée en vol mais que l'on dispose de paramètres représentatifs tels que l'EPR et le N_1 , (vitesse de rotation de l'étage basse pression pour les réacteurs à fort taux de dilution) et que l'effet d'un accroissement de poussée se traduit, sauf dans le cas du "second régime de vol", par une augmentation de la vitesse avion.



II.5.5.3.2 Situation de l'automanette dans les CADV :

Rappelons ici que l'automanette peut être un système à part entière ou bien un ensemble de fonction de commande de la poussée des moteurs intégré à un système de pilotage automatique global.

Dans les deux cas l'automanette sera en interaction directe avec le système de régulation des moteurs (Power Management Computer ou FADEC suivant le cas).

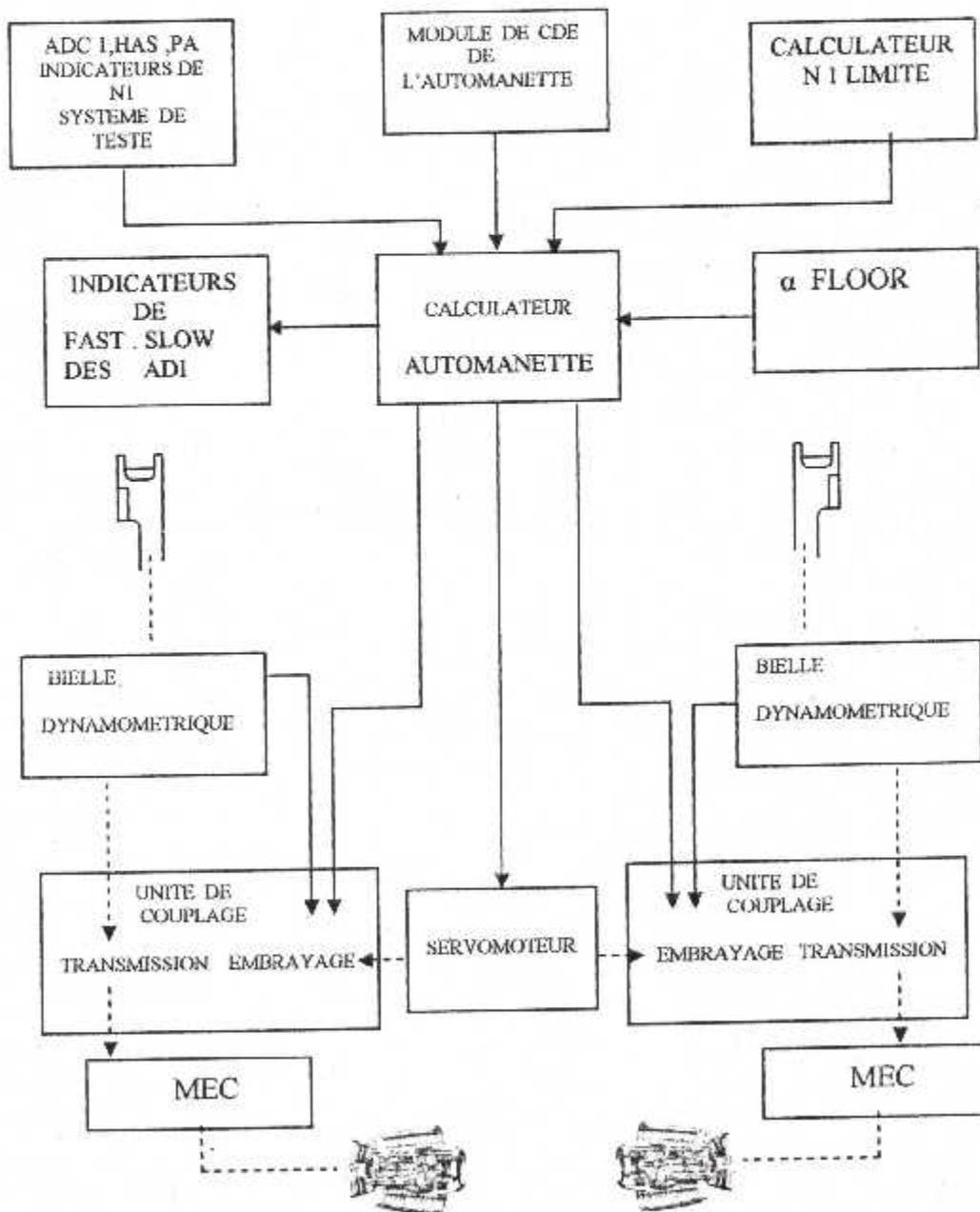


Fig.II.5 Schéma synoptique de l'automanette



L'étude sur le pilotage automatique a permis de bien comprendre son fonctionnement avec les différents modes (modes de base, modes supérieurs) en profondeur et en gauchissement, bien que la partie concernant les calculateurs n'a été que brièvement étudiée, qui permet de traduire les données de commande de vol fournies par le FMC à l'aide du CDU vers les calculateurs du pilote automatique, ce dernier a pour rôle d'assurer l'exécution par l'intermédiaire des servocommandes.

II.6. LE FMC :

II.6.1. Définition :

Le FMS est constitué autour d'un calculateur de gestion de vol (FMC), ce calculateur est doublé, on a donc deux FMC, le FMC1 coté commandant de bord et le FMC2 coté copilote.

Le FMC est un moyen de navigation intégré qui aide le pilote par une interface (CDU), sur laquelle il peut introduire, lire, modifier, (et /ou) exécuter son plan de vol (fig.II.6).

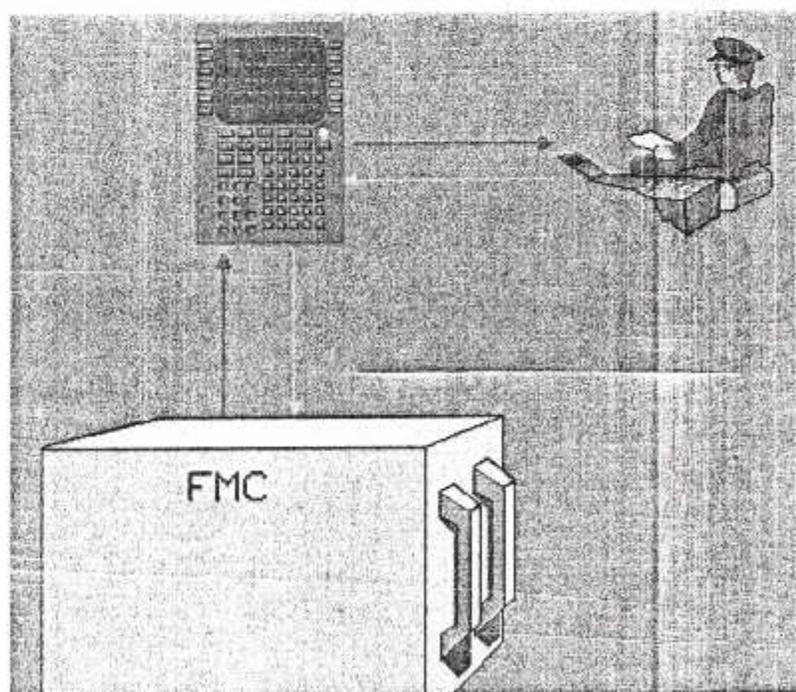


Fig.II.6 Relation des tâches .



Le calculateur central FMC contient deux (02) parties «Software» et «Hardware» pour conduire une propre opération, il se trouve dans la soute électronique, il pèse 16.08 KG et il fonctionne par une alimentation de : 115 volts Ac, 400 Hz, 141.4 Watts.

II.6.2. But du FMC:

Le FMC a pour but de :

- Fournir une aide à l'équipage permettant de sélectionner, activer ou, de modifier la route de cheminement.
- Réduire la tâche à l'équipage qui le li instantanément aux réglages manuels des systèmes de radionavigations.
- Transmission des ordres de guidage et de commandements après analyse des Entrées à l'autopilote, pour asservir l'avion par rapport à la route prévue d'une part et aux "EFIS" (EADI & EHSI), pour que l'équipage puisse contrôler les écarts de l'aéronef à la trajectoire désirée d'autre part.
- Élaborer un signal vers le calculateur TMC pour une gestion plus économique de la quantité de fuel.

II.6.3. Structure interne du FMC :

Les FMC sont nécessairement numériques à cause de la complexité des calculs et d'analyses qu'ils effectuent. Pour cela, les constructeurs ont élaboré des calculateurs, dont la rapidité exigée est une caractéristique très importante :

- SPERRY: avait choisi l'unité centrale à microprocesseur en tranche AMD 2901.

- SMITH: avait préféré une structure à quatre (04) microprocesseurs INTEL 8086, et un coprocesseur mathématique 8087, avec une gestion des mémoires à bulles pour l'acquisition de données.

L'autre caractéristique concernant ces calculateurs en comparant à l'ancien modèle FMC est la présence d'une mémoire de masse programmable de très grande capacité, où on pourra mettre à jour les données de navigation à travers un chargeur (Loader).



D'autres types FMC sont conçus de trois (03) processeurs 16 bits, et un coprocesseur mathématique pour le calcul des performances. Ainsi le calculateur dispose d'une mémoire de masse programmable à bord, pour le stockage des données et des programmes de mise à jour.

Il est constitué des éléments suivants (voir les figures représentatifs ci-dessous):

II.6.3.1. Banque de données (base de données) :

C'est une mémoire de stockage de données, et les informations stockées dans la mémoire du FMC sont appelées banque ou base de données, cette dernière est divisée en deux (02) sections majeures :

- ➔ L'une Contenant les informations relatives au données de conduite de vol et de navigations (fig.II.7):
 - Les données de mise à jour sur les aéroports prévus et ceux de dégagement ;
 - Les procédures de dépannage;
 - Les points tournants(WPT), et les routes à suivre;
 - Les compagnies aériennes (Tours, station...), et toutes les données de systèmes de navigation et radionavigation.

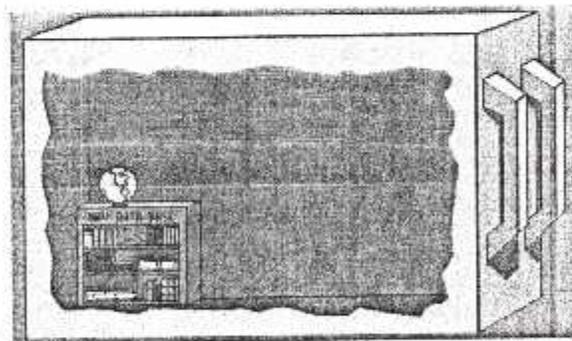


Fig.II.7 Image représentative de la base de données de navigation



- L' autre Contenant les informations relatives aux performances(Fig.II.8) :
 - Les données avion (concernant moteur et caractéristiques aérodynamiques) ;
 - La traînée ;
 - Les altitudes maximums et optimums ;
 - Les vitesses maximums et minimums ;
 - Les données atmosphériques.

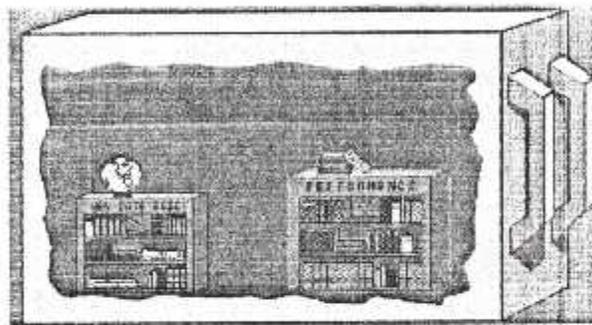


Fig.II.8 Image représentative de la base de données de performances

L'objectif de la base de données navigation et performance est un support, permettant à l'équipage de remplir, toutes les données relatives à un plan de vol, ainsi le FMC se chargera d'effectuer un calcul (Fig.II.9) optimal de la route.

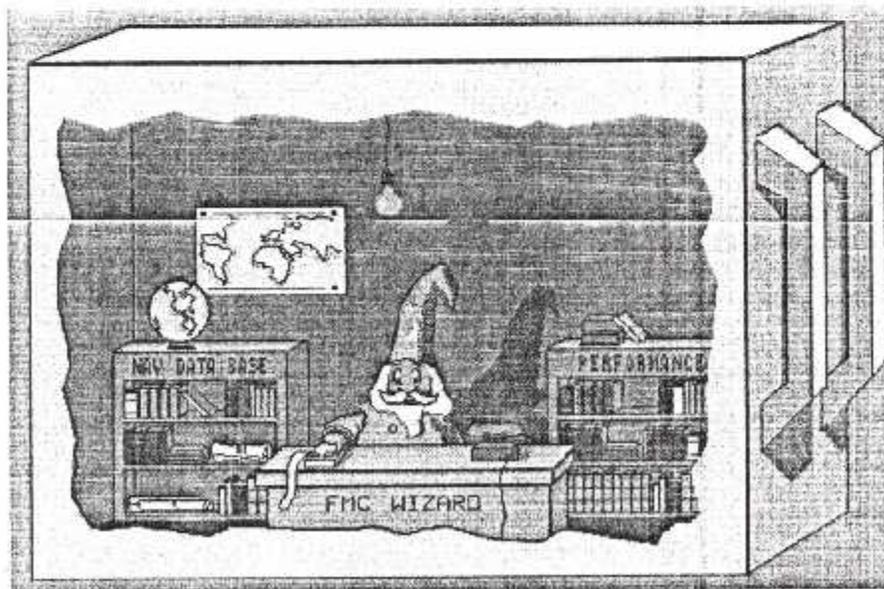


Fig.II.9 Image représentative du calculateur



II.6.3.2. Mémorisation du plan de vol :

Le plan de vol à suivre est inséré à travers l'interface de commande et d'affichage par le pilote, il est mémorisé dans une mémoire de masse pouvant contenir la teneur suivante :

- Numero d'identification de l'aeronef.
- Règle et type
- Type de vol (IFR / VFR).
- Équipement radiocommunication et radionavigation.
- Aéroport de départ et de destination.
- Durée de vol totale estimée.
- Aéroport de dégagement.
- Autonomie.
- Route à suivre (prévue).
- Vitesse de croisière.
- Niveau de croisière.
- Heure estimée de départ et d'arrivée (à chaque -station).
- Nombre de personnes à bord.
- Équipement de secours et de survie.

II.6.3.3. Calculateur de position :

Des calculs de position sont effectués par le calculateur FMC, ces informations proviennent de divers détecteurs y compris les informations provenant du gestionnaire des aides-radio.

II.6.3.4. Calculateur de performance : (PMC)

C'est un calculateur considéré comme un mini-FMC, et la base de données performances (tel que l'écart longitudinal de position) sont insérées eux-mêmes dans le PMC pour être optimisés.



II.6.3.5. Gestionnaire des aides radio :

La gestion automatique des fréquences radionavigation nécessite un calcul très important pour les fréquences (VOR/DME), et cela en fonction du plan de vol, de façon à obtenir une très grande précision de la fréquence.

Ajoutant la mise en disposition, d'algorithmes plus performants, pour tirer les meilleures fréquences radionavigation et cela, après le mélange des signaux(VOR/DME), avec celles fournies par la centrale à inertie.

Un schéma récapitulatif sur la structure interne du calculateur FMC est illustré dans la figure ci-dessous :

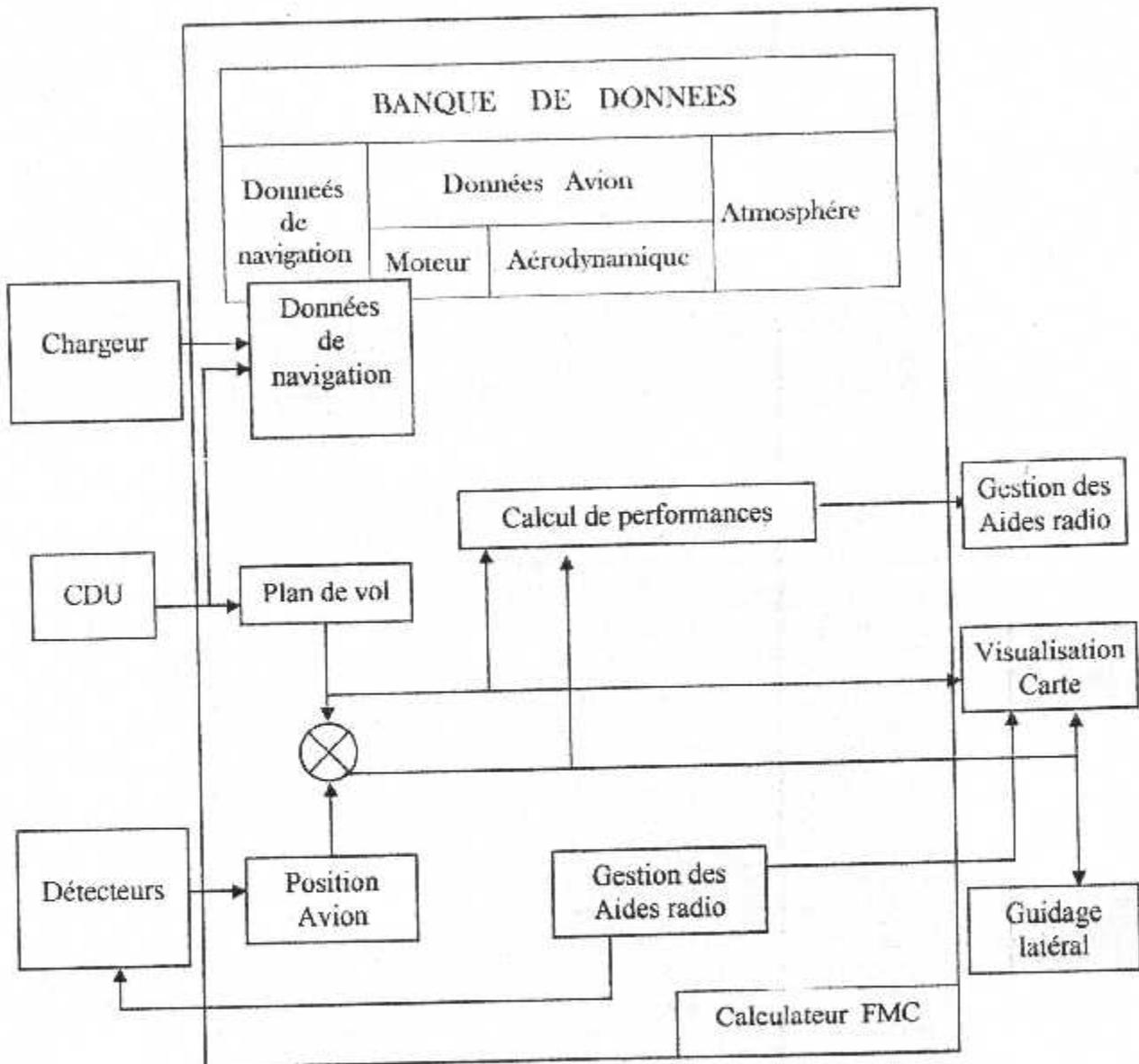


Fig.II.10 Architecture interne du FMC



II.6.4. Les entrées externes du système :

II.6.4.1. Boite de commande et d'affichage (CDU) :

C'est une interface homme-machine, comportant un clavier et un écran cathodique CRT, servant d'intermédiaire de communication entre le pilote et le calculateur « FMC ».

Au moyen de cette boite (CDU) l'équipage dialogue avec le calculateur.

Le format d'affichage est disposé sur 14 lignes de données avec l'extension de 24 caractères sur ligne. A l'entête de l'écran CRT, se présente le titre de la page et le nombre de pages associées à l'affichage.

Au pied de page est présenté par un « scratch pad » qui est un curseur servant aux affichages de messages, les alarmes, et aux écritures brouillons.

On notera la présence de poussoirs qui jouent un rôle opérationnel offrant un moyen d'intervention par le pilote, et permettent soit :

- d'introduire ou de modifier des données après que celles-ci aient été affichées sur la ligne brouillon « scratch pad » du CRT.
- de sélectionner des fonctions particulières se présentant en pages organisées et, apparaissant soit automatiquement, soit à la demande de l'équipage.

Le schéma ci-dessous illustre la boite de commande et d'affichage « CDU », avec les différentes touches du clavier.

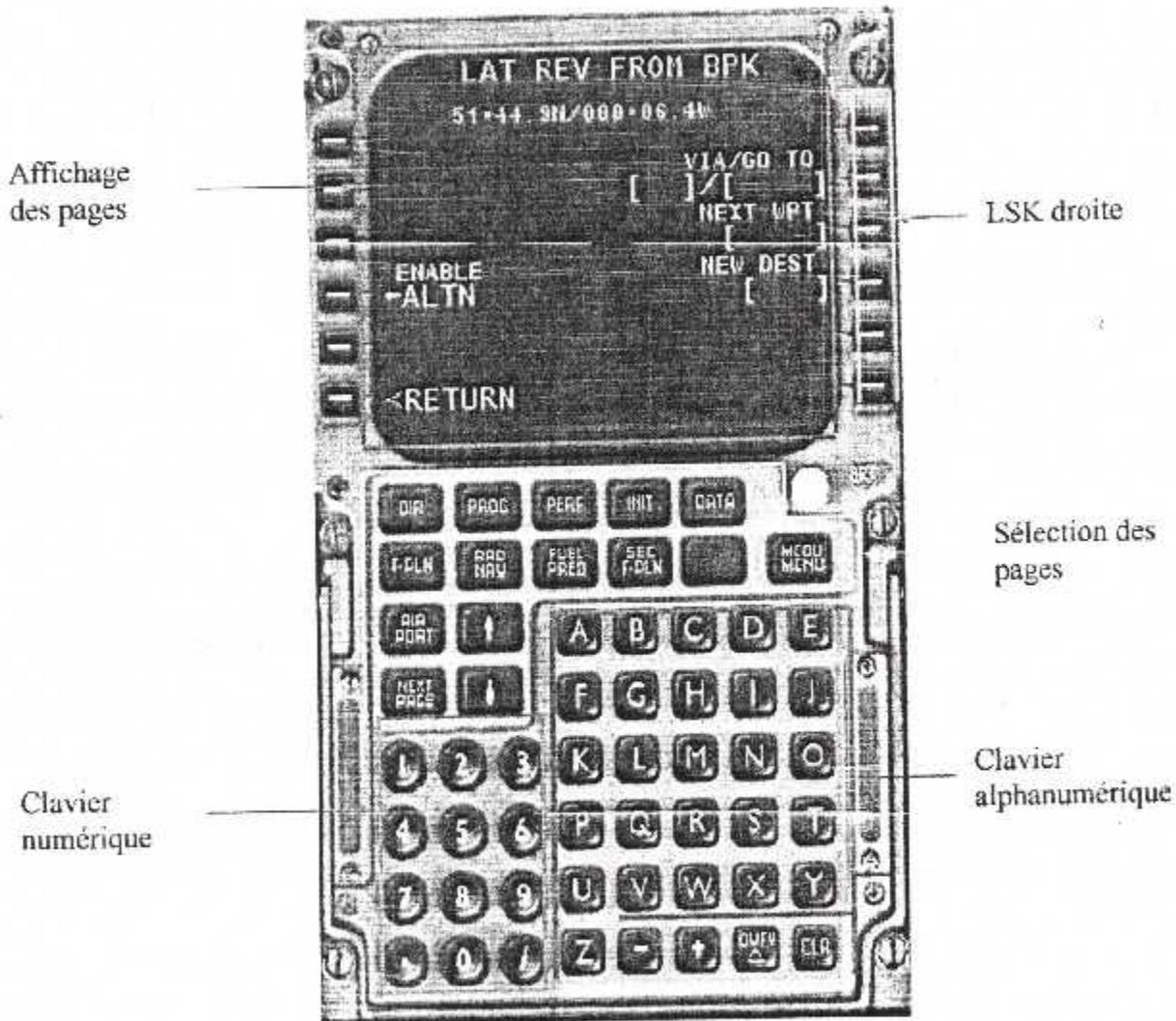


Fig.II.11 Boîtier de commande et d'affichage « CDU »



II.6.4.2. Chargeur :

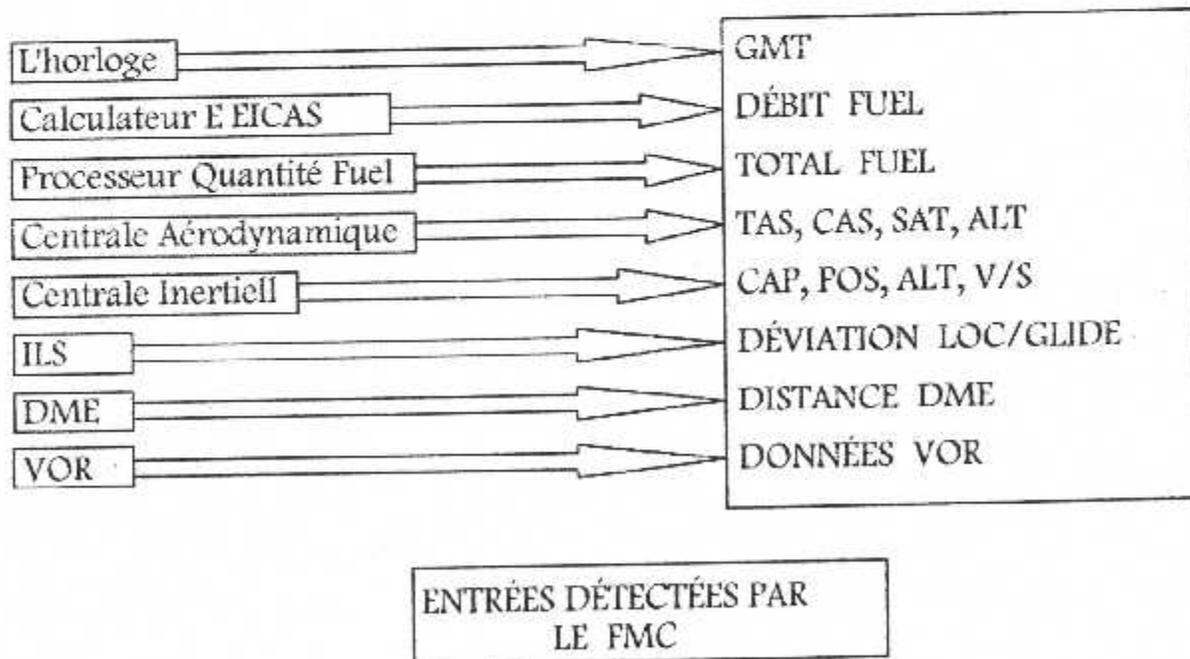
C'est une cassette à ruban ou disque magnétique, renouvelable chaque mois (28 jours exactement), et fournie par le constructeur du système FMC.

La cassette de mise à jour est utilisée pour insérer les données de navigation au sol (tels que les points tournants, les aéroports, les conditions météorologiques ... etc.) .

II.6.4.3. Détecteurs divers :

Ils fournissent les données de paramètres de vol après détection, ces données seront utilisées par le FMC pour la détermination de la position avion optimum dans les plans horizontal et vertical.

Le schéma suivant montre les détecteurs divers du FMC





II.6.4.4. Les sorties externes du système :

Les ordres de guidage sont élaborés par le FMC, et transférés vers l'autopilote pour effectuer ces ordres. Ainsi, le pilote dispose des écrans EFIS (PFD et ND) pour la visualisation des écarts de l'avion par rapport à la route choisie ou consignée (position, Cap, latitude, longitude, vitesse...).

D'autres ordres sont élaborés vers le TMC pour la gestion optimum de carburant, soit en monté ou en trajet pendant le vol.

II.6.4.5. ÉCHANGES DE COMMUNICATIONS :

Le système FMC est constitué de deux FMC, et de deux boîtes de commande(CDU), avec un protocole de communication, telle que la combinaison FMC /CDU forme un système opérationnel(fig.II.12)

Les deux CDU fonctionnent indépendamment et simultanément, mais elles sont mises à jour par un affichage issu de chacun de leurs FMC.

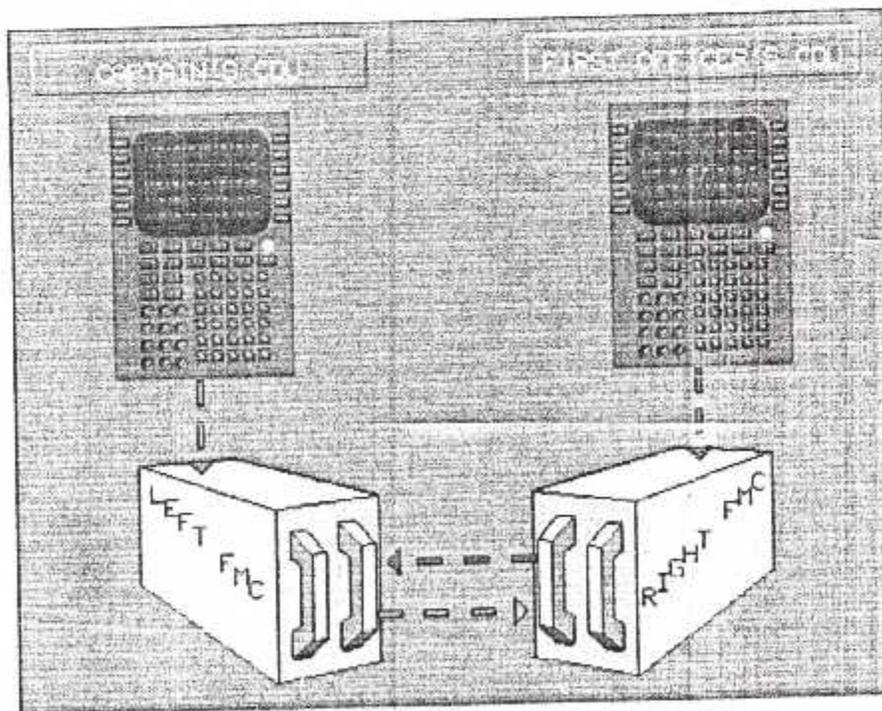


Fig.II.12 Echanges de données



Une commande activée sur la première boîte CDU, implique une commande activée sur la boîte lorsque la page affichée est identique.

Pour la communication FMC/CDU, la requête parvenue au calculateur FMC de l'une des CDU est prise en compte par l'un des deux calculateurs FMC en suivant la règle : « Maître-esclave ».

Un bits de communication est assuré entre les deux calculateurs FMC. Durant le chargement de bases de données, une comparaison de programme opérationnel, base de données performance et navigation est faite.

II.7.Fonctions FMC :

La fonction de base du système FMC est de comparer instantanément la route prévue ou consignée (plan horizontal et vertical), à la route courante. Ainsi que d'établir l'ordre de guidage pour maintenir l'avion selon la route sélectionnée. Les fonctions du FMC sont citées ci-après.

II.7.1.Initialisation :

Comme un micro-ordinateur, et dès la mise sous tension, le système fournit quelques informations sur lui-même et sur l'avion.

II.7.2 .Navigation :

Le FMC présente à l'équipage les aides radio disponibles sur le trajet prévu et celles qui sont effectivement utilisées au moment présent.

Les informations de base nécessaires à toute navigation, vitesse, altitude, Cap, route, et position sont calculées continûment et présentées sur les EFIS.

II.7.3.Plan de vol :

Le FMC aide l'équipage à définir son plan de vol au moyen de cheminement proposés sur EFIS, en conformité avec les procédures définies par les organismes du contrôle de la circulation aérienne.

Les procédures de départ et d'arrivée des aéroports sont stockées dans la mémoire de masse du calculateur FMC ; le pilote peut s'y référer, simplifiant ainsi la préparation du vol.



La banque de données mise en mémoire est remise à jour une fois par mois au moyen d'une cassette livrée à chaque compagnie cliente par le fournisseur du système FMC.

En cours de vol, des modifications au plan de vol initial sont élaborées et proposées à l'équipage sur initiative de ce dernier (prise en compte de contraintes ATC «Air Traffic Control», évitement de phénomènes météorologiques dangereux,..) ou initiative du FMC lui-même pour économiser le temps ou le carburant sur trajet. Seulement l'équipage reste maître d'accepter ou de refuser ces propositions.

II.7.4.Performances :

Les performance du système sont :

- Calcul des vitesses et niveaux de vols optimaux pour économiser le temps, le carburant ou le coût global du vol.
- Calcul des prédictions de temps, distance, altitude, consommation et réserve carburant pour tous les points tournants (way points) du parcours.
- Création d'un profil de descente optimal tenant compte des contraintes à respecter (vitesse d'approche, point début d'atterrissage, temps estimé d'arrivée...).
- Proposition de modifications du plan de vol en route pour optimiser les performances.

II.7.5.Guidage latéral :

Le FMC élabore un signal adressé au PA pour asservir la trajectoire de l'appareil à la route prévue définie par une succession de points tournants(WPT).

Les écarts par rapport à la route théorique sont présentés sur l'écran ND dédié à la navigation.



La banque de données mise en mémoire est remise à jour une fois par mois au moyen d'une cassette livrée à chaque compagnie cliente par le fournisseur du système FMC.

En cours de vol, des modifications au plan de vol initial sont élaborées et proposées à l'équipage sur initiative de ce dernier (prise en compte de contraintes ATC «Air Traffic Control», évitement de phénomènes météorologiques dangereux,..) ou initiative du FMC lui-même pour économiser le temps ou le carburant sur trajet. Seulement l'équipage reste maître d'accepter ou de refuser ces propositions.

II.7.4.Performances :

Les performance du système sont :

- Calcul des vitesses et niveaux de vols optimaux pour économiser le temps, le carburant ou le coût global du vol.
- Calcul des prédictions de temps, distance, altitude, consommation et réserve carburant pour tous les points tournants (way points) du parcours.
- Création d'un profil de descente optimal tenant compte des contraintes à respecter (vitesse d'approche, point début d'atterrissage, temps estimé d'arrivée...).
- Proposition de modifications du plan de vol en route pour optimiser les performances.

II.7.5.Guidage latéral :

Le FMC élabore un signal adressé au PA pour asservir la trajectoire de l'appareil à la route prévue définie par une succession de points tournants(WPT).

Les écarts par rapport à la route théorique sont présentés sur l'écran ND dédié à la navigation.



II.7.6 Guidage vertical :

- Asservissement via le PA à une loi de montée optimale (poussée adaptée).
- Détermination du point de départ de la descente vers l'aérodrome de destination.
- Asservissement à un profil idéal de, descente.

Le pilote est amené dans ce cas à choisir les modes PA qui conviennent pour une procédure d'atterrissage automatique.

- Détermination des meilleures vitesses d'approche et d'atterrissage, compte tenu des conditions de vol (position actuelle de l'avion, condition météorologique, piste en service).

II.7. 7.Suivi du vol :

- Gestion du carburant.
- Surveillance des systèmes.
- Présentation à l'équipage des messages, procédures recommandées ou obligatoires, listes de contrôle « check-lists ».

L'ingénieur doit apporter par la suite des efforts, tendant à minimiser le coût du vol. Pour cela on a définie ce qu'on appelle la finesse de l'avion qui doit être elle-même aussi meilleure - par la réduction de la traînée parasite par exemple.

II.8.Choix et critère d'optimisation :

Le choix est laissé à l'équipage lui-même pour donner le maximum de souplesse opérationnelle au système. Cela ne peut se définir qu'avec un paramètre appelé « COST INDEX » ou le coût relatif de l'heure de vol par rapport au coût du fuel.

- $CI = 0$: c'est un vol à fuel minimum
- $CI = \infty$: c'est un vol à temps minimum



Toute la théorie du calculateur FMC se base sur ce paramètre (CI), et le calcul sera autour des valeurs intermédiaires (avec une valeur idéal entre 40 et 50), de façon à satisfaire un vol à coût minimum. Ce facteur dépend aussi de la politique de la compagnie (coût de maintenance, utilisation de la poussée adaptée...).

II.8.1.Principe d'optimisation :

Par le plan de vol latéral, le FMC connaît la géométrie complète de la trajectoire de l'avion. Tandis que le calculateur de performances (PMC) connaît uniquement sa distance linéaire.

Une hypothèse considère que le CI est fixé. Ce dernier est mémorisé par le FMC, et pendant le trajet les paramètres vitesse et altitude varient, ce qui conduit à recalculer de nouvelles trajectoires qui tiennent compte de ce facteur, par optimisation de ces paramètres de vol.

Le calcul d'optimisation est différent pour les trois (03) phases de vol (Monté, croisière, descente). Le FMC gère que la phase de croisière, et il est évident que les perturbations atmosphériques interviennent pendant le vol.

Pour cela on est obligé de recalculer les modèles mémorisés au cours du vol aux modèles réels (par exemple ,intervention du pilote sur un coefficient), et cela en fonction des valeurs effectivement mesurées et affichées.

II.8.2 - Contraintes et limites d'optimisation :

Un tel vol ne peut se dérouler dans le cas idéal, et les raisons paraissent bien évidentes. Alors les compagnies ont exigé une grande souplesse opérationnelle au système FMC, pour lui faire connaître les contraintes de la navigation aérienne d'une part, et d'autre pour indiquer les nouvelles références du vol après son exploitation .

Parmi les types de contraintes à satisfaire, on cite :

- Le maintien d'altitude et de vitesse.
- Le passage au-dessus ou au-dessous d'un certain niveau en un point donné.
- Le passage à une heure donnée en un point fixe.
- Contraintes opérationnelles telles que panne réacteur ou d'autres.



CHAPITRE III

Le CDU et la gestion de vol



Le plan de vol établi au sol par l'équipage rassemble les informations relatives à l'itinéraire prévu, au chronométrage, à la fréquence radio et au carburant ...

Ce plan de vol transcrit sur des cartes et/ou inséré dans le système de gestion de vol.

En vol, son exploitation se traduit par des ordres de guidage en route, hauteur et vitesse .

La gestion du vol correspond à la gestion de la trajectoire à long terme, c-à-dire durant les phases de préparations ,décollage , montée, croisière et descente.

Et d'autre part la gestion des performances grâce à un interface CDU donc l'étude de la gestion du vol revient à l'études des différentes pages de CDU.

Pour cela, dans ce chapitre on va faire une description détaillée des différentes pages de ce dernier. Et comme la réglementation OACI nous exige de suivre le format d'un manuel dans la description d'un tel instrument, on a présenté ce chapitre en respectant le plus possible le manuel d'utilisation du CDU.

Le manuel regroupe les quatres sections nécessaires qui nous permettent de réaliser un vol par le CDU et assurer l'affichage de toutes informations de navigation. Ces sections sont citées dans la page suivante.

**Manuel Ops de boîtier de commande et d'affichage**

- **SECTION 1 - Informations générales.**
 - Descriptions d'en-tête de page.
 - Opérations spécifique à la zone d'insertion.
 - Vue d'ensemble des bouton de *CDU*.

- **SECTION 2 - Pages d'affichage pré vol.**
 - Indice De Référence D'Initialisation.
 - Identification.
 - Initialisation De Position.
 - Référence De Position.
 - Initialisation De Performance.
 - Limites De Performance.
 - Référence De Décollage.
 - Référence D' Approche.

- **SECTION 3 - Pages De Navigation Latérale.**
 - Route.
 - Import/Export du Plan de Vol.
 - Etapes De Routes.
 - Données De Routes.
 - Sélection Des Points Tournants.
 - L'attente En Route.
 - Indice Départ/Arrivée.
 - Départs.
 - Arrivées.
 - Progression.
 - Information Du Repère.

- **SECTION 4 - Pages De Navigation Verticale**
 - Montée.
 - Croisière.
 - Descente.
 - Limites N1.

**III.1 Informations générales de boîtier de commande et d'affichage**

Cette section fournit des informations générales au sujet du *FMC/CDU*. La section introduit également le format pour ce manuel, et plus loin, elle décrit des exécutions de la zone d'insertion particulières pour *CDU*. Finalement, cette section fournit des descriptions détaillées pour des configurations de programme de *CDU* fournies dans notre application au Chapitre IV.



737

III.1.1

Description d'en-tete de page CDU et opération spécifiques à la zone d'insertion

Les cadres suivants sont des exemples de ce qui sera vu dans tout le reste du manuel.

TITRE DE PAGE	Description	BUT D'UTILISATION
ACCES DE PAGE	Ce cadre fournit des informations sur la façon dont une page peut être consultée dans la <i>CDU</i>	Ce cadre fournit des descriptions générales sur le but et/ou l'utilisation de la page de <i>CDU</i>

INFORMATION GÉNÉRALE DU CDU

□ **RÈGLE De Slash (/)**

- En saisissant une donnée sur une ligne qui a plus d'une valeur (direction du vent/ vitesse du vent). La barre de fraction est obligatoire pour séparé les entrées.
- Exemple: pour faire entrer un vent de 35 noeud et de 215 degré en écrit (215/35).
- Exemple :Pour écrire la vitesse du vent seulement, on écrirait "/35"
- En écrivant le premier élément, seulement la barre de fraction n'est pas exigée.

- Le *CDU* permet d'ajouter quelques exécutions dans la zone d'insertion. Ces fonctions changent l'éclairage de *CDU* et, changent l'état d'alimentation électrique.

□ **Changement d'éclairage du CDU**

- Pour changer l'éclairage de *CDU*, taper le suivant dans la zone d'insertion...

DAY
NIGHT
NIGHT OFF
NIGHT LIGHT

Appuyer **EXECute** si prêt à placer l'éclairage

□ **Changement de l'état d'alimentation électrique**

- *CDU* se fonde sur l'alimentation électrique des avions. Si on veut changer la configuration d'alimentation électrique de *CDU*, taper l'un du suivant dans la zone d'insertionl...
- POWER ON
POWER OFF
- Appuyer sur le bouton **EXECute**



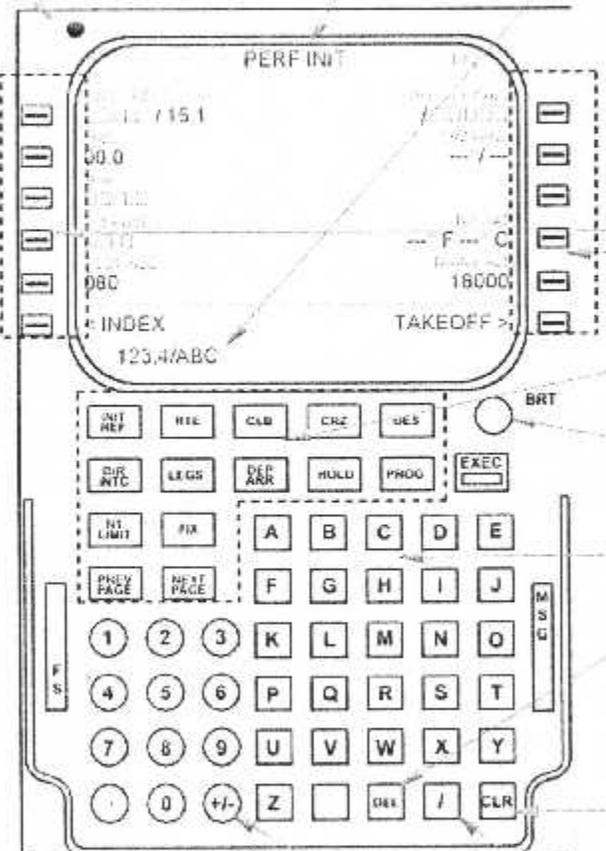
737

III.1.2

Vue de l'ensemble de boutons de CDU

- J Affichage des pages du CDU

 - o affiche une page unique des données de CDU sélectionnée par un bouton mode ou un bouton ligne



- La touche Plus/Moins (+/-)

 - o ajoute un caractère "-" à la zone d'insertion.
 - o appuyer une 2ème fois pour changer le caractère en "+"
- La touche Slash (/)

 - o ajoute "/" à la zone d'insertion.
 - o utilisée pour la séparation des données.

- La zone d'insertion.

 - o Dernière ligne dans la page d'affichage de CDU.
 - o utilisée pour saisir des données dans le CDU ou transférer des données d'un emplacement à un autre.
 - o La sélection d'une "page" différente n'affectera pas les données de la zone d'insertion.
- Touches et de mode et de fonction

 - o Grandes touches au dessous de de la page d'affichage de CDU.
 - o utilisées pour sélectionner des " pages" du CDU ou exécuter une page.
- Touches de sélection de ligne.

 - o 6 Petites touches de chaque côté de de la page d'affichage du CDU.
 - o Les touches sont numérotées de haut en bas (1 - 6) et énumérés en tant que gauche ou droite (1L - 6L ET 1R - 6R).
 - o La touche est associée avec la ligne de donnée correspondantente.
 - o Utilisée pour sélectionner l'élément ou saisir des données dans la page d'affichage de CDU.
- Contrôle De Luminosité

 - o pour augmenter ou diminuer l'intensité d'éclairage de CDU.
- Clavier

 - o Utilisé pour introduire des caractères Alphanumérique dans la zone d'insertion.
- Touche Delete

 - o pour placer le mot "delete" dans la zone d'insertion.
 - o La ligne sélection ultérieure avec l'EFFACEMENT en zone d'insertion effacera la ligne entrée.
- La touche Clear

 - o à utilisé pour effacer les entrées de zone d'insertion ou les messages de CDU.
 - o appuyer une fois pour effacer un caractère à la fois.
 - o appuyer et maintenir pour retirer la ligne entière.

**737****III.2****Les pages d'affichage de CDU**

Cette section fournit des descriptions détaillées et des exemples des pages d'affichage de CDU d'un pré vol général et typique de *FMC/CDU*.

Cette section ne décrit pas « comment » un pré vol du CDU s'effectue, elle décrit plutôt toutes les informations disponibles aux pages prévol.

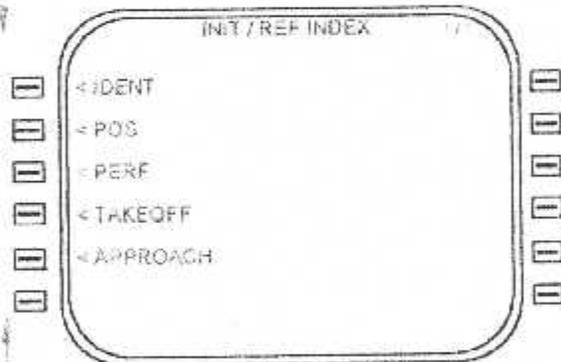


737

III.2.1 Indice de reference d'initialisation

TITRE DE PAGE <small>Indice de référence d'initialisation</small>		BUT ET UTILISATION
PAGE ACCESS	Choisit la ligne 6L de n'importe quel page d'INIT/REF	permet l'accès aux pages d'initialisation pré vol pour le CDU et les IRS

- DEMANDE D'IDENTIFICATION
 - la ligne permet sélection de la page IDENT.
- DEMANDE D'INITIALISATION DE LA POSITION
 - la ligne permet la sélection de la page POS INIT
- DEMANDE D'INITIALISATION DE PERFORMANCE
 - la ligne permet la sélection de la page PERF INIT
- DEMANDE DE RÉFÉRENCE DE DÉCOLLAGE
 - la ligne permet la sélection de la page TAKEOFF REF
- DEMANDE DE RÉFÉRENCE D'APPROCHE
 - la ligne permet la sélection de la page APPROCH REF





737

III.2.2 Page d'affichage d'identification

PAGE TITLE	Identification	PURPOSE AND USE
PAGE ACCESS	<p>Automatiquement s'affiche après la mise sous tension si l'auto test est satisfaisant</p> <p>La ligne sélectionne L1 de la page INDEX d'INIT/REF</p>	<p>Vérifier les bases de données du CDU, les données actives de navigation et, le numéro du programme pendant le pré vol.</p>

LIGNE DE LA BASE DE DONNÉES DE PERFORMANCE

- Identifie le modèle de l'avion et la poussée du moteur dans la base de données de performance

LIGNE DE LA BASE DE DONNÉES DE PERFORMANCE

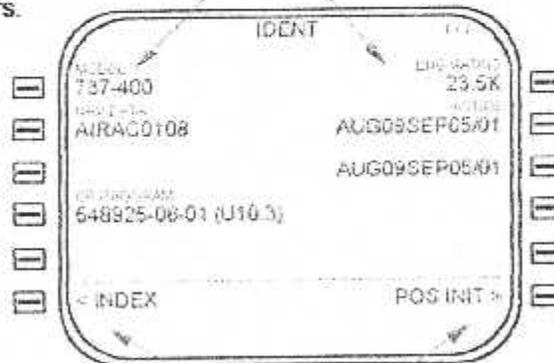
- identifie le modèle de l'avion et la poussée de moteur dans la base de données de performance

LIGNE DE LA BASE DE DONNÉES DE NAVIGATION

- Identifie la base de données permanente de navigation actuelle en service. Des changements comme mises à jour de base de données sont téléchargés chaque 28 jours.

LIGNE DE DONNÉES ACTIVES DE NAVIGATION

- affiche les dates pertinentes, incluses des données actives de navigation (basées sur le GMT)



LIGNE DE PROGRAMME OPERATIONEL

- identifie le nombre de programme opérationnel de CDU

DEMANDE D'INDEX

- la ligne permet la sélection de la page INDEX d'INIT/REF.

LIGNE DE DONNÉES ALTERNATIVES DE NAVIGATION

- affiche les dates pertinentes, incluses des données alternatives de navigation (basées sur le GMT)

DEMANDE D'INITIALISATION DE POSITION

- la ligne permet la sélection de la page POS INIT



737

III.2.4 Pages d'affichage de reference de position

PAGE TITLE	Reference de Position	But et utilisation
ACCES de PAGE	POS INIT (page suivante)	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> page de reference, Affiche la position actuel et la vitesse sol calculee par le FMC et les IRS, <input type="checkbox"/> Les entrees ne sont pas possible .

- LIGNE DE POSITION ACTUELLE**
 - affiche la latitude et la longitude actuelles calculees par le FMC.

- LIGNE DE LA VITESSE SOL**
 - affiche la vitesse sol actuelle (en noeuds) calculee par le FMS .





737

III.2.5 Page d'affichage d'initialisation de performance



- **LIGNE D'ALTITUDES DE CROISIÈRE**
 - si les entrées ont été faites pour les aéroports d'ORIGINE et de DESTINATION , GROSS WT et COST INDEX, l'altitude de croisière est automatiquement calculée et montrée. Autrement, La ligne d'altitude de croisière est vide.
 - l'altitude de croisière est l'altitude prévue pour un coût minimum, dans les contraintes décrites par les critères de temps minimum de la croisière de l'opérateur. fournit une référence pour choisir l'altitude prévue de croisière, et elle est seulement consultative.
 - l'altitude prévue de croisière est écrite par l'équipage (XXX = un FL ou des pieds de X 100, XXXXX = des pieds), et la valeur est transférée automatiquement à d'autres pages si applicables.

- **LIGNE DE VENT EN CROISIÈRE**
 - entrant pour prévoir le vent au sommet de la montée pour optimiser le FMC et ces calculs.
 - si aucune entrée n'est faite, le FMC assume 000/000

- **Lignes de OAT température au sommet de la de la montée .**
 - introduire la température prévue (+/-xx en degrés C ou +/-xxx en degrés F) au sommet de la montée pour optimiser le FMC et ses calculs.
 - Le FMC assume la valeur d'ISA quand aucune entrée n'est faite.

- **LIGNE D'ALTITUDE DE TRANSITION**
 - assume 18000 pieds comme altitude de transition quand le CDU est mis sous tension.
 - n'importe quelle entrée manuelle prend la priorité

- **Demande de la page TAKE OFF**
 - la ligne permet le choix de la page de reference de decollage.



737

III.2.6 Page d'affichage des limites de performance

Titre de page	Limites de Performance	But et utilisation
<p>ACCESS de PAGE</p>	<p>page PERF INIT (La page suivante ou precedente)</p>	<ul style="list-style-type: none"> □ L'entrée de limites de performance au peuvent affecter les calculs d'economie. □ Les donnees doivent etre executees quand toutes les entrees ont ete faites □ Apres l'accomplissement de vol toutes les donnees introduites par l'equipages sont effaces.
<ul style="list-style-type: none"> □ LIGNE DE VITESSE MINIMUM - MONTEE <ul style="list-style-type: none"> ○ établit une limite de vitesse plus faible pour la phase de montée du vol. ○ défauts à 210/40. ○ IAS ou numéro de mach peut être écrit. □ LIGNE DE VITESSE MINIMUM - CROISIÈRE <ul style="list-style-type: none"> ○ établit une limite de vitesse plus faible pour la phase de croisière du vol. ○ défauts à 220/65. ○ IAS ou numéro de mach peut être écrit. □ LIGNE DE VITESSE MINIMUM - DESCENTE <ul style="list-style-type: none"> ○ établit une limite de vitesse plus faible pour la phase de descente du vol. ○ défauts à 210/40. ○ IAS ou numéro de mach peut être écrit. 		<ul style="list-style-type: none"> □ LIGNE DE VITESSE MAXIMUM - MONTEE <ul style="list-style-type: none"> ○ établit une limite de vitesse supérieure pour la phase de montée du vol. ○ défauts à 340/820. ○ IAS ou numéro de mach peut être écrit. □ LIGNE DE VITESSE MAXIMUM - CROISIÈRE <ul style="list-style-type: none"> ○ établit une limite de vitesse supérieure pour la phase de croisière du vol. ○ défauts à 340/820. ○ IAS ou numéro de mach peut être écrit. □ LIGNE DE VITESSE MAXIMUM - DESCENTE <ul style="list-style-type: none"> ○ établit une limite de vitesse supérieure pour la phase de descente du vol. ○ défauts à 320/780. ○ IAS ou numéro de mach peut être écrit.

Demande D'INDEX

La ligne permet le choix de la page INDEX INIT REF

Des valeurs par défaut seront automatiquement montrées quand des entrées manuelles sont supprimées



737

III.2.7

Page d'affichage de décollage

Titre de page	Reference de decollage	But et utilisation
ACCES De PAGE	page de PERF INIT (6R). Page d'INDEX de INIT REF .	<ul style="list-style-type: none"> □ utiliser pendant le prevol pour initialiser le FMC avec des donnees de de temperature pour des calculs de N1 pour un decollage normal ou a pousseere duite □ permet l'affichage de la vitesse de decollage □ prevenir l'equipage des articles prevol du CDU qui sont encores inacheves .

□ **LIGNE DE TEMPÉRATURE DE L'AIR EXTÉRIEUR**

o écrire la température OAT' actuelle dedecollage (en degrés C de +/-xx ou en degrés de +/-xxx F).

□ **LIGNE DE LA TEMPÉRATURE CHOISIE**

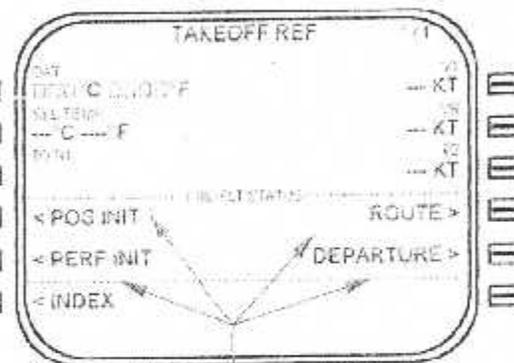
o en faisant un décollage a poussée réduite, une température assumée peut être écrite ici.
o l'entrée peut être en degrés C (+/-xx) ou en degrés F (+/-xxx).
o si les degrés F sont employés, les degrés C seront aussi bien montrés.

□ **LIGNE DE DÉCOLLAGE N1**

o montre le N1 calculé par le FMC pour le décollage (employé par l'automanette).
o si une entrée de la température selectione (SEL TEMP) resulte a une valeur de N1 réduite, la ligne de données change à RED TO N1.

□ **Demande D'INDEX**

o la ligne permet le choix de la paged' INDEX INIT REF .



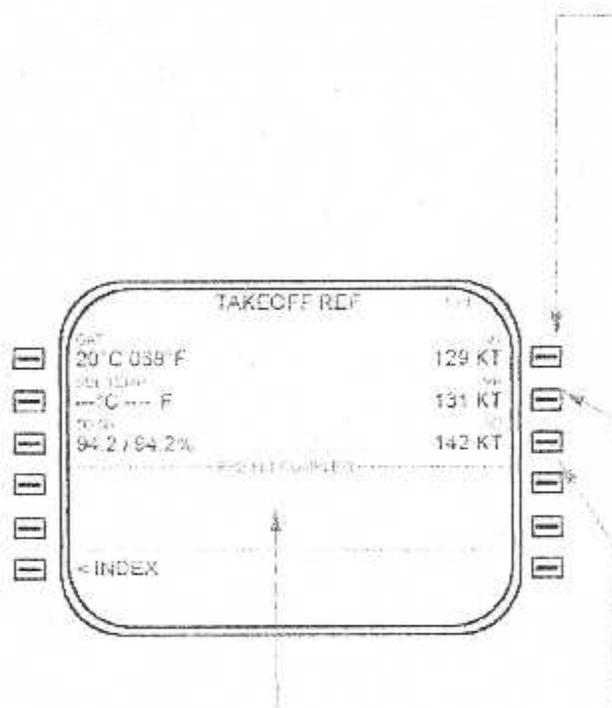
□ **Demande DE STATUT PRE VOL**

o la ligne permet choix des pages pré vol quand les entrée de CDU exigees à ces pages sont inachevées.
o si la page d'initialisation de position est inachevée, INIT POS est montré .Autrement ;cette ligne estvide ..
o si des entrées de PERFINIT ont été omises, la PERFTINI vide est montré.Autrement ; cette ligne est vide ..
o si une route n'est pas ACTIVE, ROUTE est affichee.Autrement ; cette ligne est vide .
o si la page demande du RTE montre des messages de demande pour la RUNWAY et VIA, DEPARTURE est montrés.Autrement cette ligne est vide.



III.2.7

Page d'affichage de décollage(suite)



□ **LIGNE V1**
 o montre la vitesse V1 calculé par le FMC

les vitesses calculées par l'équipage peuvent être entrées et montrées pour référence.
 le choix de cette ligne montrée automatiquement sur les bandes de vitesse EADI.

□ **LIGNE VR**
 o montre la vitesse VR calculée par le FMC

les vitesses calculées par l'équipage peuvent être entrées et montrées pour référence.
 le choix de cette ligne montrée VR d'être automatiquement affiché sur les bandes de vitesse EADI.

Quand toutes les entrees exigees sont accomplies
 Aux pages de POS INIT ; RTE et REF INIT ; le statut
 Incite le vide et le statut prevol est remplacé
 par PRE FLT COMPLETE.

□ **LIGNE V2**
 o montre la vitesse VR calculée par le FMC

les vitesses calculées par l'équipage peuvent être entrées et montrées pour référence.



737

III.2.8

Page d'affichage de reference d'approche

Titre de page	Reference d'approche	But et utilisation
ACCES De PAGE	Page d'INDEX INIT REF (5L) La page INIT REF en vol	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Affiche les donnees pour l'approche et l'atterissage . <input type="checkbox"/> les donnees affichees sont pour l'aeroport de destination et la piste d'arrivee et /ou l'approche ecrite dans le plan de vol du CDU . <input type="checkbox"/> Aucun entrée n'est axigee.

LIGNE DE POIDS BRUT (Gross WT)
o montre le poids brut actuel (livres) calculé par le FMC

LIGNE Du N1 De remise des gaz
o montre la limite calculée du N1 de remise des gaz , basée sur l'altitude pression actuelle, la température, et la configuration de prélevement d'air.

LIGNE DE LONGUEUR DE PISTE
o pour la piste active dans le plan de vol, affiche la longueur de piste.
o si aucune piste n'a été entrée et EXEcutée, cette ligne est vide .

LIGNE D'APPROCHE ILS
o montre le numero de piste et la fréquence et/ou la marque LOC ou BCS d'approche dans le plan de volactive .
o si aucune approche n'a été EXEcutée, cette ligne est vide.

LIGNES de VREF - VOLET 15,30,40
o montre Vref d' atterrissage calculé par le FMC. Les vitesses sont basées sur le GROSS WT affiche.
o Vref sera montré sur les bandes de vitesse EADI quand il y a une entrée manuelle.

APPROACH REF		
104.0	15°	144 KT
93.7 / 96.7%	30°	150 KT
	40°	126 KT
10000 FT		
108.70		273°
< INDEX		

Demande D'INDEX
o la ligne permet le choix de la page REF INIT .

**737****III.3****Page de Navigation Laterale**

Cette section fournit des descriptions et des exemples détaillés des affichages typiques des pages de la navigation latérale *FMC/CDU*.

Cette section ne décrit pas "comment" est la navigation latérale avec le *CDU*, elle décrit plutôt toute information disponible aux pages latérales de navigation.



737

Page de route

III.3.1

Titre de page	Route	But et utilisation
<p>ACCES De PAGE</p>	<p>Les touches de RTE Mode ; La page POS INIT(6R) La page POS REF (6R) La page TAKEOFF REF (4R) La page DEPARTURES/ARRIVALS (6R) La page SELECT DESIRED WPT</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> introduire le plan de vol de route desire dans le CDU ou Prevol. <input type="checkbox"/> les modifications de route qui impliquent des segments ou des procedures entiers . <input type="checkbox"/> Un minimum de ORIGIN; DEST ; est exige a l'entree pour des calculs deperformance du FMC . <input type="checkbox"/> Une Route Activee est effacee toutes fois qu'un vol est accompli ou un ORIGIN a cette page est changee.

LIGNE D'ORIGINE
 o Entrer/afficher l'indicateur d'aéroport d'origine (code de 4 caractères OACI) .
 les données entrantes effacent n'importe qu'elle route existante.
 Les choix peuvent être faits sur les pages de DÉPARTS et d'ARRIVÉES pour l'aéroport d'ORIGINE après les entrées.

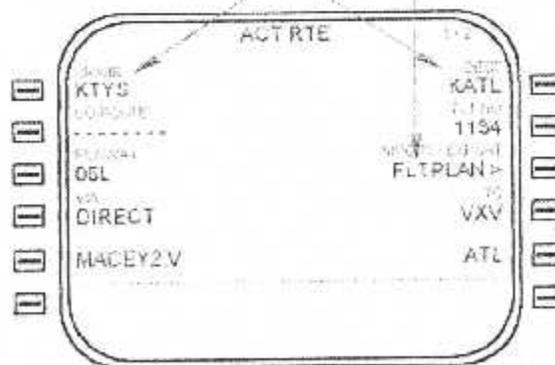
LIGNE ROUTE DE COMPAGNIE
 o montre le titre du plan de vol ,si le dossier est importé

LIGNE DE PISTE
 o Enter/display un nombre de piste d'aéroport d'ORIGINE (5 caractères maximum)
 o peut être écrit par le clavier, ou insere de la page des DÉPARTS.

LIGNE DE DESTINATION
 o Entrer/afficher l'indicateur d'aéroport de destination (4 caractères maximum)..
 o n'importe quel procédé de piste et/ou d'approche dependant de n'importe quelle destination précédente sera efface.
 des choix peuvent être faits sur la page d'ARRIVÉES pour l'aéroport de DEST .

LIGNE DE NUMÉRO DE VOL
 l'entree est passée aux pages de PROGRESSION.

Demande de plan de vol
 o permet d'accéder à la page des plans de vol





III.3.2

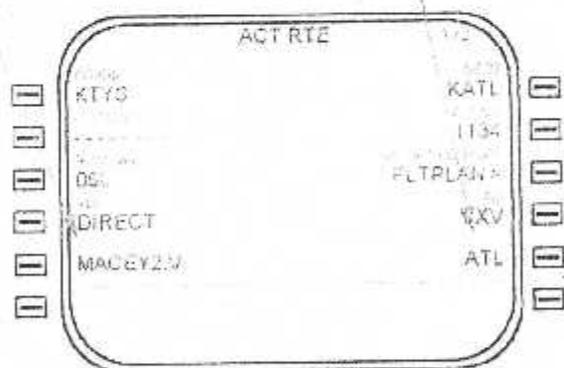
Page de route (suite)

▣ **PAR L'INTERMÉDIAIRE DE LA LIGNE**

- o définit le chemin latéral entre aux entrées.
- o *Enter/display* la marque d'une voie aérienne,
- o peut être écrit utilisant le clavier ou être passé du plan de vol
 - o **DIRECT** est évident quand non **PAR L'INTERMÉDIAIRE** de l'entrée n'est fait et un valide à l'entrée existe sur la même ligne et la ligne ci-dessus.

▣ **À LA LIGNE**

- o définit le point de sortie du **PAR L'INTERMÉDIAIRE** du chemin sur la même ligne.
- o *Enter/display* toute marque valide de but ou de *navaids* (5 caractères maximum).
- les points intermédiaires de o le long de a **PAR L'INTERMÉDIAIRE** de chemin n'exigent pas séparé aux entrées. Cependant, ces buts sont compilés et passés aux **JAMBES** de rte les pages et sont automatiquement montrés.
- o peut être écrit par le clavier de passé du plan de vol ou des pages de **JAMBES** de rte.
 - o le dernier *waypoint/navaids* dans un **SID** apparaît dessus à le moment où un **SID** avec un itinéraire indiqué de transition comme entré.



▣ **MESSAGE DE SOLLICITATION DE L'INITIALISATION PROMPT/ACTIVATION D'EXÉCUTION**

- o quand le plan de vol est mod ou inactif, **ACTIVENT** le message de sollicitation est montré
- o fournit la méthode pour l'activation initiale d'itinéraire.
- la ligne choix de o "arme" la fonction d'exécution et la clef **d'EXEC** illumine après que l'entrée de toutes les données désirées d'itinéraire.
- o le message de sollicitation d'initialisation d'exécution est montré quand sur la **LOI** ou les pages de rte de mod et les entrées requises à la page de la perforation **INIT** être inachevé.
- o permet le choix de la page de la perforation **INIT**.

▣ **ARRÊT D'ITINÉRAIRE**

- des messages de sollicitation de tiret de o sont montrés après la fin du cheminement écrit.
- le cheminement additionnel peut être écrit.



737

III.3.3

Page d'import /Export du plan de vol

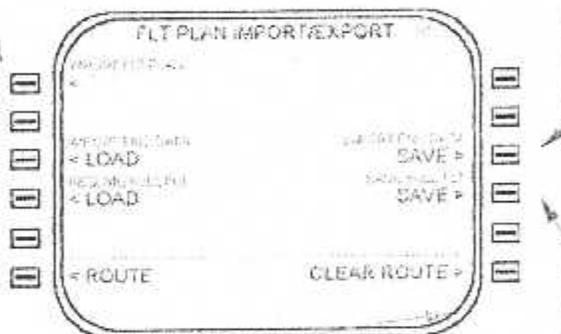
PAGE TITLE	Flight Plan Import/Export	PURPOSE AND USE
PAGE ACCESS	Line Select 3R on RTE Page RTE Mode Key when Route Page is visible	<ul style="list-style-type: none"> □ Permet à l'équipage de donner un nom Au plan de vol à sauvgarder et lasauvgarde De plan de vol actuel.

□ **PLAN DE VOL D'IMPORTATION**
la ligne de o choisie pour montrer la listes de vol disponibles.

□ **L'IMPORTATION DES DONNÉES DE CDU**
la ligne de o choisie pour afficher une liste de données de plan de vol de CDU.
les plans de vol de CDU incluent le plein état que le FMC était dedans quand le vol a été sauvgardé

□ **RESUME FULL FLIGHTPLEIN VOL DE RÉSUMÉ**
la ligne de o choisie pour montrer une liste de plein vol de FMC projetée avec les dossiers associés de vol de simulateur de vol
les plans de vol de o FMC incluent le plein état que le FMC était dedans quand le vol a été sauvgé. Ceci inclut toute la saisie AVANT LE VOL et d'équipage de données
o FMC chargera le simulateur de dossier de situation en vol et l'équipage peut prendre leur vol du point qu'elles l'ont sauvgé.
o disponible seulement quand le panneau 737-400 est en vol simulateur choisie

□ **L'EXPORTATION DES DONNÉES DU CDU**
LA ligne choisie pour sauvgarder l'état actuel comprenant le PLAN de VOL courant du CDU
le nom de fichier DOIT être écrit dans la zone d'insertion avant l'enregistrement.



□ **ENREGISTREMENT DE PLAN DE VOL COMPLET**
La ligne choisie pour sauvgarder l'état actuel comprenant le PLAN de VOL courant du CDU
le nom de fichier DOIT être écrit dans la zone d'insertion avant l'enregistrement.

□ **RESUME DE PLAN DE VOL COMPLET.**
la ligne de o choisie pour afficher une liste des plans de vol de CDU

□ **EFFACAGE DE LA ROUTE**
La ligne choisie pour effacer le plan de vol.



737

III.3.4

Page des étapes de route

Titre de la page	Les étapes de route	BUT ET UTILISATION
ACCES DE LA PAGE	<p>La touche de mode LEGS(étapes)</p> <p>La page (6R) correspondante Au RTE DATA.</p>	<p>montrent automatiquement les détails de plan de vol basées sur les entrées de la page RTE pour chaque WP.</p> <p>utilisé pour modifier les changements d'étape d'un segment ou procédure de route.</p> <p>□ Aucune entrées requises.</p>

□ **LIGNE D'IDENTIFICATION DES POINTS TOURNANTS**

- o Entrer ,afficher et valider n'importe quel identificateur de point tournant.
- o peut être écrit en utilisant le clavier ou inséré à la page de RTE.
- o Pour entrer un cheminement VIA autre que DIRECT, les pages de rte ou de DEP/ARR en doivent être employées.
- o Le point tournant actif ne peut pas être supprimé.
- o le circuit d'attente est automatiquement entré comme un identifiatif de point tournant séparé.
- o Les coordonnées de o Latitude/Longitude peuvent être écrites dans un format spécifique.

□ **LIGNE DE VITESSE ET D'ALTITUDE**

- o écris et/ou montre la vitesse et l'altitude du pt tournant identifié sur la meme ligne en utilisant les valeurs obligatoires ou prévus.
- o peut être écrit en utilisant le clavier, ou insérer à la page de RTE (valeur obligatoire), ou calculer par le FMC (valeur prévue).
- o des entrées de clavier de o sont acceptées seulement pour des étapes de montée ou de descente. On ne permet pas des entrées des étapes de croisière de clavier.
- o 'A 'signifie que l'altitude est exigée ou AU-DESSUS
- o 'B 'signifie que l'altitude est exigée ou AU-DESSOUS
- o des altitudes de o peuvent être écrites par l'intermédiaire du clavier (XXXXX en pieds)

□ **DEMANDE DES DONNÉES PROLONGÉS**

- o ce message est montré sur les pages ACTIVE ou MOD.
- o permet la ligne choix de la page de DONNÉES de RTE qui correspond à la page RTE legs. Il est semblable pour toute la page RTE LEGS.

	ACT	RTE	LEGS	
11100				
VXV			300 / 5000A	
121	05.00			
SABIN			300 / 4100	
121	05.00			
MACEY			300 / 04100	
121	05.00			
WOMAC			300 / 04100	
121	05.00			
LOGEN			300 / 17500B	
121	05.00			
				DATA >



III.3.5

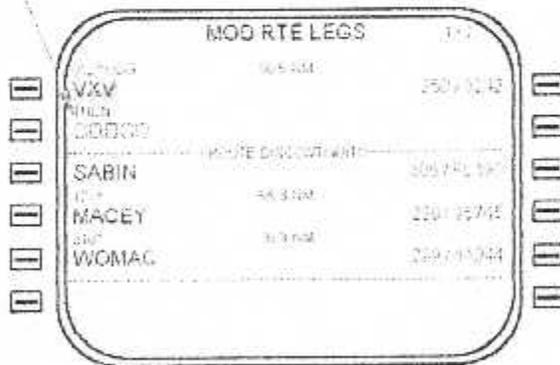
Pages des étapes de route(suite)

ÉTIQUETTE DECENTRE DE LA CARTE

- o identifie le point tournant autour duquel le mode carte du EHSI sera centré.
- o l'étiquette est automatiquement montrée pour le premier wpt géographique fixe toute fois que le sélecteur de mode de EHSI est placé sur PLAN.

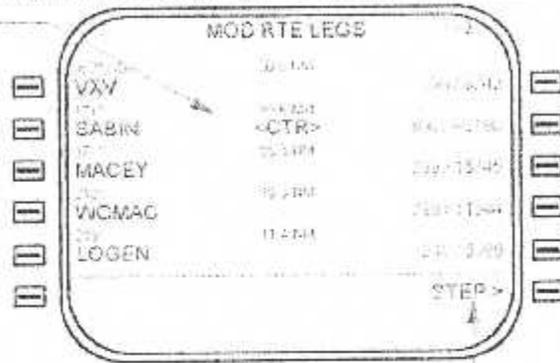
DISCONTINUITÉ DE ROUTE

- o la route entrée doit toujours former un chemin continu des étapes liées.
- o quand une discontinuité se produit, un message sera montré entre les wpts discontinus. La discontinuité d'itinéraire DOIT être résolue avant que l'exécution puisse se produire.
- o choisissant pour dégager une discontinuité, le wpt au-dessous de la discontinuité en appuyant la ligne gauche appropriée.



Restrictions d'ALTITUDE

- des restrictions d'Altitude sont identifiées avec de grands caractères dans une des manières suivantes
- o "à la valeur affiché est montré avec une valeur plate.
- o "à ou au-dessus de" affiché avec le suffixe A.
- o "à ou ci-dessous" affiché avec le suffixe B.

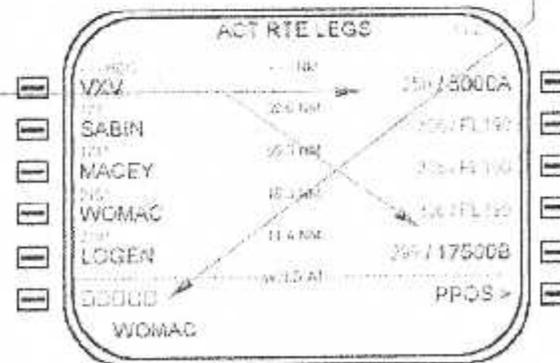


DEMANDE D'ETAPE DE VOL

- o seulement montrée quand le PLAN de vol est choisi sur le sélecteur de mode associé de EHSI.
- o appuyer sur la PAGE PREV ou NEXT pour déplacer l'étiquette de centre de carte au premier WPT géographique fixe à la nouvelle page.

DEMANDE DE L'ATTENTE

- o Appuyer pour accepter une nouvelle attente, les messages de demande d'attente sont montrés.





737

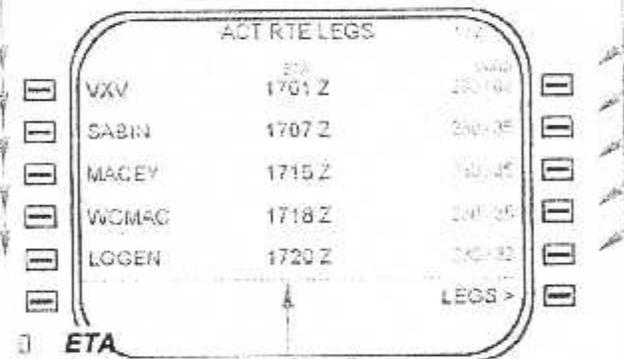
III.3.7

Pages de données de route

Titre de page	Données de route Correspond à la page RTE LEGS de la ligne (6R)	BUT ET UTILISATIONS
ACCES DE LA PAGE		<ul style="list-style-type: none"> □ Appliquer seulement à un ACT ou MODE route. □ fournit l'état de chaque point tournant de la page RTELEGS correspondante □ permet l'insertion des vents prévus en croisière pour aider le FMC à optimiser les calculs.

□ **LIGNE D'IDENTIFICATEUR DE POINT TOURNANT**
 o montre les mêmes identificateurs trouvés à la page LEGSROUTE.

□ **LIGNE DE VENT**
 o entrer ou afficher les vents vrais au pt de croisière identifié sur la même ligne. Peut être entré en utilisant le clavier, ou insérer à la page de la perforation *INIT*.
 o la valeur de VENT en croisière est insérée à **tous les points de croisière**.
 o Le *CDU* assume 000/000 si aucune entrée de VENT de croisière n'était faite.



□ **ETA**
 o montre l'ETA sur la même ligne.

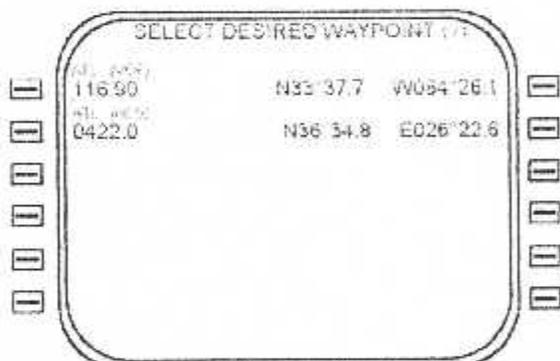


737

III.3.8

Pages de selection des points tournants

Titre de la page	Select Desired Waypoint	BUT ET UTILISATIONS
ACCES de la PAGE	Automatic access whenever a non-unique identifier entry is attempted on another page	<ul style="list-style-type: none"> □ Allows selection of the desired waypoint from a list of up to six identical stored identifiers.



- **LIGNES DE DESCRIPTION DE BUT**
 - o montre tous les fréquences et/ou endroits uniques qui sont associés à la marque commune.
 - o revient automatiquement à la forme de page originale que cette page a été consultée toutes les fois qu'une ligne choix est faite. Le but choisi sera alors montré sur la ligne où l'entrée a été précédemment essayée.



737

III.3.9

Page d'attente en route

Titre de page	L'attente	PURPOSE AND USE
<p>ACCES DE LA PAGE</p>	<p>Mode attente quand un repère d'attente existe.</p> <p>Quand un repère d'attente est entré dans la page (RTE LEGS) ou HOLDAT cette page est automatiquement accédé.</p>	<p>☐ Afficher et/ou mettre à jour les détails d'un circuit d'attente existant.</p>

☐ **LIGNE DE REPERE**

o montre l'identification du point qui sert de repère d'attente.
 o l'insertion est manuellement sur la page, ou automatiquement de la base de données.

☐ **LA LIGNE DE DIRECTION DE VIRAGE**

o écrivent et/ou montrent la direction du virage dans l'attente.
 o peut être écrit utilisant le clavier, ou être passé de la base de données.
 o Le CDU assume un virage à droite si aucune entrée n'est faite.
 L'entrée peut être 'R' ou 'L'
 l'entrée manuelle prend la priorité.

☐ **LIGNE DE TRAJECTOIRE D'ARRIVÉE**

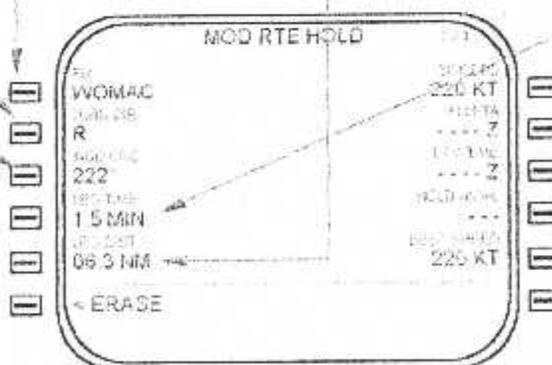
o montrent la trajectoire d'arrivée de l'attente.
 o Le CDU assume une trajectoire identique que l'étape précédente si aucune entrée n'est faite.

☐ **LIGNE DE TEMPS D'ELOIGNEMENT**

o écrive et/ou montre le temps d'éloignement dans l'attente.
 o Le CDU assume les temps standards de la minute 1.0 ou en-dessous derrière 14.000 pieds et derrière 1.5 minute au-dessus de 14.000 pieds si aucune entrée n'est faite.
 l'entrée manuelle prend la priorité.

☐ **LIGNE DE DISTANCE D'ELOIGNEMENT**

Des tirets sont affichés.
 o écrive et/ou montre la distance d'éloignement
 L'entrée manuelle prend la priorité.

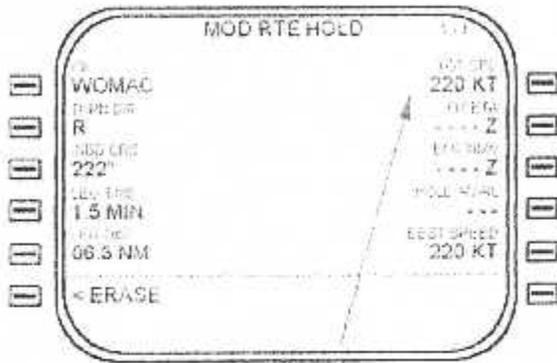




737

III.3.10

Page d'attente (suite)



- **LIGNE D'ATTENTE DISPONIBLE**
 - o Affiche le temps d'attente disponible quand la page est active si la destination va être atteinte avec le carburant de réserve restant.

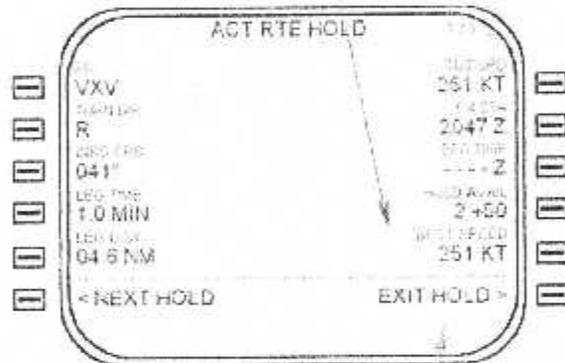
- **VITESSE DE LA MEILLEURE LIGNE**
 - o Affichage la meilleure vitesse d'attente calculée. -

- **LIGNE DE VITESSE DE CIBLE**
 - o écrive et/ou montre la vitesse cible (TARGUET speed) anémométrique .
 - o la MEILLEURE valeur de VITESSE est montrée si aucune entrée n'est faite.
 - l'entrée manuelle prend la priorité.
 - o a passé aux pages de *CLB/CRZ/DES* comme *TGT SPD* trois minutes avant d'atteindre le repère.

- **MESSAGE DE LA PROCHAINE ATTENTE**
 - o montré quand la route contient moins de cinq attentes.
 - o s'il n'y a pas une autre attente dans la route, la page (RTELEG) HOLDAT s'affiche. S'il ya une autre attente dans la route, la page RTE HOLD s'affiche

Statut de modification de l'attente de route
Le mod indique que le repère d'attente n'a pas été exécuté.

STATUT D'attente actif de route
L'ACT indique que l'avion est entré à l'attente exécutée.



- **Message de sortie HOLD/sortie armée**
 - o s'affiche seulement dans la page ACT RTE HOLD pendant l'attente.
 - o Selecté pour préparer le départ de l'attente et EXIT ARMEO s'affiche
 - o S'affiche après le selection de EXIT HOLD seulement des ACT RTE HOLD pendant l'attente.



737

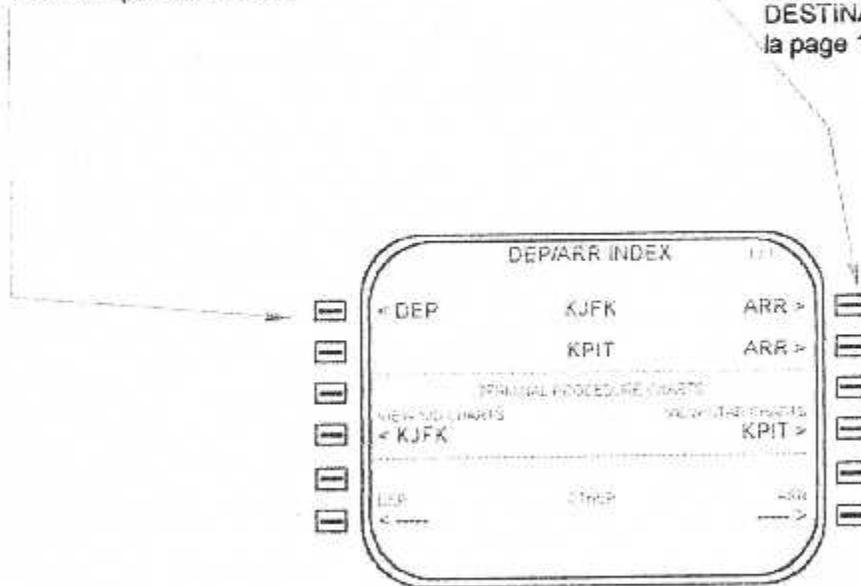
III. 3.11

Pages d'index Départ/Arrivée

Titre de la page	Index de Départ/Arrivée	BUT ET UTILISATION
ACCES DE LA PAGE	La touche du DEP ARR mode INDEX dans les pages de départs et des arrivées (6L)	Accéder aux listes de toutes les procédures de départ ,d'arrivée et de piste stockées dans la base de données du CDU.

DEMANDE DES DÉPARTS D'ORIGINE
 permet le choix des pages de DÉPARTS pour l'aéroport d'ORIGINE qui avait été entré à la page 1 de RTE précédemment.

DEMANDE D'ARRIVÉES DE DESTINATION
 la ligne permet le choix de la page d'ARRIVÉES pour l'aéroport de DESTINATION précédemment entré à la page 1 de RTE.





737

III.3.12

Page des départs

Titre de page	DEPART	But et utilisation
ACCES de page	Page de reference de décollage quand il n'y a aucune entrée sur la ligne 3L et 4L (5R) de la page 1(RTE).	<ul style="list-style-type: none"> □ Enuméré toutes les pistes et la procedure de depart pour l'aeroport choisi . □ Utilisé pour choisir les SIDet les pistes désirées

□ LIGNES DE SID

AFFICHAGE INITIAL

- o montre une liste alphabétique de toutes les SID pour l'aéroport .
- la ligne choix d'une piste supprime tout SID non lié à cette piste.
- o tous autres SID et pistes non-applicables sont supprimés le choix désirée de SID. S.

AFFICHAGE APRÈS SID A CHOISI

- o - affichages de SID choisi.

□ LIGNE DE SID de Transition

AFFICHAGE INITIAL

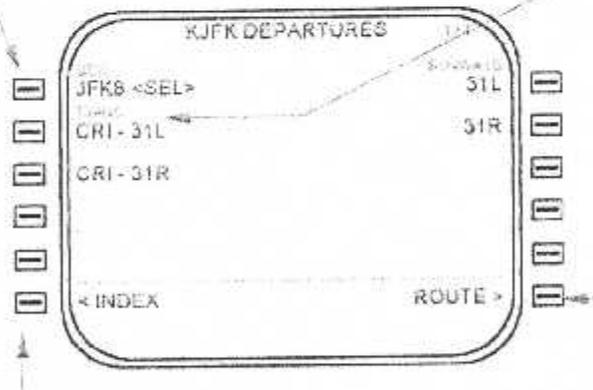
- o une liste alphabétique de toutes les SIDs pour l'aéroport est montrée sur la page. tout SID non lié à une piste choisie sera supprimé.

AFFICHAGE APRÈS SID choisi

- o montre toutes les transitions de départ liées au SID choisi.

AFFICHAGE APRÈS QUE LA TRANSITION DU SID AIENT CHOISI

- o montrent la transition et la piste choisies de départ.



□ DEMANDE D'INDEX

- o la ligne permet le choix de la page d'INDEX de DEP/ARR.C'est le même pour toutes les pages de DÉPARTS.

□ DEMANDE DE ROUTE

- o la ligne permet le choix de la page appropriée a la RTE .C'est le même pour toutes les pages de DÉPARTS.



737

III.3.13

Page des departs(Suite)

INDICATEUR D'EMPLACEMENT D'AÉROPORT
 toutes les données de page s'appliquent seulement à l'aéroport identifié.

NUMERO DE PAGE / PAGES TOTALES
 le nombre de pages de DÉPARTS change avec la quantité de données à montrer.

LIGNE DE PISTE

AFFICHAGE INITIALE

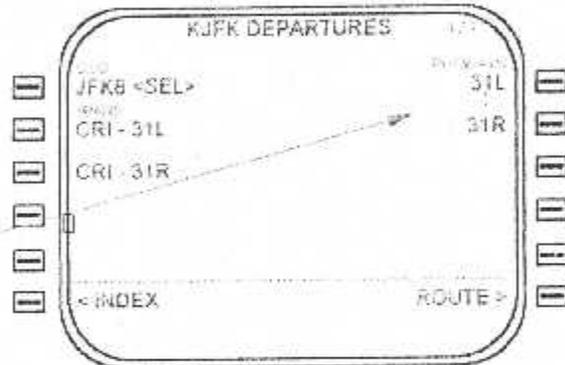
- o une liste alphabétique de toutes les pistes, est montrée sur la page.
- o toutes autres pistes sont supprimées sur la selection de ligne de piste désirée.

L'AFFICHAGE APRÈS SID A CHOISI

- o montrent toutes les pistes associées, à moins que la piste désirée ait été choisie sur l'affichage initial.

AFFICHAGE APRÈS QUE LE TRANSPORT ET LE RWY DE SID AIENT CHOISI

- o montrent la transition et la piste choisies d'arrivée.



NOTE

IDEM pour les arrivées.



III.3.14

Pages des arrivées

TITRE DE PAGE	Arrivées
PAGE ACCESS	page d'INDEX DEP/ARR 2R

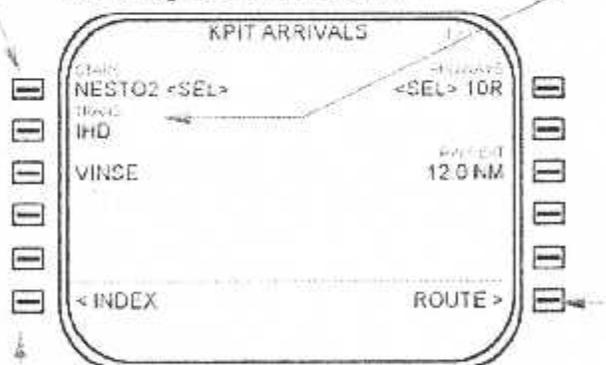
BUT et UTILISATION
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Lists all arrival procedures and runways for the selected airport. <input type="checkbox"/> Used to select the desired STAR, STAR transition, runway. <input type="checkbox"/> Only procedures for the DEST airport can be selected for entry into the flight plan.

LIGNES D'ÉTOILE AFFICHAGE INITIAL

- o une liste alphabétique de toutes les étoiles pour l'aéroport est montré sur l'affichage initial de page.
- o toutes les étoiles non liées à une piste choisie après ligne choix de cette piste sera supprimé.
- o toutes autres étoiles et pistes non applicables veulent supprimé après la ligne choisie de l'ÉTOILE désirée. La volonté montrent également une liste de toutes les transitions d'arrivée applicables à l'ÉTOILE choisie

L'AFFICHAGE APRÈS ÉTOILE A CHOISI

- o affichages l'ÉTOILE choisie.



MESSAGE DE SOLlicitATION D'INDEX

- o permet la ligne choix de la page d'INDEX de DEP/ARR. C'est le même pour toutes les pages d'ARRIVÉES.

LIGNE DE DEMARAGE/LIGNE DE L'ARRIVEE DE TRANSITION

AFFICHAGE INITIAL

- o une liste alphabétique de toutes les étoiles pour l'aéroport est montré sur l'affichage initial de page.
- o toutes les étoiles non liées à une piste choisie après ligne choix de cette piste sera supprimé.
- o toutes autres étoiles et pistes non applicables sera supprimé après ligne choix de l'ÉTOILE désirée. La volonté montrent également une liste de toutes les transitions d'arrivée applicables à l'ÉTOILE choisie.

L'AFFICHAGE APRÈS ÉTOILE A choisi

- o montrent toutes les transitions d'arrivée liées à l'ÉTOILE choisie.

AFFICHAGE APRÈS QUE LE TRANSPORT ET LE RWY D'ÉTOILE AIENT CHOISI

- o montrent la transition et la piste choisies d'arrivée.

MESSAGE DE SOLlicitATION D'ITINÉRAIRE

- o permet la ligne choix de la page appropriée de rte. C'est le même pour toutes les pages d'ARRIVÉES.



737

III.3.14

Pages de progression

<p>Titre de page</p> <p>ACCES DE PAGE</p>	<p>Progression</p> <p>La touche de mode PROG</p>	<p>But et utilisation</p> <ul style="list-style-type: none"> ☐ Montre des données dynamiques courantes le long de la route ACTIVE.
---	--	---

- ☐ **LA LIGNE FROM**
 - o montre l'indicatif du point ; le carburant l'heure d'arrivée réelle (ATA), et l'altitude.
- ☐ **LIGNE POINT ACTIVE**
 - o montre l'heure estimée d'arrivée (ETA) et le carburant restant au point active (Livres x1000) ...

- ☐ **LIGNE DE PROCHAINE POINT..**
 - o montre l'heure estimée d'arrivée (ETA) et le carburant restant au prochain point (livres X 1000).

PRECED	ALT	ETA	FUEL
KTYS	-----	-----Z	00.0
VXV	5103	1701 Z	00.0
SABIN	5143	1707 Z	-01.2
KATL	5254	1729 Z	-02.7
			FUEL DTG 00.0
WIND 000 7 000			

- ☐ **LIGNE DE DESTINATION**
 - o montre le code de l'aéroport de DEST la distance restante (DTG) de la position actuelle au DEST.
 - o montre l'heure estimée d'arrivée (ETA) et le carburant restant au DEST (livres X 1000).

- ☐ **VENTS**
 - o vent actuel reçu par le FMC.

- ☐ **LIGNE DE QUANTITÉ DE CARBURANT**
 - o montre la quantité actuelle de carburant total restante comme obtenue à partir de l'unité d'addition de carburant d'avion (livres X 1000).



737**III.4****Pages de navigation Verticale du CDU.**

Cette section fournit des descriptions et des exemples détaillés de la page verticale du *FMC/CDU*. Cette section ne décrit pas "comment" voler en mode de navigation verticale avec le *CDU*, elle décrit plutôt toutes informations disponibles aux pages de navigation verticale.



737

III.4.1

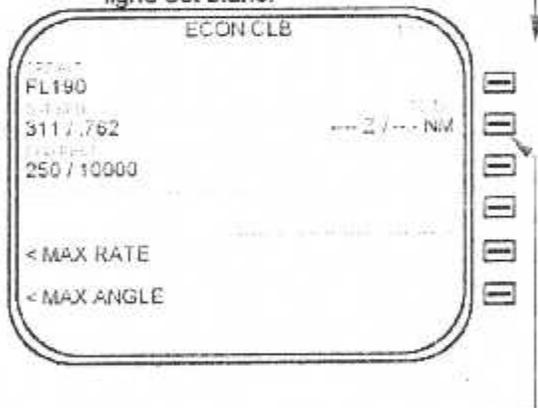
Page de Montee

Titre de Page	Pages diverses de montee	But et utilisation
ACCES De Page	latouche de mode CLB	<ul style="list-style-type: none"> Peut evaluer ou executer l'un des modes de montee standard.(ECON ;MAX RATE ; MAX ANGEL ou MANUAL) pendant le prevol ou la montee . Autrement ; ECO est automatiquement indique et il n'exige pas l'EXEcution initiale .

LIGNE D'ALTITUDE DE CROISIÈRE
 o écrit et/ou montre l'altitude de croisière prévue (XXX = un FL ou des pieds X 100).
 o peut être écrit en utilisant le clavier, ou inserer l'entrée de CRZ ALT aux pages PERF INIT ou CRZ .
 o n'importe quelle nouvelle valeur écrite est passée à toutes autres pages qui montrent CRZ ALT

RESTRICTION D'ALTITUDE À LA LIGNE/ LIGNE D'ALTITUDE MAXIMUM
 o montre le prochain but qui a une restriction d'altitude.L'entrée est passée des pages de JAMBES de rte.
 o s'il n'y a aucune restriction d'altitude de *downpath*, cette ligne est blanc.

LIGNE DE VITESSE CIBLE
 o montre les valeurs calculées pour la vitesse anémométriques et le mach cible pour n'importe quel mode de CLB .La vitesse d'ordinateur est limitée à un maximum de 335 noeuds ou M.809. la vitesse anémométrique et/ou le mach , y compris un programme d'*airspeed/mach*, peuvent être écrits en utilisant le clavier si désirés.Cette page de CLB pour cette valeur paraîtra sur l'entrée.



Demande de page de montee
 o la ligne permet choix des diverses pages de CLB.Le message de sollicitation pour une page masque la selection suivantes de la ligne .Semblable pour toutes les pages de CLB.

A LA LIGNE / LIGNE N1 / LIGNE D'ERREUR DE CHRONOMETRE
 o montre ETA, et distance, à un but s'il est montré sur la ligne 1R.
 La vitesse de contrôle active est accentuée par les caractères de vidéo inverses (2L).
 Chaque mode de montee execute est active
En ont exécuté le mode d'élever sont
Actif seulement entre le decollage et dessus de montee.



LIGNE D'ALTITUDE DE CROISIÈRE

- o écrit et/ou montre l'altitude de croisière prévue (XXX = un FL ou des pieds X 100).
- o peut être écrit en utilisant le clavier ou être passée des pages de DES ; PERF INIT, CLB, CRZ .
- o l'entrée d'une nouvelle valeur pendant la croisière active passe la nouvelle valeur à toutes autres pages qui montrent CRZ alt et fait paraître la page de DES de mod CRZ CLB ou de mod CRZ.

LIGNE DE VITESSE CIBLE

- o montre la valeur d'ordinateur pour la vitesse anémométrique ou le mach de cible pour n'importe quel mode de CRZ excepté le manuel. La vitesse calculée est limitée à un maximum de 335 noeuds ou M.809.

la vitesse anémométrique ou le mach peut être écrite utilisant le clavier, si désiré. La page manuelle de CRZ pour la valeur écrite paraîtra sur l'entrée de la nouvelle valeur.

- o la valeur est accentuée par des caractères de vidéo inverses si la page est ACTIVE

LIGNE du N1 (TURBULENCE)

affichage de référence du N1% pour la pénétration de turbulence.

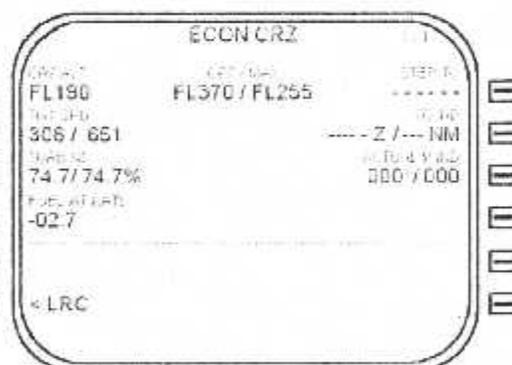
- o ne peut pas être commandée à l'automanette.

DEMANDE DE PAGE DE CROISIÈRE

- o la ligne permet choix des diverses pages de CRZ. Le message de sollicitation pour la page masque la sélection suivante de la ligne .

ALTITUDE OPTIMUM/MAXIMUM

- o montre l'altitude optimal d'ordinateur pour le mode affiché de croisière. Les critères minimum de temps de croisière ne contraignent pas la valeur.
- o montre en outre l'altitude possible maximum basée sur la vitesse choisie de cible et la marge ligne-choisie de manoeuvre.
- o la valeur est employée pour une référence d'équipage et comme guide pour l'ÉTAPE d'évaluation aux entrées. On le considère consultatif seulement.



PAGES STANDARD DE CROISIÈRE AVEC LE MODE ACTIF DE CROISIÈRE DE DONNÉES D'ÉTAPE (PENDANT LA CROISIÈRE)

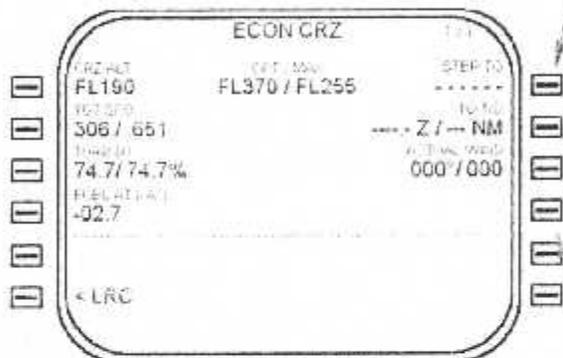
n'importe quel mode exécuté de croisière est ACTIVE seulement entre dessus-de-montée et le commencement de la descente.

- o L'ÉTAPE à l'altitude peut être transférée à la ligne de CRZ alt après évaluation des données d'étape.



III.4.3

737
Page de croisiere (Suite)



□ ÉTAPE À LA LIGNE D'ALTITUDE/ LIGNE D'ALTITUDE MAXIMUM

- o montre normalement des messages de sollicitation vide.
- o peut être employée pour écrire une altitude possible de l'étape de montée ou de descente pour l'évaluation d'équipage, si désiré.

□ LIGNE DE POINT D'ÉTAPE

- o montre l'ETA calculé, et la distance, au premier point possible de l'étape de montée basé sur le poids brut si une altitude de l'étape de montée ou de descente est écrite sur la ligne 1R. Autrement cette ligne est blanche.
- o s'il n'y a pas ÉTAPE à l'entrée, cette ligne affiche l'information de dessus-de-descente.

□ LIGNE DE VENT

- o montre normalement le VENT vrai actuel calculé par FMC pour l'altitude actuelle.

□ LIGNE de SAVINGS/PENALTY COMMERCE Vent-altitude)

- o montre les % prévus d'ÉCONOMIES ou PÉNALITÉ liée à voler le profil montré de speed/altitude par rapport à voler le programme de vitesse de cruse d'ACTIVE et à maintenir l'altitude actuelle jusqu'à le dessus-de-descente si une ÉTAPE à l'altitude est écrite sur le 1R pour le mode d'ACTE ou de CROISIÈRE. Autrement, cette ligne est laissée blanche.



737

III.4.4

Page de descent

Titre de page	Pages descent
ACCES DE PAGE	Touche de Mode DES

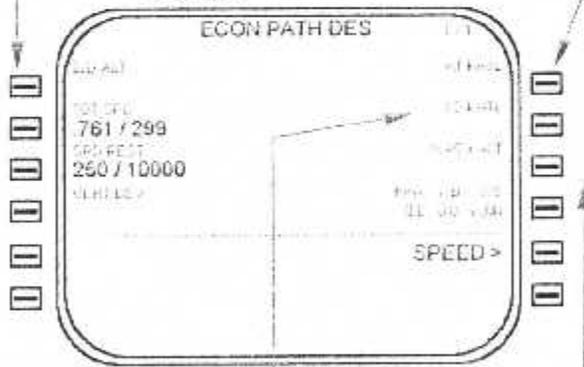
But et utilisation
<ul style="list-style-type: none"> □ peut être utilisée pour évaluer ou Exécutée un des modes standards de descent (ECO PATH ou SPD ; ou MANUAL PATH ou SPD) pendant le prevol ; Autrement ; ECO PATH est automatiquement spécifié . □ Fournit une donnée de progression de la phase de descente de vol .

□ **LIGNE D'ALTITUDE DE FIN DE DESCENTE / LIGNE D'ALTITUDE DE CROISIERE**
 o montre la restriction d'altitude du point tournant de fin de descent (E/D) quand à une page de trajectoire . Si une trajectoire de descente n'est pas disponible, cette ligne est blanche.
 o montre l' inférieure de 1000 pieds au-dessus de l'altitude de champ d'aéroport de DEST du plus bas "" à la contrainte d'altitude quand à une page de DES de SPD.

□ **LIGNE DE VITESSE CIBLE**
 o montre les valeurs calculées pour le mach et la vitesse anémométrique de cible pour les modes de trajectoire DES ECON ou de DES ECON SPD. La vitesse calculée est limitée à un maximum de 330 noeuds ou M.798. *Mach et/ou vitesse anémométrique peuvent être écrits en utilisant le clavier si désiré (programme y compris de Mach/airspeed). Le trajectoire de DES manuel ou la page manuelle de DES de SPD pour cette valeur apparaît après entrée.
 o si une trajectoire de descente n'est pas disponible, cette ligne est blanche pour n'importe quelle page de chemin DES .

□ **DEMANDE D'ÉCONOMIE**
 o montré aux pages manuelles de DES.
 o la ligne permet le choix de la page correspondante de DES de SPD ou de CHEMIN ECON.

□ **LIGNE D'ALTITUDE DE RESTRICTION /LIGNE D'ERREUR DE TEMPS**
 o montre le prochain point tournant qui a une restriction d'altitude avec la restriction associée. L'entrée est passée des pages de RTE LEGS .
 o s'il n'y a aucune restriction d'altitude de downpath, ou si un chemin de descente n'est pas disponible pour aucune page de CHEMIN de DES, cette ligne est blanche.



□ **A LA LIGNE /LIGNE DE L'ERREUR DE TEMPS**
 o montre ETA, et distance, à la restriction au 1R

□ **POINT TOURNANTS / LIGNE D'ALTITUDE**
 o le point tournant et l'altitude montrés définissent une position tridimensionnelle.
 o montre normalement le même point tournant et la même restriction d'altitude qui sont affichés est montrée sur la ligne 1R.



737

III.4.6

Page de limites de N1

- I **LIGNE De Tour**
o permet l'affichage des limites du tour N1.
- U **LIGNE CONTINUE**
o permet l'affichage des limites N1 continues maximum.
- II **LIGNE DE MONTEE**
o permet l'affichage des limites plein-évaluées de l'élève N1 (CLB).
- III **LIGNE DE CROISIÈRE**
o permet l'affichage des limites de la croisière N1 (CRZ).

- II **LIGNES de N1%**
o montrent le N1% pour les différentes limites de poussée.

N1 LIMIT	
AUTO	1500 FT
GA	97.3 / 97.3%
CON	91.1 / 91.1%
CLB	91.1 / 91.1%
CRZ	90.1 / 90.1%
< CLB-1	CLB-2 >

- III **LIGNES RÉDUITES DE MONTEE**
o permet la ligne choix de l'un ou l'autre de deux modes réduits de poussée d'élève.
la limite d'élève de o A réduite de 3% N1 est fournie sur la ligne choix de *Clb-1* (6L). Approximativement 10% poussé.
la limite d'élève de o A réduite de 6% N1 est fournie sur la ligne choix de *Clb-2* (6R). Approximativement 20% poussé.
la suppression de o permet un retour à l'élève plein-évalué poussé si l'un ou l'autre mode est < SEL >.
N'importe quel choix réduit d'élève est automatiquement supprimé au-dessus de 15.000 pieds



III.4.5

Page de descente (suite)

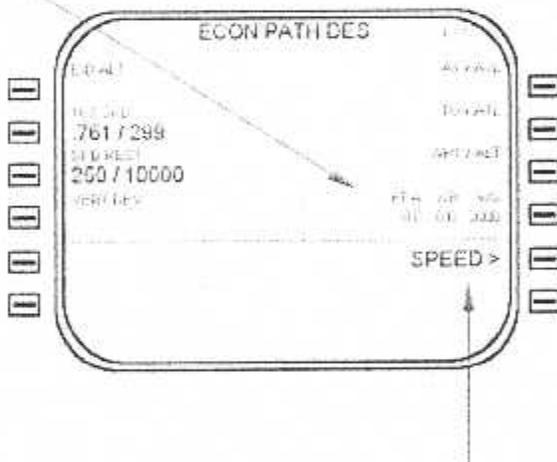
□ LIGNE VERTICALE DE PARAMÈTRES DE CHEMIN

Montre les paramètres suivants liés au chemin vertical actuel.

o FPA - angle réel de chemin de vol basé sur la vitesse au sol actuelle et la vitesse verticale (le roulement vertical actuel étant volé).

o V/B - roulement vertical directement de la position actuelle au WPT/ALT montré sur la ligne 3R (l'angle de chemin de vol requis si voler directement au but et à l'altitude sur ligne 3R).

o V/S - la vitesse verticale courante, dans le fpm, basé sur la vitesse au sol actuelle, pour voler le V/B montré.



□ MESSAGE DE SOLLICITATION DU CHEMIN PROMPT/SPEED

o si une descente de chemin est disponible, le message de sollicitation de chemin est montré aux pages de DES de SPD.

o permet la ligne choix de la page correspondante de DES de CHEMIN.

Montré aux pages de DES de CHEMIN.

o permet la ligne choix de la page correspondante de DES de SPD.

□ Ces pages montrent sélectivement des données en utilisant un format commun pour chacun des quatre modes standard de descente : Chemin le descente-Meilleur ECONomy ou toute vitesse manuellement choisie de descente, et vitesse le descente-Meilleur ECONomy ou toute vitesse manuellement choisie de descente.

□ Les descentes de vitesse sont altitude et vitesse anémométrique contrainte mais exigent la commande verticale de chemin en utilisant les leviers et les speedbrakes poussés. Si le MCP a été déjà placé à une basse altitude, les descentes de vitesse de V NAV sont automatiquement lancées à la dessus-de-descente calculée. Les prévisions de FMC assument un profil calculé à 1000 pieds au-dessus des altitudes de zone réceptrice à une position qui changera selon le choix des procédures d'arrivée. Un profil de ralentissement pour l'approche sera fourni par FMC. L NAV n'a pas besoin d'être engagé pour voler une DESCENTE de VITESSE de VNAV.

La vitesse de contrôle active est accentuée par des caractères de vidéo inverse (sur lignes 2L ou 3L).

Les descentes de chemin sont altitude contrainte et exigent la commande manuelle de vitesse. Si une altitude inférieure de MCP a été choisie, alors la descente de V NAV est automatiquement lancée à T/D. Le profil calculé se termine à l'extrémité-de-descente (E/D) altitude/waypoint. Seulement si un obligatoire "" à la restriction d'altitude est indiqué à E/D mettre en boîte un chemin soit calculé.



CHAPITRE IV

Simulation de la navigation

**DESCRIPTION DE L' APPLICATION :**

Notre application consiste à simuler une navigation par FMC en visualisant tout démarche pour remplir le plan de vol dans le CDU d'un B737-400. Pour cela, on a utilisé le logiciel Flight Simulator FS de Microsoft.

Le choix de flight simulator pour cette application est basé sur le fait qu'il est :

- Riche en base de donnée : regroupe presque tous les aérodromes du monde avec leur texture d'environnement extérieur.

- Disponibilité des moyens radio (VOR, NDB, LOC, DME...) et des modèles d'avions (B737-400, Cessna 158, Beech 1900...).

- Ainsi, Le logiciel flight simulator est un simulateur de vol évolutif permettant d'ajouter des « add-ons » ou programmes annexes qui viennent se greffer sur le programme.

Cette particularité, que très peu de logiciels possèdent, permet d'obtenir un environnement riche et paramétrable à souhait.

Ces caractéristiques nous permettent de dire que le FS est un système ouvert, ce qui nous donne la possibilité de rendre notre application plus proche de la réalité et cela en effectuant quelques modifications dont :

IV.1. MODIFICATION DE L'ENVIRONNEMENT :

Pour notre application, nous avons modifié l'environnement de l'aéroport central d'Alger (HOUARI BOUMEDIENE)-DAAG-, cette opération est appelée création des scènes (scenery) ou aéroports.

Pour le procédé de la modification le Flight Simulator met à disposition des programmes spécifiques à l'environnement 3D comme le GMAX et le AFCAD.

Le créateur devra donc apprendre à manipuler ce type de logiciels.

En effet, un aéroport de flight simulateur nécessite deux conditions pour se fonctionner :

1°) Des fichiers BGL qui définissent les formes de bâtiment, leurs emplacements, la position des pistes, tailles, ainsi que les équipements de navigation autour de l'aéroport.

2°) Des fichiers texture au format graphique BMP pour rendre l'aéroport visuel.



NB :

Le détail de l'utilisation des logiciels n'est pas notre but, pour avoir les manuels d'utilisation il suffit de consulter les fichiers HELP ou README inclus dans les logiciels.

IV.1.1.Génération des fichiers BGL :

Pour générer les fichiers BGL, le créateur n'a donc qu'à apprendre à manipuler les logiciels fournis dans FS2002 ou téléchargeables sur internet.

Dans notre travail nous avons utilisé le logiciel AFCAD pour créer les BGL de DAAG.

En exécutant le AFCAD, une fenêtre s'ouvre comme suit :

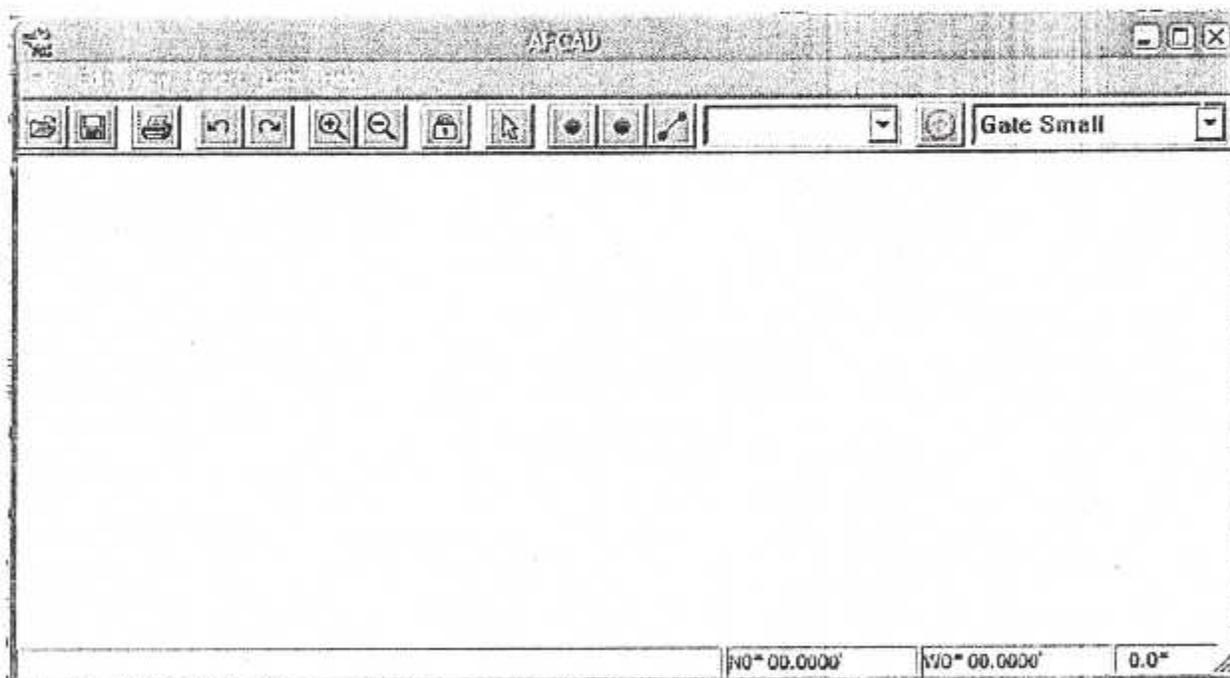


Fig .IV .1 .Exécution du logiciel AFCAD.



On ouvre la base de données des aéroports et on tape le code d'emplacement OACI de l'aéroport d'Alger (DAAG) dans la case Airport ID comme suit :

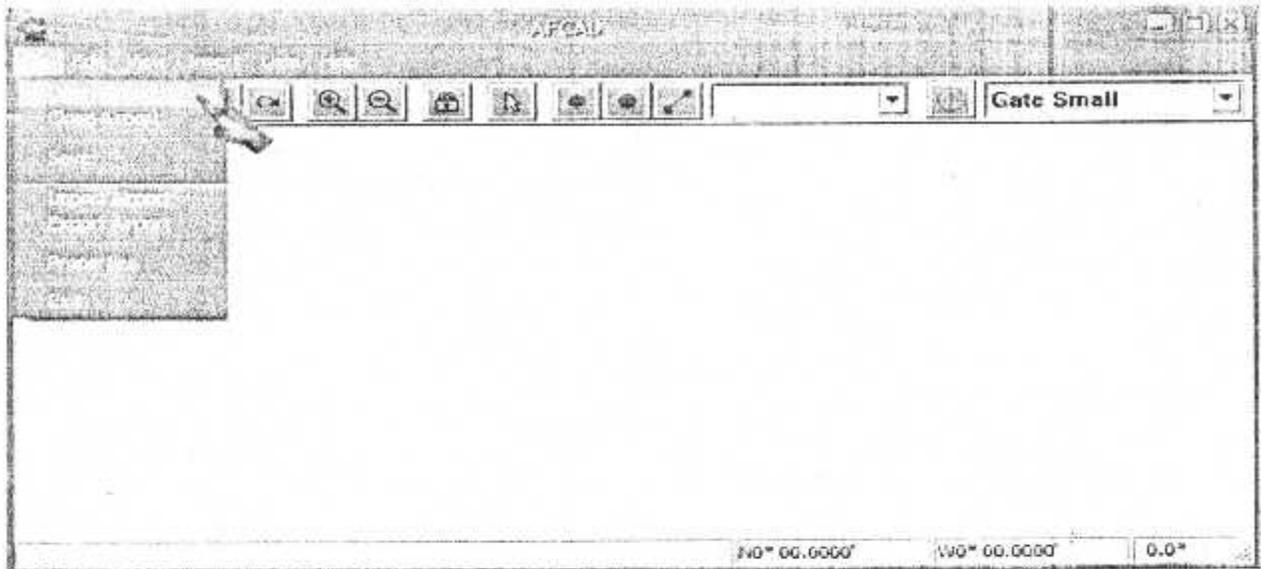


Fig .IV .2 .Ouverture de la base des données des aéroport dans le AFCAD
En cliquant sur recherche, on obtient notre aéroport

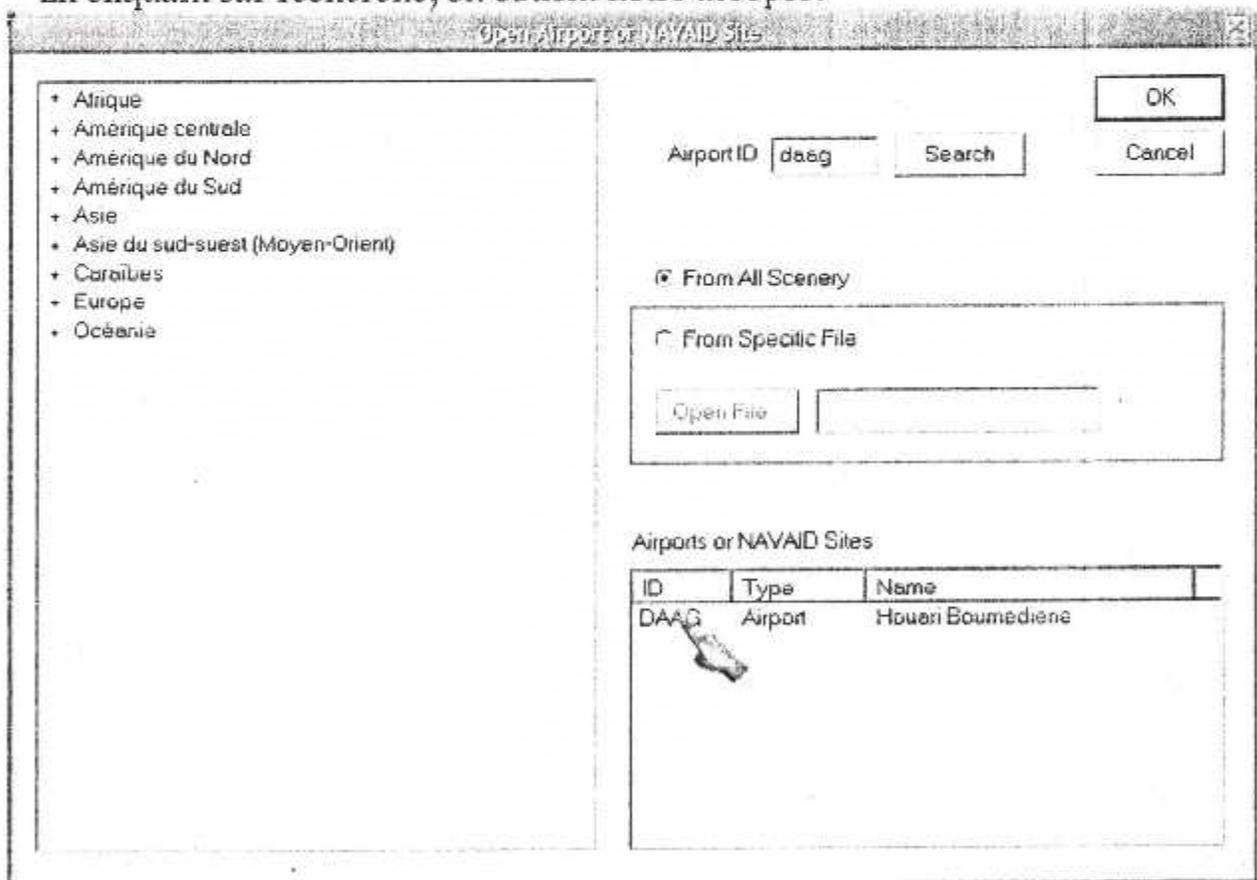


Fig .IV .3 .Recherche de le DAAG



En double click, on obtient le résultat pour la modification :

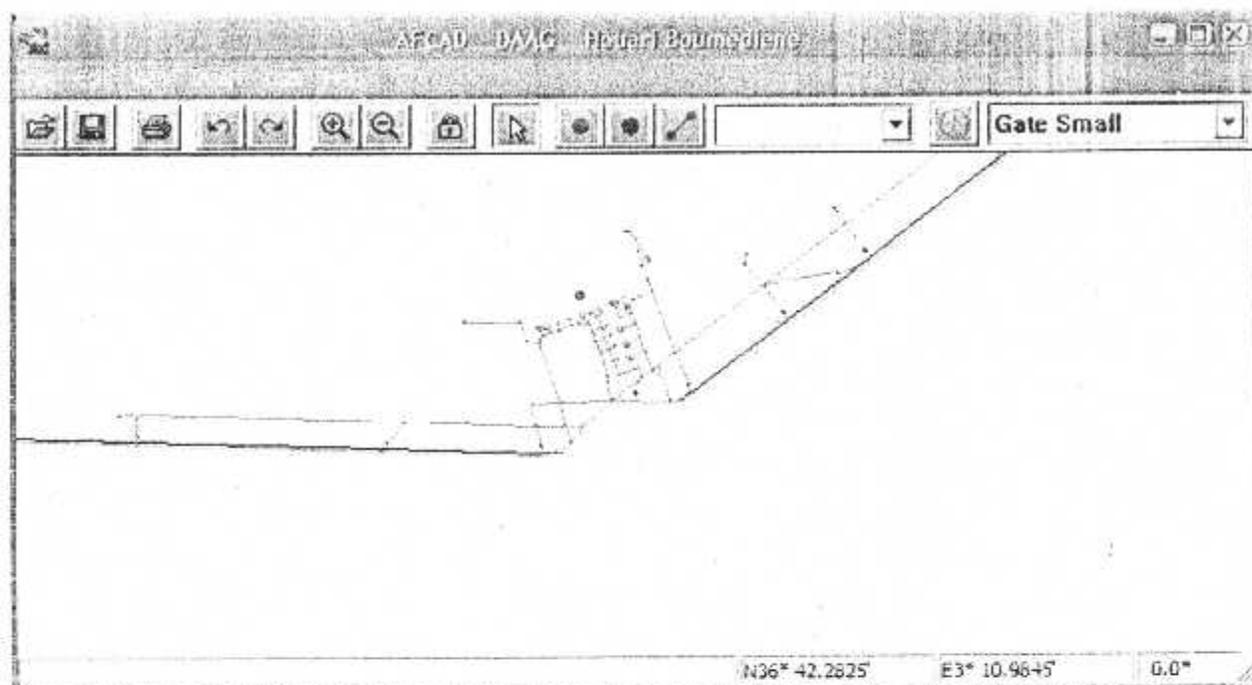


Fig .IV .4 .DAAG dans AFCAD

Grâce aux commandes du logiciel AFCAD de la figure ci contre, on peut réaliser nos fichiers BGL pour DAAG et les sauvegarder dans un dossier appeler sennery pour les insérer dans le FS.

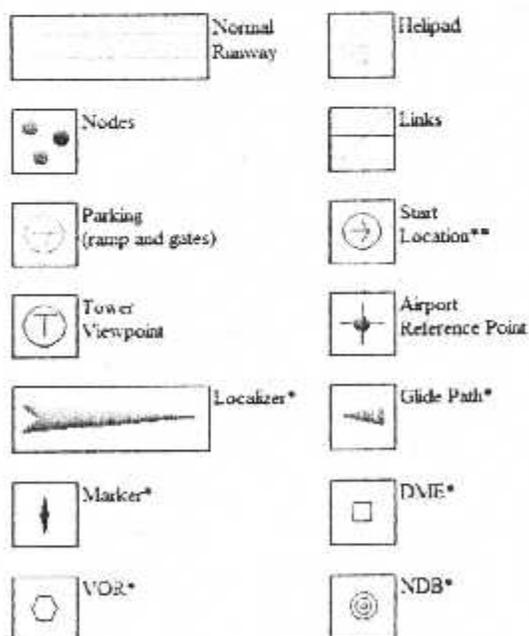


Fig .IV .5 .Commande du logiciel AFCAD



IV.1.2.Génération des fichiers de texture BMP :

Cette étape repose simplement sur un logiciel de traitement d'image comme le PHOTO IMPACT 7.

Dans notre travail nous avons utilisé ce logiciel pour ajouter quelques détails tels que le nom de l'aéroport (HOUARI BOUMEDIENE) sur la façade de l'aérogare, air algerie...comme il est montré ci-dessous :

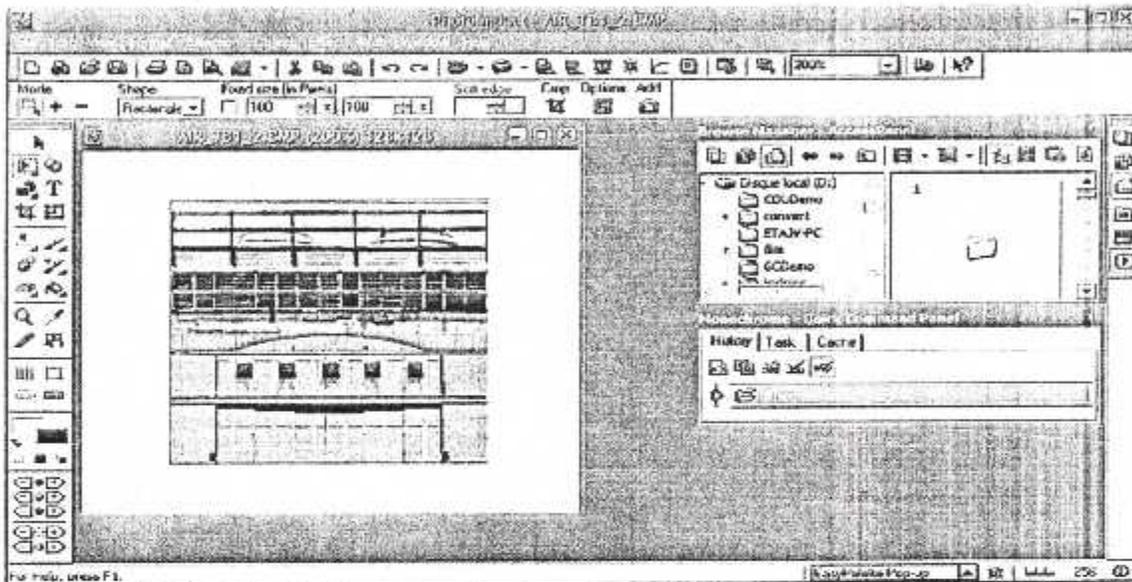


Fig .IV .6 . Traitement des textures de bâtiment dans le photos impact

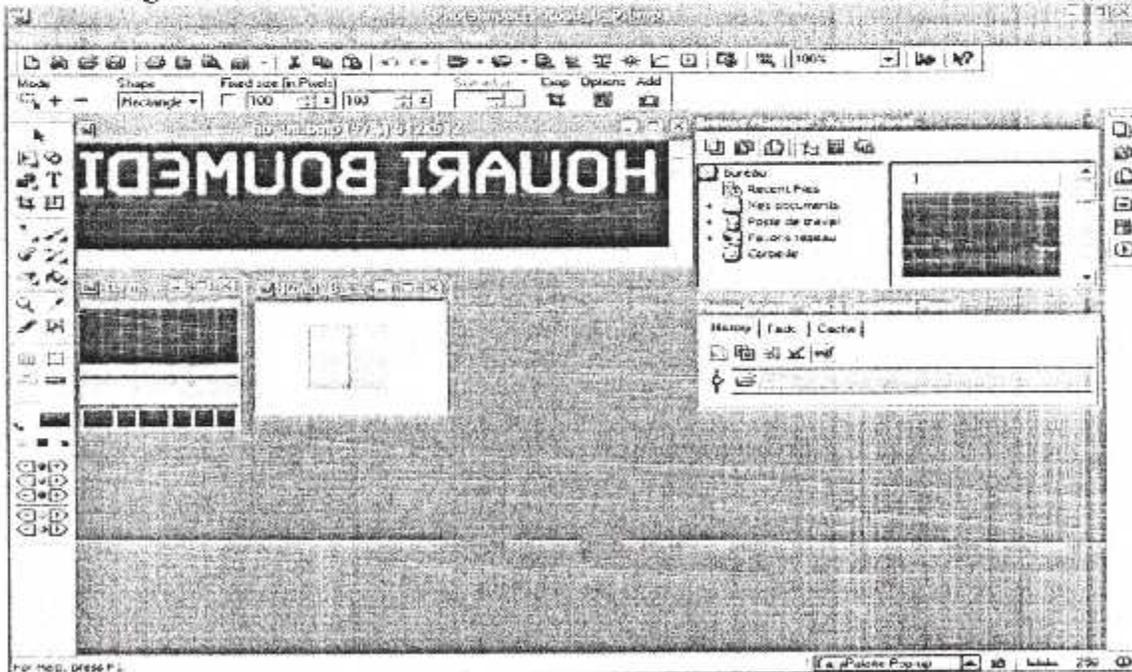


Fig .IV .7 .Traitement des textures de batiment dans le photos impact



Les images obtenus après traitement(voir quelques exemples dans les figures du paragraphe IV.4) sont enregistrés dans un dossier appelé texture .

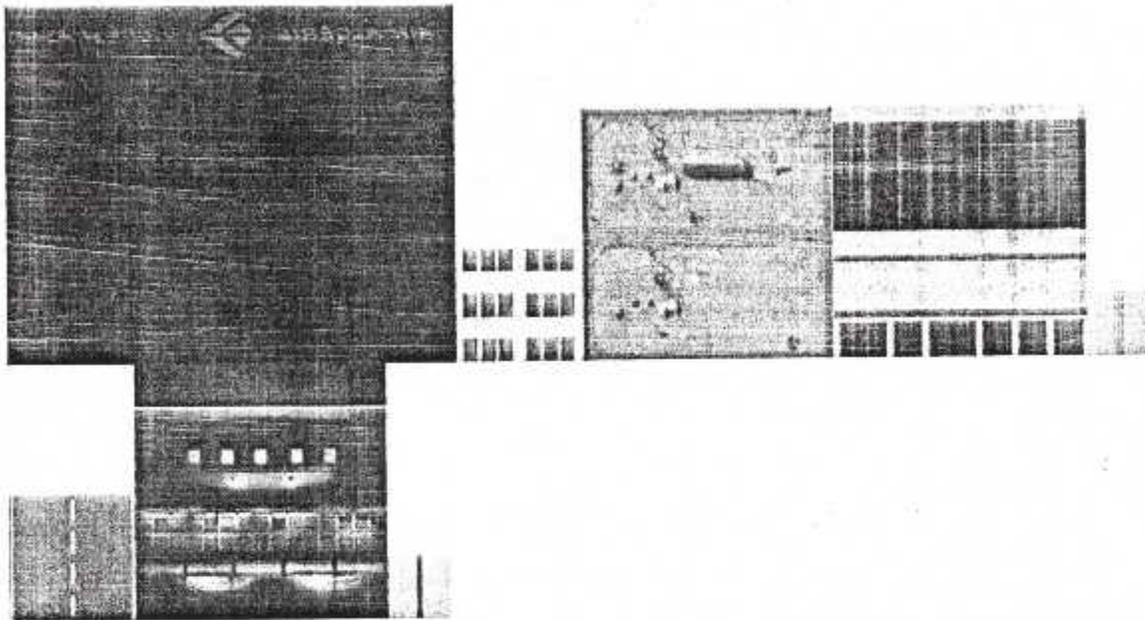


Fig .IV .8 .models des images apres traitement.

IV.2.MODIFICATION DE L'EXTÉRIEUR DE L'APPAREIL B737-400 :

Microsoft, conscient du faible choix d'appareils mis à disposition des utilisateurs, a donné la possibilité de créer des appareils.

Le fonctionnement est quasi similaire à celui de la création de scènes. Sauf qu'il ne s'agit plus de fichiers BGL mais de fichiers MDL , un format dérivé des BGL avec l'entête des fichiers qui diffère uniquement .

Quant aux texture des appareils, le principe est le même. On réalise la texture de l'appareil à l'aide de Photo Impact 7 puis celle-ci est appliquée sur l'appareil à l'aide des fichiers MDL.

Dans notre application nous avons pris le B737-400 du FS2002 et on la peint avec des couleurs de l'ex compagnie Khalifa Airways et un deuxième appareil avec les couleurs d'une compagnie virtuelle pour notre institut appeler IAB Airways comme le montre les figures suivantes :

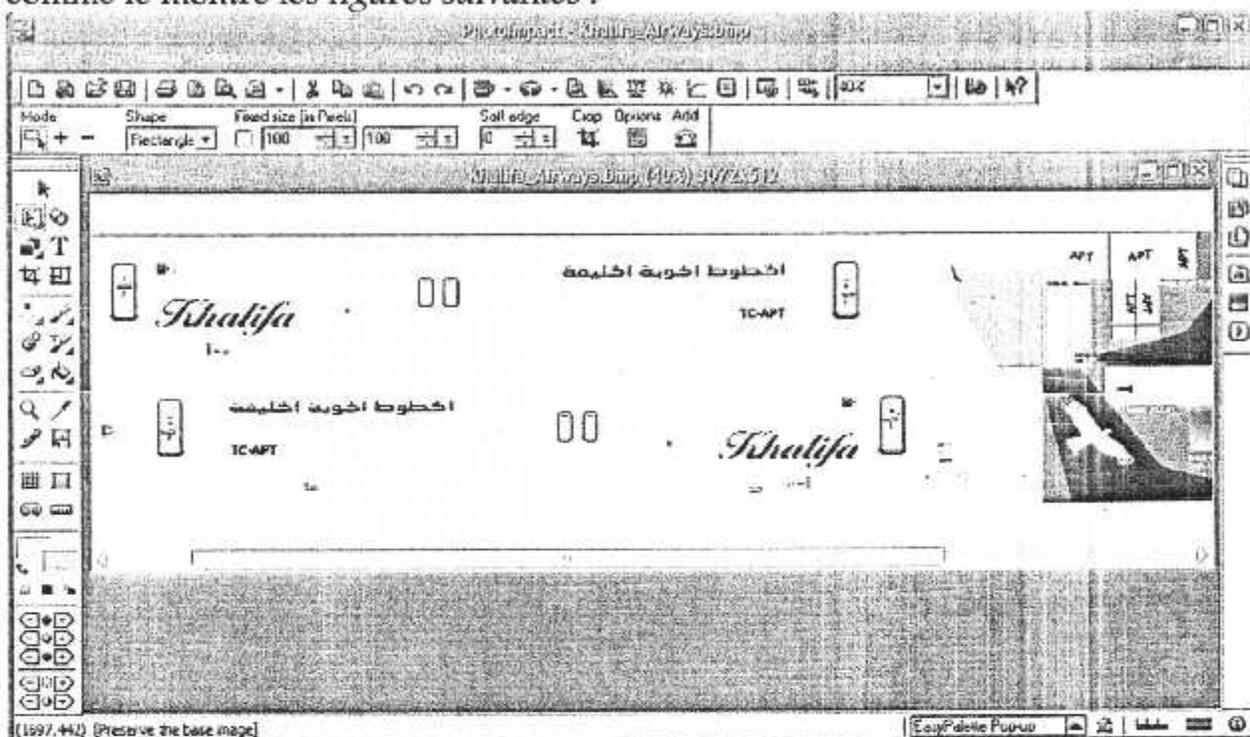


Fig .IV .9 .Traitement de l' image de l' avion KHALIFA.

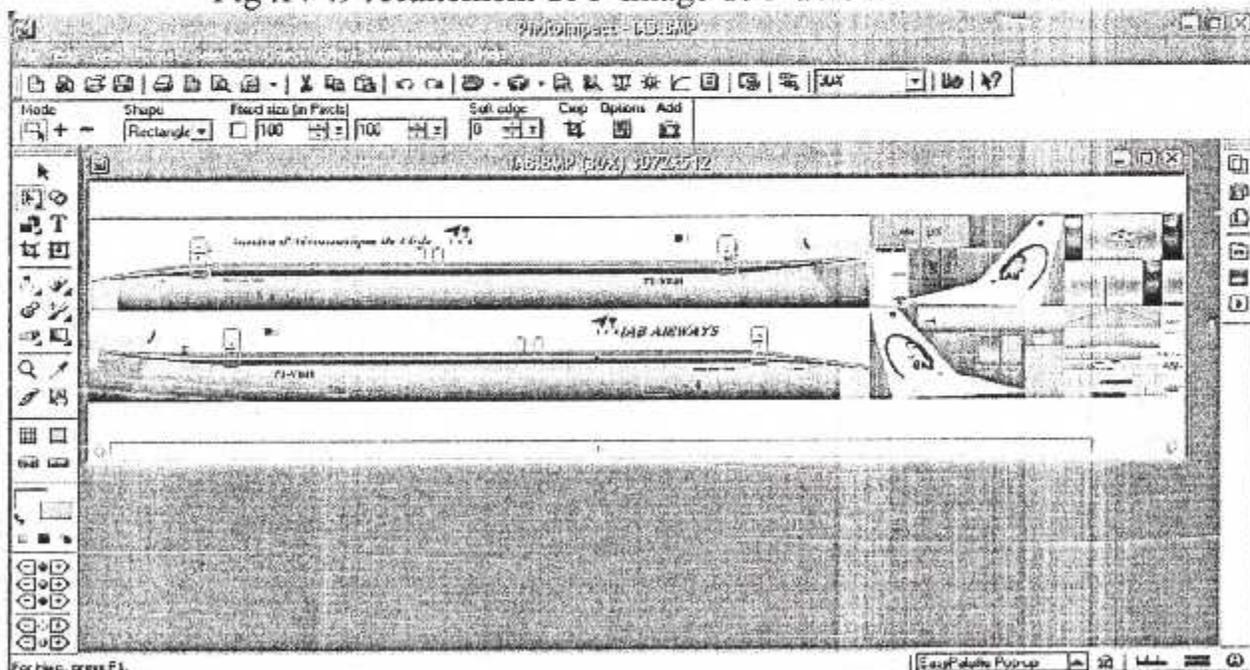


Fig .IV .10 .Traitement de l' image de l' avion IAB.



IV.3.MODIFICATION DE L'INTÉRIEUR DE L'APPAREIL B737-400 :

Similairement aux appareils, il serait souhaitable de pouvoir créer également son propre tableau de bord. Encore une fois, Microsoft offre cette possibilité et a fourni aux utilisateurs de créer leur propre "Panel" (tableau de bord). Un SDK (Software Development Kit) expliquant en détail les procédures.

Ce SDK est téléchargeable sur le site de Microsoft. Ici, le mécanisme est beaucoup plus complexe car si on souhaite créer un tableau de bord, il faut pouvoir "dialoguer" avec Flight Simulator afin de connaître l'altitude, le cap et les données saisies par un utilisateur. Il est nécessaire d'avoir des connaissances solides sur la programmation en C++ car il s'agit de créer des fichiers qui ont pour extension .GAU.

Ces fichiers GAU ressemblent beaucoup aux DLL de Windows et aux API, car ils possèdent le même rôle : le dialogue avec un programme externe.

D'autre part, les fichiers GAU intègrent la particularité de pouvoir afficher une zone graphique. En effet, un tableau de bord sur flight Simulator est composé de plusieurs GAU : le HSI, l'altimètre, le variomètre. En somme, toutes les composantes d'un tableau de bord classique.

On programme ces GAU à l'aide de Visual C++ en associant l'aspect graphique de chaque composant puis on les assemble afin de constituer le tableau de bord final. Cet assemblage s'effectue à l'aide d'un simple fichier texte de configuration.

La complexité de ces opérations pour créer les GAU nous emmène à les télécharger sur le net du site www.add-ons.com et nous avons modifiés les textures en remplaçant les images du B737-400 du FS 2002 avec des images réels téléchargés sur le net dans le site www.airliners.com, et on les a traité avec le photo Impact7 comme le montre les figures suivantes :

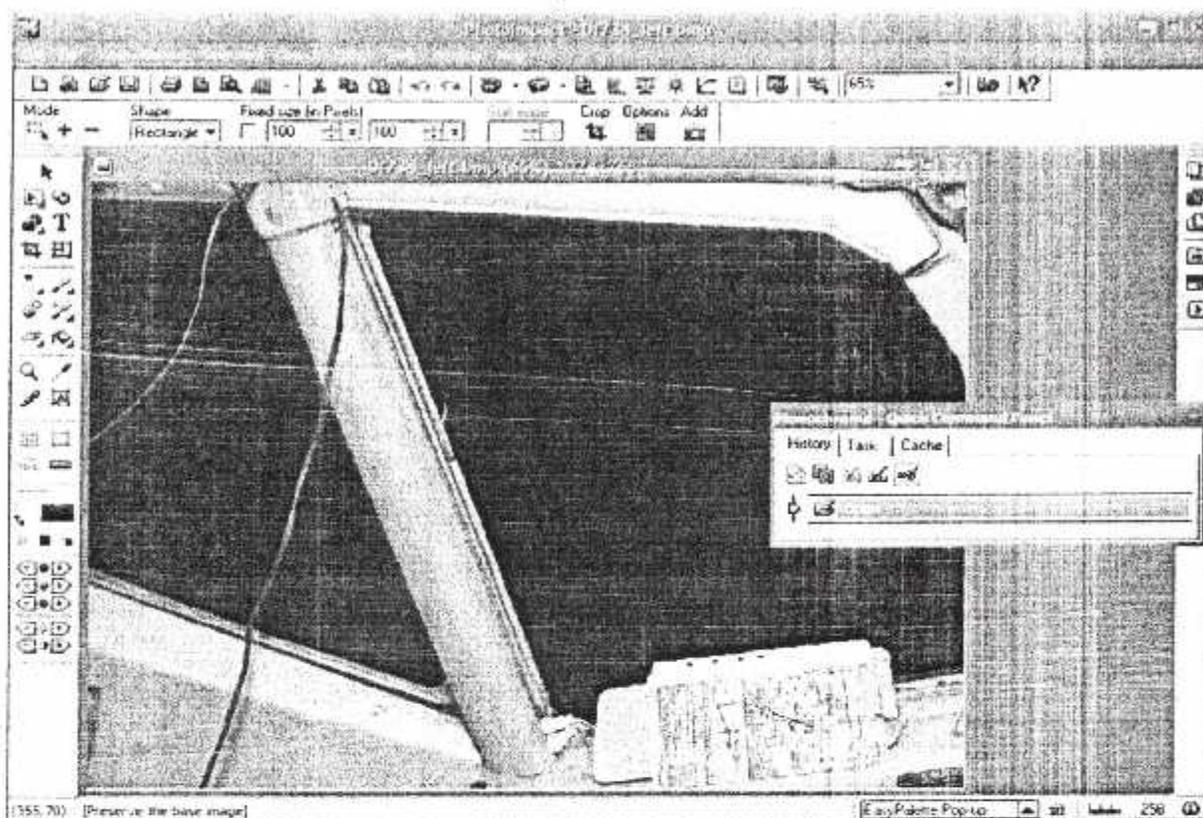


Fig .IV .11 .Traitement de la cabine de l avion

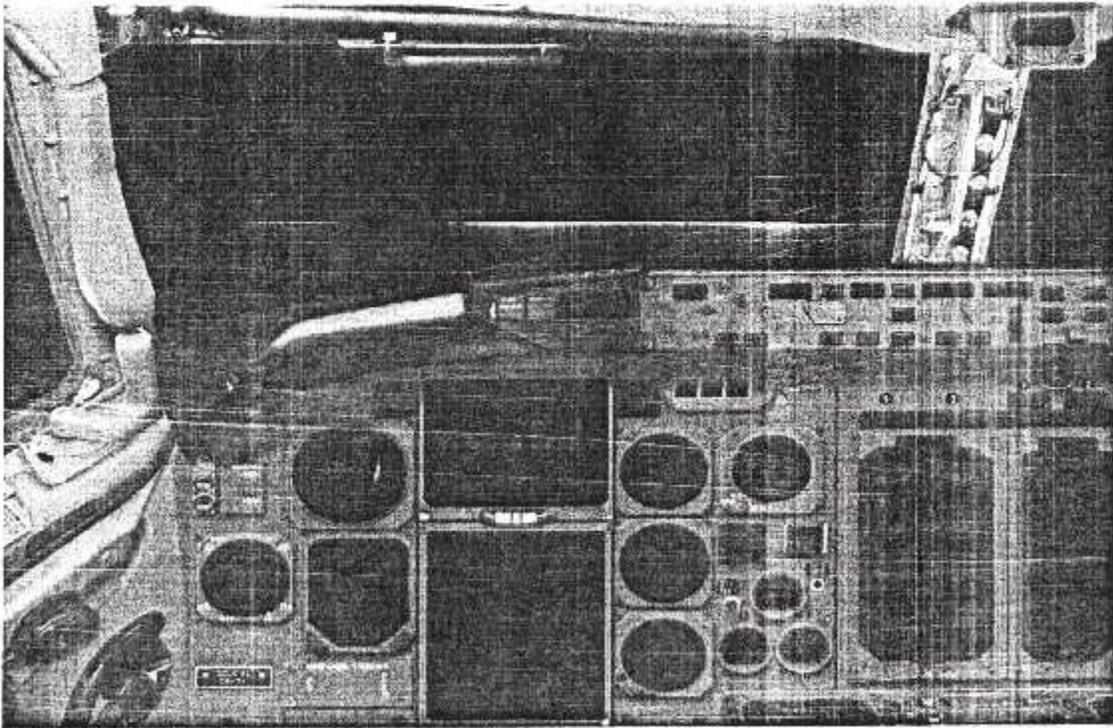
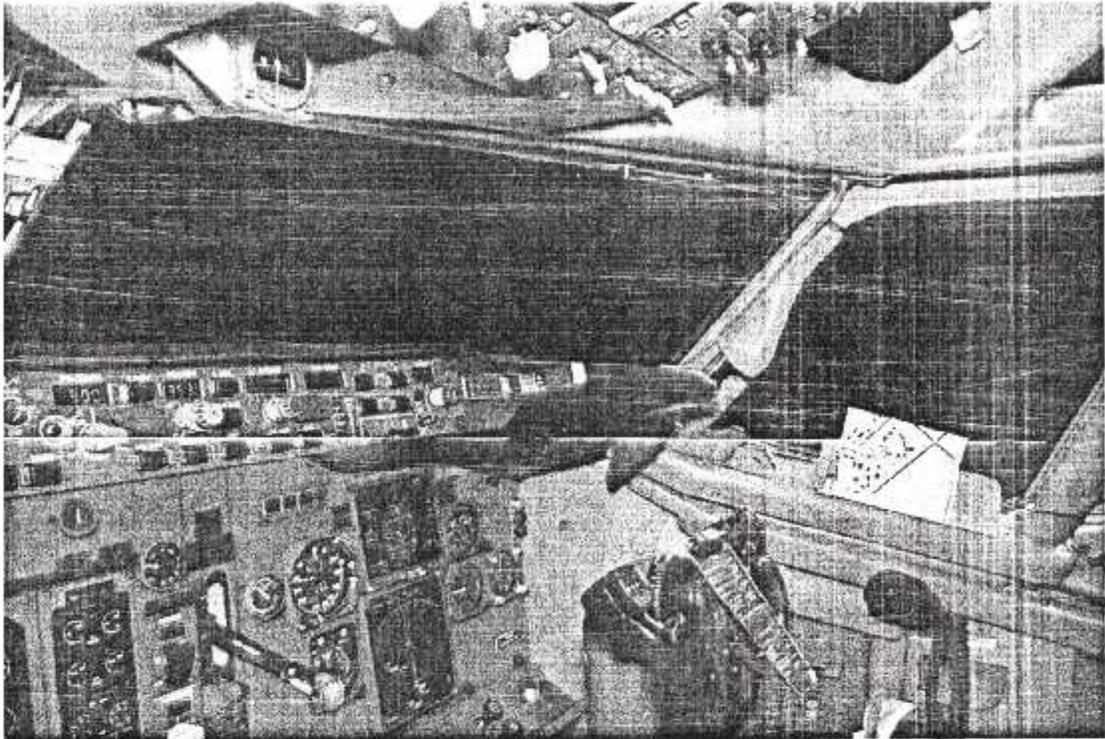


Fig .IV .12 . Résultats de traitement de cockpit

Vue que la navigation par CDU est notre sujet d'étude, nous avons effectué beaucoup de modifications sur ce dernier -CDU- pour le rendre plus réel en utilisant toujours le logiciel de traitement d'image Photo Impact 7.

La modification consiste à traiter l'interface du CDU classique du FS 2002, tout en se basant sur les différentes touches de celui-ci

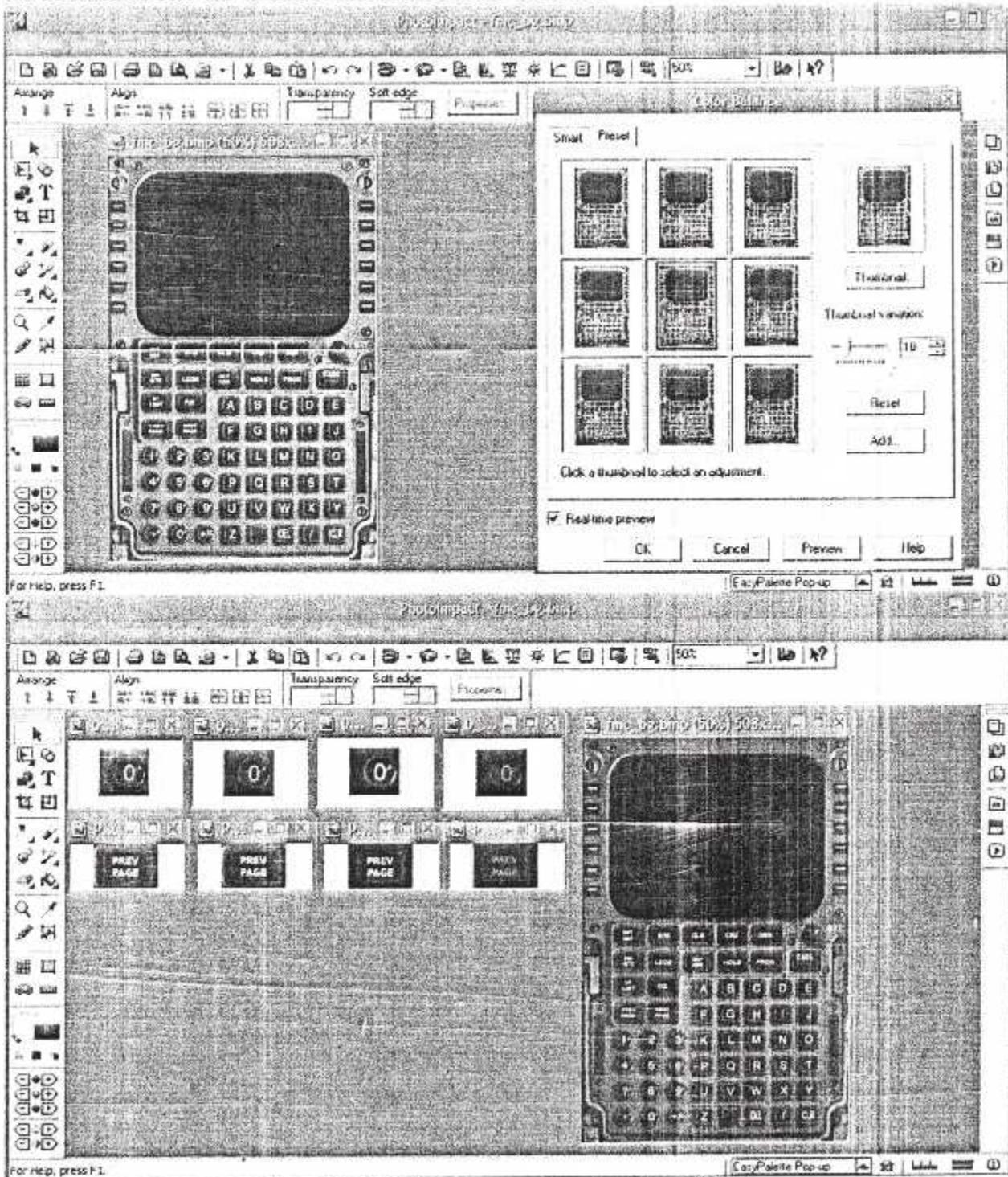


Fig .IV .13 .Traitement des touches CDU

**IV.4.RESULTATS DES MODIFICATIONS :**

Enfin, une fois qu'on crée ce qu'on a souhaité réaliser, il faut pouvoir l'intégrer dans le Flight Simulator.

Il s'agira sûrement de la partie la plus simple car cela s'effectue manuellement.

En effet, le logiciel Flight Simulator possède des répertoires spécifiques pour les aéroports, les avions et les tableaux de bord.

Il suffira alors de mettre les fichiers dans le répertoire adéquat. Par exemple, pour les aéroports, la hiérarchie des répertoires est toujours la même : Répertoire principale + 2 sous-répertoires contenant d'un côté les fichiers BGL et de l'autre les textures associées à ces fichiers. Une fois ces fichiers installés correctement et au lancement de Flight Simulator, celui-ci les reconnaît immédiatement grâce à son moteur interne et graphique.

Même principe pour les avions et les tableaux de bord qui vont de pair. Un répertoire "Aircraft" principal se trouve sous le répertoire principal de flight Simulator. Ces mêmes répertoires contiennent également des sous-répertoires associés à chaque type d'appareil, qui eux même contiennent des répertoires pour le tableau de bord. Le principal aspect est de conserver rigoureusement la hiérarchie.

Le résultat final de notre travail est représenté par les images ci-dessous.

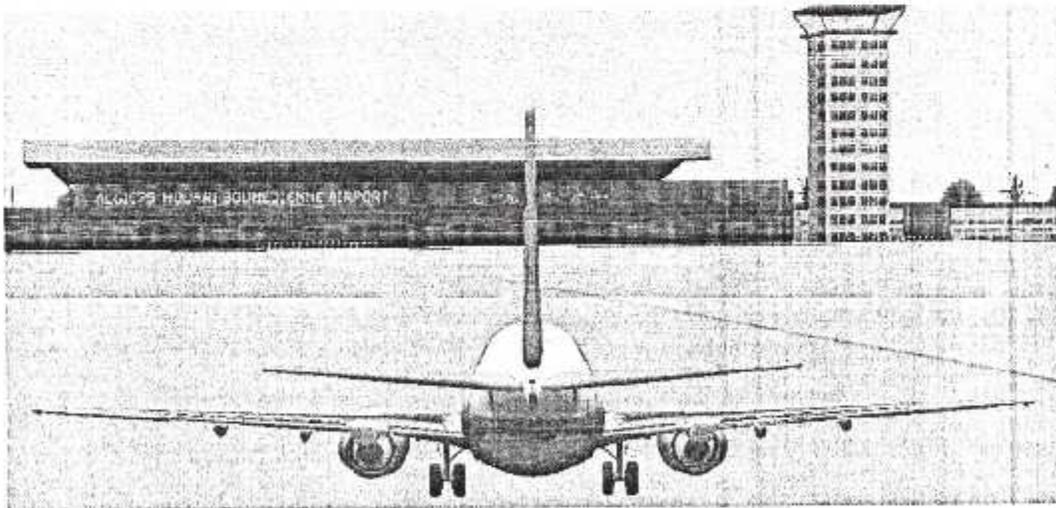


Fig .IV .16 .Résultats finalsde l'aéroport DAAG



Fig .IV .15 .Résultats pour l'Avion KHALIFA



Fig .IV .16 .Resultats pour l'Avion IAB

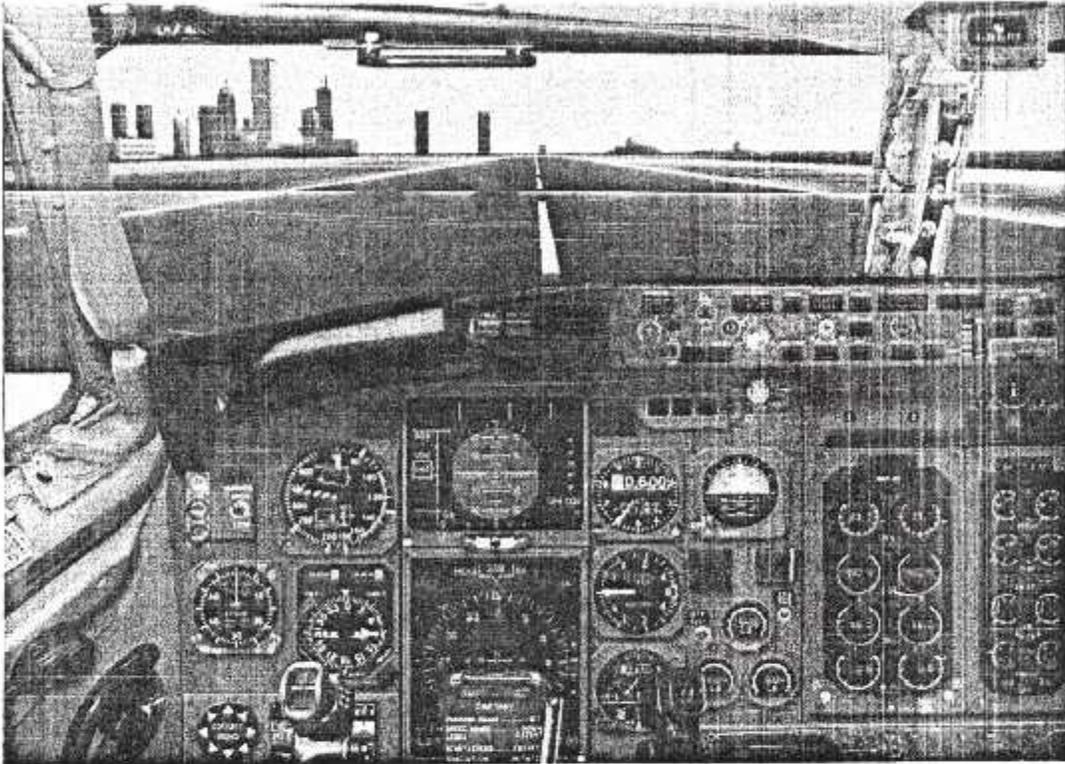


Fig .IV .17 .Resultats pour le cockpit.

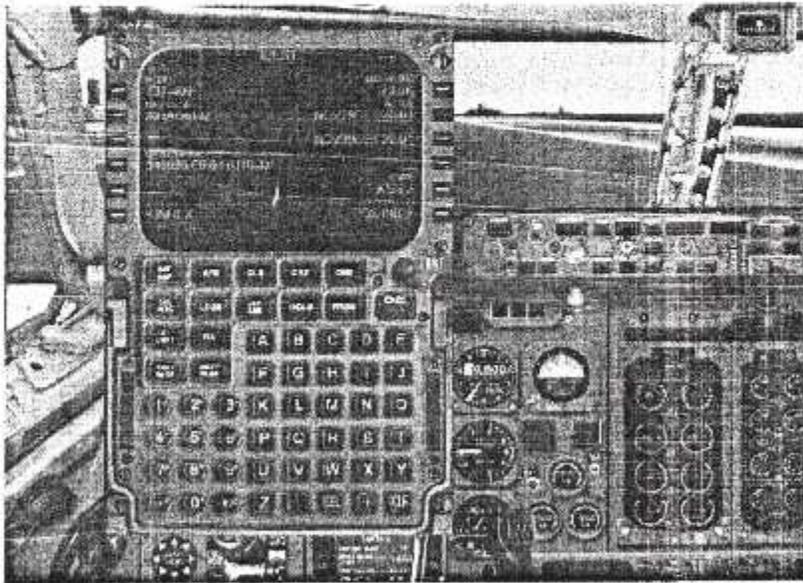


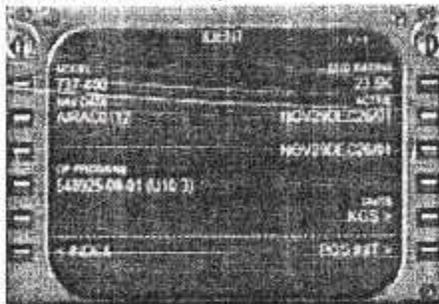
Fig .IV .18 .Résultats pour le CDU.



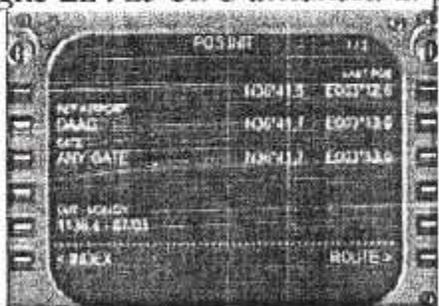
IV.5 - EXEMPLE DE L'APPLICATION :

Le but de ce vol d'exemple est de montrer comment remplir un plan de vol sur le CDU en utilisant les pages principaux et essentiels. Dans notre application on exécute un décollage de la piste 27 d'Alger et un atterrissage sur la piste 09 de Bejaia ; en employant un départ standard et une arrive normal (car il n'y a pas de STARS a Bejaia) et suivre un itinéraire avec transition sur (SID 4 BJA) .

1. on commence par la page Sommaire ou Index du CDU ; et sélectionner 1L pour aller a la page IDENT (pour identifier le calculateur et vérifier la validité de la base de données).



2. On cliquons sur la ligne 6L pour afficher la page d'initialisation de position POS INIT .et inséré DAAG (qui est le code OACI pour l'aéroport d'Alger) a la ligne 2L . Le CDU affichera la position.

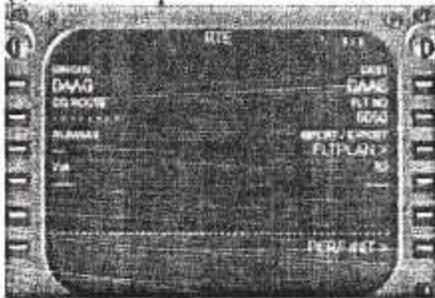


3. On cliquons sur 6R pour aller a la page de route ; placer le code d'origine (DAAG) et le code de destination (DAAE).





4. après l'insertion de l'origine et du départ choisissons 3L pour aller a la page des départs de DAAG .



5. cette page nous affiche toutes les pistes disponibles.

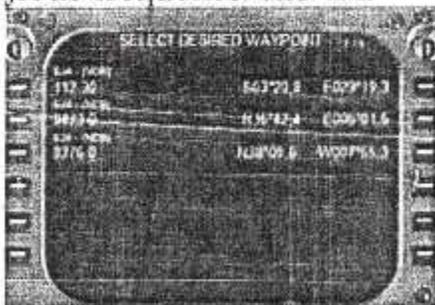
On choisit notre piste qui est la 27 et la SID 4 qui propose une transition sur BJA.



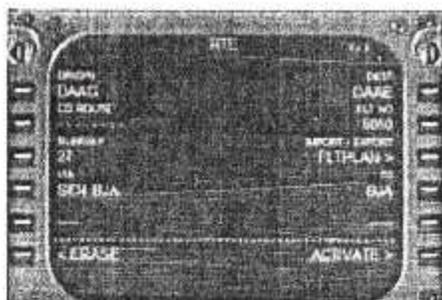
6. Le résultat de notre choix est montré dans la figure ci – contre. Pour choisir la transition ; on écrivons BJA.



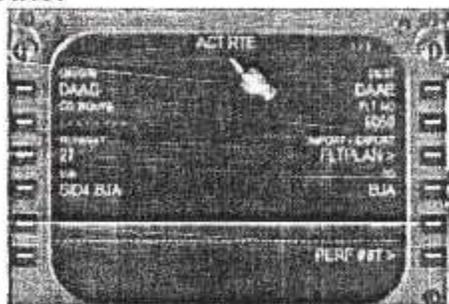
7. Dans cette page ; on sélectionne notre point tournant désiré ; qui est l'NDB (BJA de fréquence 423 Hz.



8. Le mot "Activate" s'affiche sur 6R ; la sélection de cette dernière nous permet d'activer la route.



9. La touche EXEC s'allume ; on clique sur cette dernière pour exécuter cette route.



10. L'en-tête de cette page ; Le mot "ACT RTE" apparaît pour confirmer l'activation de la route.

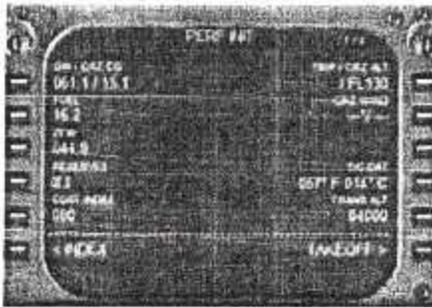


11. La page PERF INIT est la page de performance initiale ; la sélection de 1L ou 3L.

Le FMC vérifiera automatiquement le carburant et ajoutera le poids sans carburant pour afficher le poids brut de l'avion.



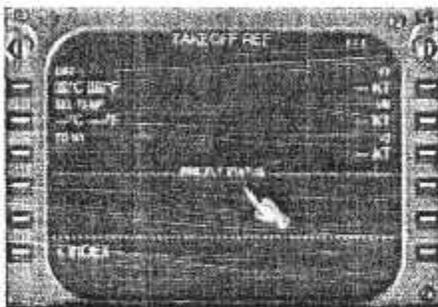
14. On insère la température de l'air extérieur OAT qui est pour notre exemple 14 degrés dans 4R et le niveau de croisière FL 130 dans 1R.



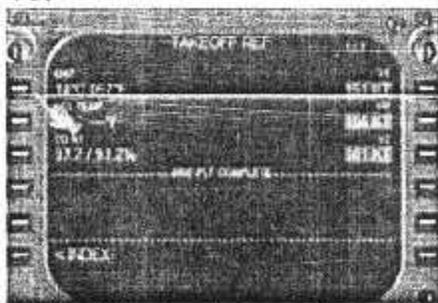
15. on Ajoute aussi dans cette page l'altitude de transition (4000 Ft) dans 5R et un réserve de carburant de 3 tonnes dans 4L ; on suite on passe a la page de référence de décollage on choisissons la ligne 6L .



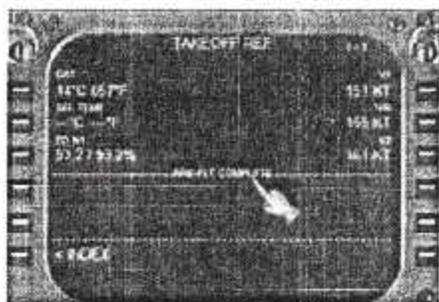
16. On écrit 14 ans la zone d'insertion et on choisie la ligne 1R



17. Le F MC calcule directement les limitations de vitesse au décollage V1, V2 et Vr.

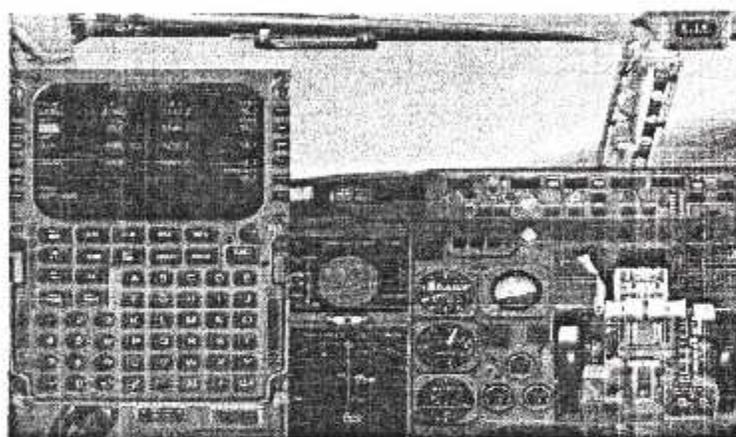


18. Nous devons transférer ces vitesses a notre EADI, cela simplement par la sélection de chaque ligne de vitesse.

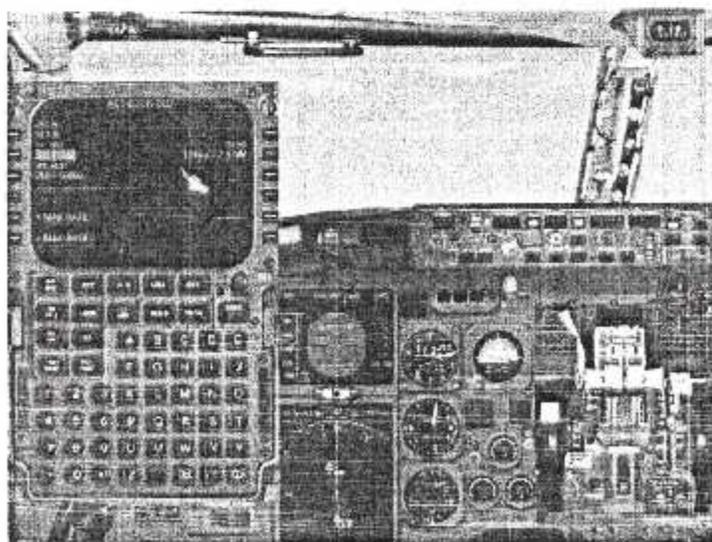


19. Le message PRE-FCT s'affiche pour dire que notre plan de vol est complète. Si on oublis quelques choses, un message est affiche entre les 2 lignes pointers.

20. On affiche la page PROGRESS pour visualiser nos progressions pendant le vol.



21. IDEM avec le plan de vol affiche sur les ND.





Conclusion

Enfin, on peut dire que le Flight Simulator est un système ouvert qui nous offre la possibilité d'appliquer ou simuler des études théoriques ; et à ce jour, beaucoup de choses sont encore inexploitées ou sont en cours de réalisation, comme la possibilité de "voir" d'autres appareils évoluer autour de soi, ou de créer une météo dynamique. Tout ceci nécessite beaucoup de temps et de travail et Flight Simulateur nous offre toujours une nouvelle version, encore plus riche que les précédentes avec le rythme d'une version toutes les deux années.



CONCLUSION

CONCLUSION :



Notre étude nous a permis de mieux connaître le rôle du système de gestion de vol dans la navigation moderne.

Ainsi que la mise en œuvre d'un petit manuel d'utilisation de la boîte de commande CDU en français car il n'est disponible qu'en anglais.

Aussi de mieux connaître le rôle de la simulation dans la formation aéronautique.

BIBLIOGRAPHIE :

LIVRES :

- Avionique tome II : systèmes de conduite automatique et gestion du vol (FELIX MORA - CAMINO) ENAC.
- Nouveau guide pratique du pilotage (jean ZILIO).
- Instruments de navigation aérienne (Bernard Cabanes).
- Que sais-je ? l'avionique (piere Germain).
- Navigation et pratique de la radionavigation (J.-L.SICRE).
- La radionavigation une aide au vol VFR (Thierry Goyne).
- Aide mémoire à l'usage des pilotes (Stéphane ALLION).
- Dictionnaire technique de l'aéronautique (Rene LAMBERT).

THÈSES :

- Mastère spécialisé exploitation aéronautique et gestion du trafic aérien (Mr.Toufik Elaichi)2002
- (46/99)Etude par simulation d'un système de gestion de vol FMC
- (15/03)Installation d'un système de Gestion de vol FMS-1K sur l'appareil IL-76.TD.
- (10/03) Configuration du pilote automatique avec le système de Gestion de vol FMS.

SITE WEB:

www.add-ons.com

www.boeing737.uk

www.flightsim.com

www.airliners.com

CD-ROM:

- Encarta 2004(encyclopédie).
- Universalis 2003(encyclopédie).
- FS2002.
- CBT 737.
- Photo Impact 7.
- Courses AIRBUS.
- Science et vie 1989 à 1998.

ANNEXE A
ABRÉVIATION UTILISÉES

-A-

AHRS: Attitude and Heading reference system
ADC : Air Data Computer
ADS: Air Data System
ADIRS: Air Data and Inertial Reference System
AP: Auto Pilot
AH: Alert Altitude.
APU: Auxiliary Power Unit
ADR: Air Data Reference
ACAS: Airborne Collision Avoidance System
ADI: Attitude Director Indicator
A/THR : Auto Throttle
ARINC: Bares Busses
ATA : Air Transport Association.
ATC : Air Control Traffic.
A FS : Automatic Flight System.

-B-

BSCU: Automatic Flight System

-C-

CADV : Commandes automatiques du Vol.
CAG : Commande automatique Générale
CAS: Convetional Air Speed
CI: Cost Index
CDVE: Commande Electrique De Vol
CH: Consommation Horaire
CWS: Control Wheel system
CDU: Control Display Unit

-D-

DME: Distance measuring Equipement
DV: Dericteur de Vol
DF: Drag Factor
DOC: Direct Operating Costs

-E-

ESHI: Electronic Horizontal Situation Indicator
EFIS: Electronic Flight Indicator System
EADI: Electronic Altitude Director Indicator

-F-

FADFC: Full Authorite Digital Computer
FCC: Flight Control Computer
FBW: Flight By Wire
FFF: Fuel Flow Factor
FD: Flight Director
FPA: Flight Path Angle
FCU: Flight Control Unit
FWS: Flight Warning Computer
FMS: Flight Management System
FMA: Flight Mode Anonciator
FMGC: Flight Management and Guidance Computer
FMGES: Flight Management Guidance and Envelope System

-G-

G/S: Glide Slope.
GPS: Global Positioning System.
GS: Ground Speed
GPWS: Ground Proximity Warning System
GTR: Groupe Turbo Réacteur
GA: Go Arround

-H-

HUD: Head Up Display
HMU: Hydromechanical Fuel Unit
HD: Hauteur de Décision

-I-

ILS: Instrument Landing System.
ISA: International Standard Atmosphere.
IRS: Inertial Reference System.
IR : Inertial Reference.

-J-

JAA: Joint Aviation Authorities.

-L-

LAF : Load Abreviutiun Function

LGCIU: Landing Gear Control Interface Unit.

-M-

MEC: Main Engine Control
MCDU: Multipurpose Control and Display Unit
MLS: Microware Landing System
MMO: Mach Maximum Operational

-N-

ND: Navigation Display
NM: Nautical Miles.

-O-

OACI: Organisation de l'Aviatiun Civile Internationale.

-P-

PA: Pilote automatique
PMC: Power Management Control
PMS: Performance Management System
PFD: Primary Flight Display

- Q-

QFU: Cap magnétique de piste

-R-

RA: Radioaltimètre

RNAV: Radial Navigation

-S-

SID: Standard Instrument Departure

STAR: Standard Terminal Arrival

SGU: Signal Generation Unit

-T-

TAS: True Air Speed

TACAN: Tactical Air Navigation

TCAS: Traffic Alert and Collision Avoidance System

TRK: Track

-V-

VMO: Vitesse Maximum Operationnelle

VOR: VHF Omni Range

-W-

WPT: Waypoint

-X-

XTK: Crosstrack

ANNEXE B

HISTORIQUE SUR LE B737-400

BOEING

Historique de Boeing

En 1903, l'année où les frères Wright accomplirent leur vol révolutionnaire, un jeune homme du nom de William Boeing quitta l'école d'ingénieurs de Yale pour se rendre sur la côte ouest des États-Unis. Il fit fortune dans le négoce du bois d'abatage, avant de s'installer à Seattle, dans l'état de Washington, où il ne tarda pas à s'intéresser aux nouveaux développements de l'aéronautique.

Après avoir appris à piloter en 1915

avec Glenn Martin, une autre figure légendaire de l'aviation, Boeing et un associé entreprirent de construire une machine volante plus performante. Le matin du premier essai de leur hydroavion B&W, Boeing, las d'attendre son pilote, prit lui-même les commandes au cours de ce qui fut le premier vol d'un appareil Boeing.

La Grande Guerre valut à Boeing ses premiers commandes de production et, fin 1918, l'entreprise comptait 337 employés (effectif qui, par la suite, allait se chiffrer en dizaines de milliers). Au cours du conflit, des chasseurs d'intercepteur furent construits pour l'ALAT, tandis que la marine acquit soixante et onze appareils d'entraînement de type NB. Avec le Modèle 15 et la série P-12/F4B, en outre, Boeing devint le plus important producteur de chasseurs des dix années à venir.

En 1919, Bill Boeing et le pilote Eddie Hubbard accomplirent la première liaison aéro-postale internationale à bord d'un Boeing C-700. Dès 1929, le modèle 80, un trimoteur pouvant transporter douze passagers - premier appareil Boeing conçu spécialement à cette fin - sillonnait les airs. Boeing était désormais l'un des plus importants constructeurs aéronautiques du pays. Fort de son essor, la société ne tarda pas à prendre des participations dans plusieurs compagnies aériennes, dont l'une allait devenir United Airlines.

Toutefois, aux termes de la législation antitrust, la firme fut démantelée en 1934 et Bill Boeing, abattu, se détourna de l'industrie aéronautique pour élever des chevaux. La direction décida néanmoins de conserver son nom et de continuer à produire, conformément à sa vision de l'avenir, de grands avions de ligne et des bombardiers.

Lors de la Seconde Guerre mondiale, Boeing contribua à l'effort militaire au travers notamment de deux bombardiers de légende - le B-17 Forteresse Volante et le B-29 Super Forteresse - qui furent construits à des milliers d'exemplaires. Au terme du conflit, la société continua à concevoir des appareils militaires, en portant à nouveau son attention sur des projets civils. Outre le Stratocruiser

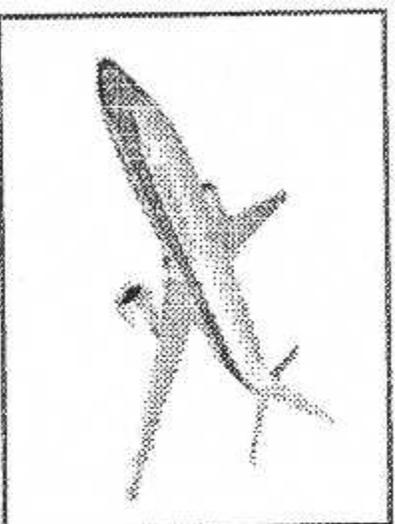
BOEING

Le dernier appareil à hélices que Boeing devait construire, elle produisit le B-47, le premier bombardier américain à réaction doré d'une aile en flèche, ainsi que le bombardier géant B-52 (encore en service de nos jours, bien que sa production ait cessé il y a plus de trente ans).

Dans l'après-guerre, il devint clair que des appareils à réaction étaient nécessaires pour transporter davantage de personnes sur de plus longues distances et à des vitesses plus élevées. Boeing put prendre des parts significatives de ce marché grâce au 707, entré en service avant que la Douglas Aircraft Company (devenue par la suite McDonnell Douglas et désormais partie intégrante de Boeing) ne lance son DC-8. Consommant environ un dixième du carburant requis par un paquebot, le 707, d'un coût de cinq millions de dollars US, pouvait en un an faire traverser l'Atlantique avec autant de passagers que le Queen Mary six fois plus coûteux.

Depuis, Boeing est restée à la pointe de l'innovation dans le domaine des avions de ligne et de la technologie militaire spatiale. La société inaugura, au début des années 1970, l'ère des avions gros porteurs à fuselage élargi (jumbos) avec le 747, tout en poursuivant le développement d'avions courts-courriers - dont le plus célèbre d'entre eux, le Boeing 737. Ses projets militaires et aérospatiaux se sont notamment traduits par une collaboration à divers programmes de la NASA, a été par la conception du missile de croisière et du bombardier B-2. En outre, Air Force One (l'avion qui transporte le président américain lors de ses déplacements) demeure un appareil Boeing depuis quarante ans.

Plus de 80 pour cent des avions de ligne à réaction volent dans le monde sont fabriqués par Boeing. De par ses activités commerciales, militaires, spatiales et de communication, la société s'affirme comme la plus grande entreprise aérospatiale du monde et le premier exportateur de biens des États-Unis.



Boeing 737-400

Il n'est pas étonnant non plus que le plus profrique constructeur d'appareils commerciaux du monde produise également l'avion de ligne à réact on le plus populaire de la planète. Le 737 devint l'avion de ligne commercial le plus vendu au monde en juin 1987, date à laquelle son carnet de commandes atteignit 1 831 appareils (dépassant ainsi le champion en titre, le propre 727 de Boeing). Toutefois, il n'en fut pas toujours ainsi et, durant les premières années de production, le nombre de commandes

Spécifications

U.S.

Métriques

Vitesse de croisière	477 nœuds	550 milles/h	895 km/h
Moteurs	CFM56-3C1		
Autonomie maximale	2 059 milles nautiques	2 370 milles terrestres	3 810 km
Plafond opérationnel	36 089 pieds		11 000 m
Capacité on carburant	5 311 gallons U.S.		20 104 l
Poids à vide - Version standard	76 180 livres		34 550 kg
Poids maximum au décollage	138 500 livres		62 800 kg
Longueur	120 pieds		36,45 m
Envergure	94 pieds, 9 pouces		25,9 m
Hauteur	36,5 pieds		11,13 m
Passagers	147 à 168		
Capacité de transport	1 373 pieds ³		38,9 m ³

COURT

était si peu élevé que Boeing envisagea un temps d'annuler le programme. Depuis, cet appareil a amplement fait la preuve de ses mérites au cours de plus de trente ans de bons et loyaux services.

Le 737 doit son important succès à la souplesse de sa conception. Actuellement disponible dans sept versions différentes, il peut en effet être aisément modifié pour satisfaire aux besoins de ses utilisateurs. La possibilité de commander plusieurs versions d'un même appareil permet à une compagnie aérienne d'adapter son utilisation en fonction des trajets et du nombre de passagers, tout réduisant la quantité d'équipements nécessaire à l'entretien de sa flotte. En outre, la formation requise pour piloter un 737-400 est similaire à celle de tous les autres appareils de cette catégorie - un pilote qualifié pour piloter l'un d'entre eux l'est donc pour tous.

Dans sa version court-courrier, le 737 a un rayon d'action de 2 600 milles (4 180 km) à 3 800 milles (6 110 km). Et, en restant dans le domaine du court, la longueur du premier modèle ne dépassait son envergure que de 20 cm, ce qui donnait à l'appareil un aspect compact qui lui valut son surnom : « Fat Albert ».

Des modèles dérivés de cette gamme furent à l'étude avant même que le premier 737-100 ait jamais volé. Ainsi, le modèle -200 gagna en longueur et fut

progressivement équipé de moteurs plus puissants, ce qui permit d'augmenter le poids maximum au décollage de près de 32 000 livres (14 515 kg). La version suivante (-300) se distingua principalement par l'adoption d'un nouveau type de propulseur, le General Electric/Snecma CFM56, qui développait plus de puissance que les anciens J180 des modèles précédents, tout en étant beaucoup moins bruyant et plus économique en carburant.

Bien qu'il soit devenu un grand classique, le -400 n'est plus produit aujourd'hui. Il a été remplacé par les modèles -600, -700, -800 et -900, que l'on désigne communément sous le nom de « Boeing 737 nouvelle génération ». Ces nouvelles versions offrent, à l'instar du -400, le même niveau de stabilité et de fiabilité que le 737 traditionnel, mais ont été actualisées et améliorées dans un souci de performances accrues.

Toutes les variantes du 737 vont continuer à voler pendant de nombreuses années encore. Court et trapu à l'origine, plus élégant dans ses versions allongées, le 737 a toujours séduit les responsables financiers des compagnies aériennes. En bonne place sur le marché des transports, il s'est également forgé un nom dans l'histoire de l'aviation.

Notes de vol

Le Boeing 737-400 est l'un des modèles de la plus célèbre gamme d'avions de ligne à réaction jamais construits. Plus de trois millions de 737, toutes versions confondues, sont actuellement en service de par le monde. Ce biréacteur de renom est essentiellement utilisé pour des vols courts et moyens-courriers. Il constitue une bonne transition entre le pilotage d'un avion d'affaires (tel que le Learjet) et celui d'un avion de ligne.

Vous n'approuverez certainement pas de difficultés particulières à le faire décoller et à le piloter, ce n'est pas un Cassin. La planification requise pour effectuer un vol de qualité professionnelle (décollage, vol de croisière, approche stable et atterrissage) est considérable.

Longueur de piste requise

- ☛ Décollage : 5 500 pieds (1 676 m), vols à 5
- ☛ Atterrissage : 5 500 pieds (1 676 m), vols à 30

Remarque

Comme pour tous les appareils de Flight Simulator, les vitesses V et les listes de contrôle sont affichées sur la Console. Pour accéder à la Console lors d'un vol, appuyez sur F10 ou sélectionnez l'option Console dans le menu Appareil.

Important

Toutes les vitesses données dans les Notes de vol sont des vitesses indiquées. Si vous les utilisez comme référence, veillez à sélectionner l'option « Affichage de la vitesse-air indiquée » dans les paramètres de réalisme. En revanche, les tableaux de performances font état de vitesses vraies.

Remarque

De nombreux facteurs influent sur la planification d'un vol et le pilotage d'un avion, dont le poids de l'appareil, les conditions météo et l'état de surface de la piste. Les paramètres d'après sont donnés à titre indicatif pour des vols avec un poids maximum au décollage ou à l'atterrissage dans des conditions AIG et n'ont qu'une valeur de recommandation. Ils ne vous dispensent en aucun cas d'utiliser le manuel de l'appareil lors d'un vol réel.

RECOMMANDATIONS

La longueur de piste requise pour le décollage et l'atterrissage résulte de divers facteurs, tels que le poids de l'appareil, l'altitude, un vent de bout, l'utilisation de volets et la température ambiante. Les valeurs indiquées ici correspondent à une hypothèse basse et sont calculées en fonction des paramètres suivants :

- ✦ Poids : 138 500 livres (62 823 kg)
- ✦ Altitude : niveau de la mer
- ✦ Vent : pas de vent de bout
- ✦ Température : 15° C. Un poids et une température inférieurs, de même que la présence d'un vent de bout, contribueront à améliorer les performances. En revanche, une altitude et une température plus élevées auront pour effet de les dégrader.

Démarrage des moteurs

Par défaut, les moteurs sont en marche lorsque vous commencez un vol. Si vous les arrêtez, il est possible de lancer une séquence d'auto-démarrage en utilisant la combinaison de touches CTRL+E.

Roulement au sol
Il n'est pas recommandé d'inverser la poussée pour faire sortir le 737-400 de son emplacement de parking ni à aucun moment lors du roulement au sol.

- ✦ Le -400 est lent à répondre aux modifications de poussée, particulièrement lorsque son poids brut est élevé. La poussée de ralenti est adéquate pour le roulement au sol dans la plupart des conditions, mais vous aurez besoin d'un peu plus de puissance pour obtenir l'impulsion initiale. Laissez à l'appareil le temps de réagir à chaque changement de poussée avant de le modifier de nouveau.

✦ Sur le -400, la vitesse au sol est donnée par l'indicateur de position horizontale (HSI). En ligne droite, à vitesse normale de roulement au sol, ne doit pas dépasser 20 nœuds. Dans les virages, une vitesse indiquée de 8 à 12 nœuds convient pour des surfaces sèches.

Lors du roulement au sol dans Flight Simulator, vous pouvez contrôler votre direction en actionnant le palonnier à l'aide de la manette de jeu ou des pédales. Il est également possible de tourner à gauche et à droite en utilisant respectivement les touches O et Entrée du pavé numérique. Évitez d'arrêter le 737 dans un virage car une poussée excessive serait nécessaire pour le relancer.

Volets

Le tableau ci-dessous indique les vitesses de manœuvre recommandées pour divers réglages des volets. L'altitude minimum pour rentrer les volets est de 400 pieds, mais la plupart des réglages de cette manœuvre à 1 000 pieds (305 m). Lorsque vous sortez ou rentrez les volets, utilisez la valeur immédiatement supérieure selon que vous ralentissez ou accélérez.

Position des volets	< 1/2 carburant	> 1/2 carburant
Flaps Up	210	220
Flaps 1	190	220
Flaps 5	170	180
Flaps 10	160	170
Flaps 15	150	160
Flaps 25	140	150

Rappel : Les valeurs indiquées ici sont les vitesses minimales auxquelles les volets peuvent être utilisés. Un vol à une vitesse inférieure selon une inclinaison de 40 degrés aura pour effet de déclencher le verrou de manche. Pour connaître les vitesses maximums avec volets sortis (VFE), reportez-vous à la Console. D'une manière générale, et plus particulièrement lors de manœuvres nécessitant un angle d'inclinaison important, il est recommandé d'augmenter ces vitesses de 15 à 20 nœuds afin de disposer d'une bonne marge de sécurité. En montée, le fait d'accroître votre vitesse de 15 à 20 nœuds

en abaissant le nez de l'appareil vous permettra par ailleurs d'avoir une meilleure visibilité vers l'avant.

Par mauvais temps, roulez au sol avec les volets rentrés, puis abaissez-les à la position voulue durant les vérifications de la liste de contrôle qui précède le décollage. De même, rentrez les volets dès que possible après l'atterrissage.

Lorsque vous amorceriez une descente ou une approche à bord du 737-400, vous n'utiliserez généralement pas les volets pour augmenter votre vitesse verticale de descente. Les descentes s'effectuent normalement à l'altitude de configuration sans volets ou à celle du point d'approche initiale (AP).

Décollage

Toutes les actions décrites ci-après se déroulent assez rapidement. Lisez plusieurs fois la procédure avant de la tester dans l'appareil afin de savoir à quoi vous attendre. Effectuez les vérifications de la liste de contrôle d'avant le décollage et réglez les volets à 5 degrés (appuyez sur F7 ou cliquez sur le levier des volets sur le tableau de bord).

Après avoir aligné l'appareil dans l'axe de la piste, augmentez la puissance à environ 40 % de N1 (appuyez sur F3 ou faites glisser les manettes des gaz). Les moteurs vont ainsi monter en puissance jusqu'à

EXERCICES

produire de manière uniforme la poussée nécessaire au décollage. La quantité exacte de puissance initiale est moins importante que l'obtention d'une poussée symétrique.

Lorsque le régime des moteurs se sera stabilisé (ce qui se produit rapidement), poussez les manettes des gaz vers l'avant jusqu'à obtenir la puissance nécessaire au décollage (soit une valeur sensiblement égale à 100 % de N_1). La poussée finale requise pour le décollage doit normalement être obtenue lorsque l'appareil atteint une vitesse de 60 nœuds. Contrôlez votre direction en actionnant le palonnier au moyen de la manette de jeu, des pédales ou des touches D (gauche) et Entrée (droite) du clavé numérique.

En deçà de 80 nœuds environ, la vitesse acquise par l'appareil est insuffisante pour empêcher de l'arrêter sur la piste.

☞ V_1 (environ 141 nœuds) est la vitesse de décrochage. Au-delà de celle-ci, il peut être impossible d'arrêter l'appareil sur la piste en cas de décollage interrompu (RTO).

☞ A_V (environ 143 nœuds), tirez doucement le manche ou la manette de jeu vers l'arrière afin de lever le nez de l'appareil de 10 degrés au-dessus de l'horizon. Maintenez cette attitude en veillant à ne pas trop cabrer l'avion (car sa queue risquerait de heurter la piste avant le décollage).

☞ A_V (environ 150 à 155 nœuds), l'appareil a atteint sa vitesse de sécurité au décollage (celle à partir de laquelle il peut voler avec un moteur en panne). Conservez cette vitesse jusqu'à ce que votre taux de montée soit positif.

Dès que votre vitesse ascensionnelle au décollage est positive (en d'autres termes lorsque la vitesse verticale et l'altitude augmentent simultanément), relâchez le train d'atterrissage (appuyez sur la touche G ou faites glisser la commande de train). L'appareil accélérera alors rapidement jusqu'à $V_2 + 15$.

À 1 000 pieds (305 m), réduisez l'angle de braquage des volets de 5 à 1 degré (appuyez sur F6 ou faites glisser le levier des volets). Continuez d'accélérer jusqu'à 200 nœuds, vitesse à laquelle vous pourrez rentrer les volets (en appuyant à nouveau sur F6).

Montée

Lorsque vous rentrez les volets, réglez la puissance ascensionnelle sur environ 90 % de N_1 (appuyez sur F2, utilisez la commande des gaz de votre manette de jeu ou faites glisser les manettes des gaz). Conservez une vitesse de 250 nœuds jusqu'à 10 000 pieds (en maintenant un cabré de 6 ou 7 degrés), puis de 280 nœuds jusqu'à votre altitude de croisière.

BOEING

Croisière

En temps normal, l'altitude de croisière est déterminée par les vents, les conditions météo et d'autres facteurs, que vous souhaitez sans doute prendre en compte dans votre plan de vol si vous avez créé des systèmes météo spécifiques le long de votre route. L'altitude idéale est celle qui permet de consommer le moins de carburant possible pour une configuration et un poids brut donnés. Une discussion exhaustive sur le choix des altitudes est ici hors de propos.

Lors d'une montée ou d'une descente, conversez en pieds une valeur égale à 10 pour cent de votre vitesse de montée ou de descente afin de déterminer à quel moment vous devez vous mettre en palier. Par exemple, si vous montez à 1 500 pieds/minuta, commencez la transition à 150 pieds en dessous du plafond que vous vous êtes fixé.

Vous constaterez qu'il est beaucoup plus facile de piloter le Boeing 737-400 en montée, en vol de croisière et en descente si vous utilisez le pilote automatique car il peut maintenir l'altitude, la vitesse, le cap ou la route navale que vous spécifiez. Pour plus d'informations sur l'utilisation du pilote automatique, consultez la rubrique Utilisation du pilote automatique dans l'Aide.

La vitesse de croisière normale est de Mach 0,74. Vous pouvez l'entrer dans la

fenêtre Conservateur de nombre de Mach du pilote automatique, puis cliquez sur le bouton Mach pour le renvoyer. En outre, si vous activez la fonction Maneta de gaz automatique (en cliquant sur le commutateur correspondant), la puissance sera automatiquement réglée de manière adéquate pour conserver cette vitesse. La vitesse-air indiquée (en nœuds) est généralement remplacée par le nombre de Mach lorsque vous attribuez une altitude comprise entre 20 000 et 30 000 pieds (6 000 et 9 000 m).

N'oubliez pas que votre vitesse vraie est en fait beaucoup plus élevée dans l'air froid raréfié. Vous devrez essayer différents réglages de puissance avant de trouver celui qui vous permettra de maintenir la vitesse de croisière voulue à l'altitude choisie.

Descente

Un bon profil de descente implique de savoir quand quitter l'altitude de croisière et de planifier son approche à l'avance. Une descente normale s'applique au régime de ralenti, sans utiliser les aérofreins. Un moyen efficace pour déterminer quand commencer votre descente est d'appliquer la règle du 3 pour 1 (trois milles de distance par mille pieds d'altitude). Prenez votre altitude en pieds, supprimez les zéros des milliers et multipliez par 3 le résultat obtenu.

RECOMMANDATIONS

Par exemple, pour descendre d'une altitude de croisière de 35 000 pieds (10 668 m) jusqu'au niveau de la mer :

Étez les trois zéros de 35 000, ce qui vous donne 35.

$35 \times 3 = 105$

Vous devez donc commencer votre descente à 105 milles nautiques de votre destination, en maintenant une vitesse de 250 nœuds (environ 45 % de N_1) et un taux de descente compris entre 1 500 et 2 000 pieds/m minute, la puissance étant réglée au régime de ralenti.

Le cas échéant, ajoutez deux milles supplémentaires par tranche de 10 nœuds de vent arrière.

Pour arrêter la descente, débrayez le pilote automatique si vous l'avez activé pendant le vol de croisière (ou entrez la vitesse-air ou la vitesse verticale de descente dans le pilote automatique si vous souhaitez qu'il effectue la manœuvre à votre place). Réduisez la puissance au régime de ralenti et abaissez légèrement le nez de l'appareil (d'un ou deux degrés tout au plus car le 737-400 est sensible au tangage). Veillez à ne pas dépasser la vitesse réglementaire de 250 nœuds en deçà de 10 000 pieds (3 048 m). Conservez ce profil jusqu'au début de la phase d'approche.

Si vous ne respectez pas cette procédure, vous risquez d'arriver trop haut à destination

(ce qui vous obligera à faire des cercles pour descendre) ou d'arriver trop bas et de dépasser votre but (ce qui entraînera une perte de temps et une consommation supplémentaire de carburant). Prévoyez de définir un repère d'approche initial, que vous procédiez ou non à une approche aux instruments.

Lors d'un vol en volier, il vous faudra environ 35 secondes et 3 milles (5,5 km) pour décélérer de 290 nœuds à 250 nœuds sans utiliser les aérofreins et 35 secondes supplémentaires pour ralentir jusqu'à 210 nœuds. Prévoyez d'attendre l'altitude du circuit de piste et la vitesse de manœuvre volés rentrés à une distance d'environ 12 milles lors d'un atterrissage direct ou d'environ 8 milles si vous commencez votre approche vent arrière. Vous serez en bonne voie si votre altitude est de 10 000 pieds (3 048 m) au-dessus du sol et votre vitesse de 250 nœuds à 30 milles (55,5 km) de l'aéroport.

Approche

À bord du vénérable Boeing 727, les pilotes avaient pour habitude de dire que si vous pouviez voir a piste, vous pouviez atterrir. Même lorsque votre altitude et votre vitesse d'approche finales étaient élevées, vous pouviez parvenir à vous poser en sortant les volets à l'entée, les volets de courrouce et le train. Ne vous essayez pas à cela dans cet avion !

PROCÉDURE

Pour réussir une approche et un atterrissage dans le 400, vous devez « ralentir pour descendre ». En d'autres termes, il ne suffit pas de sortir les volets et le train pour ralentir rapidement. Vous devez définir la configuration de votre appareil (volets et train) et atteindre à vitesse requise bien avant l'atterrissage. Une vitesse excessive vous obligera à voler un temps en palier pour ralentir.

Si vous amorcéz votre approche à une altitude trop élevée, vous pouvez utiliser les aérofreins pour accélérer la descente. Si possible, toutefois, évitez de le faire lorsque les volets sont sortis. En tout état de cause, n'utilisez pas les aérofreins en deçà de 1 000 (305 m) pieds au-dessus du sol.

Lors d'une approche aux instruments, vous devez avoir défini votre configuration d'atterrissage et atteint la vitesse adéquate avant le repère d'approche finale (point où vous intercépterez l'alignement de descente), soit à environ cinq milles de la piste.

Abaissez les volets de 1 degré (appuyez sur **F7** ou faites glisser l'indicateur ou le levier des volets) dès que votre vitesse sera inférieure à la vitesse minimum de manoeuvre volets rentrés, ce qui devra normalement être le cas à l'entrée de la branche vent arrière ou à la verticale du repère d'approche initiale. Combinez ensuite à abaisser les volets lorsque vous atteindrez la vitesse limite correspondant à chaque réglage.

Pour un atterrissage normal, les volets doivent être abaissés à trente degrés. Lorsque leur angle de braquage est de 40 degrés, vous utilisez pour les pistes courtes l'avion se stabilise rapidement dès que vous réduisez la puissance.

Rejoignez l'alignement de descente par en dessous, puis sortez le train d'atterrissage (appuyez sur la touche **G** ou faites glisser la commande de train) lorsque l'aiguille de l'indicateur de pente d'approche est sur le dernier point ou en dessous de celui-ci.

La vitesse adéquate en approche finale, variable selon le poids de l'appareil, est généralement de 135 à 140 nœuds pour une masse opérationnelle type.

Une fois le train sort et les volets à 30 degrés, réglez la puissance sur 55 à 60 % de N_1 . Cette configuration doit vous permettre de maintenir votre vitesse avec un bon angle de descente vers la piste.

Au besoin, effectuez de petits ajustements de puissance et d'assiette pour conserver la trajectoire. Votre vitesse verticale de descente doit être de l'ordre de 700 pieds/minute.

Avant de vous poser, vérifiez que la poignée des aérofreins est en position **APRME**.

Atterrissage

Prenez comme repère d'approche un point situé à environ 1 000 pieds (305 m) au-delà du seuil de piste, puis ajustez votre

ROUES

habitude en tangage de manière à conserver, au travers du pare-brise, le même angle de vue par rapport à ce point.

Une fois que le seuil de piste aura disparu de votre champ de vision, fixez votre regard sur un point situé environ aux trois quarts de la piste. Lorsque les roues du train principal seront approximativement à 15 pieds (4,5 m) du sol, commencez à arrondir en cabrant le nez de l'appareil d'environ 3 degrés. Réduisez la puissance au régime de ralenti, puis posez l'appareil.

Pour éviter que la partie arrière du fuselage ne percute le sol au moment de l'atterrissage, amenez l'appareil au-dessus de la piste jusqu'au point de contact désiré. NE tentez PAS de retarder l'impact des roues afin d'exécuter un atterrissage en douceur.

Dès que le train principal touche le sol, freinez doucement (appuyez sur la touche : ou sur le **Bouton 1** - généralement la déviance - de votre manette de joystick).

Si vous avez armé les spoilers, ils se déploieront automatiquement. Dans le cas inverse, amenez le levier de frein en position haute. Enclenchez les inverseurs de poussée (appuyez sur **F2** ou faites glisser les manettes des gaz à fond vers l'arrière). N'oubliez pas de les arrêter dès que votre vitesse sera inférieure à 80 nœuds.

Après avoir quitté la piste, lorsque vous rouleriez vers le terminal, relevez les volets (appuyez sur **F6** ou faites glisser le levier des volets) et rentrez les spoilers (appuyez sur la touche **DEUX POINTS** [:] ou cliquez sur le levier de frein).

ANNEXE C

CODES D'EMPLACEMENT OACI

INDICATEURS D'EMPLACEMENT O.A.C.I.

B.C

BGTL : Thulé
 BIKF : Keflavik
 CYHZ : Halifax
 CYMX : Montréal / M
 CYOW : Ottawa
 CYQB : Québec
 CYQX : Gander
 CYUL : Montréal / D
 CYYZ : Toronto

D

DAAD : Bou Saada
 DAAE : Bejaja
 DAAG : Alger / H. Boumedienne
 DAAJ : Djanet
 DAAP : Illizi
 DAAT : Tamanrasset
 DAAV : Jijel
 DABB : Annaba
 DABC : Constantine
 DABS : Tebessa
 DAOB : Tiaret
 DAOF : Tindouf
 DAOM : Mascara
 DAON : Tlemcen
 DAOO : Oran / Es Senia
 DAOR : Béchar
 DAUA : Adrar
 DAUB : Biskra
 DAUE : El-Goléa
 DAUG : Ghardala
 DAUH : H. Messaoud
 DAUI : In Salah
 DAUK : Tougourt
 DAUO : El-Qued
 DAUT : Timimoun
 DAUU : Ouargla
 DATG : In Guezzam
 DATM : B. Badji Mokhtar
 DBBB : Cotonou
 DGAA : Accra
 DFFD : Ouagadougou
 DFQO : Boko Dioulasso
 DIAP : Abidjan
 DNKN : Kano
 DNMM : Lagos
 DRRN : Niamey
 DRZA : Agadès
 OTTA : Tunis
 DTTJ : Jerba
 DTTM : Monastir
 DTTX : Sfax
 DTTZ : Tozeur
 DXXX : Lomé

E

EBBR : Bruxelles
 EBOS : Ostende
 EDBB : Berlin Tempelhof
 EDBT : Berlin Tegel
 EDDF : Frankfurt
 EDDH : Hambourg
 EDDK : Köln-Bonn
 EDDL : Dusseldorf
 EDDM : München
 EDDS : Stuttgart
 EFHK : Helsinki
 EFTU : Turku
 EGBB : Birmingham
 EGCO : Manchester
 EGGP : Liverpool

EGHI : Southampton
 EOKK : London Gatwick
 EGLL : London Heathrow
 EHAM : Amsterdam
 EHRD : Rotterdam
 EIDW : Dublin
 EINN : Shannon
 EKCH : Copenhagen
 EKYT : Alborg
 ELLX : Luxembourg
 ENFB : Oslo Fomebu
 ENGM : Oslo Gardenmoen
 ENZV : Stavanger
 EPPD : Poznan
 EPWA : Varsovie
 ESSA : Stockholm Arlanda
 ESSB : Stockholm Bromma
 ETBS : Berlin Schönefeld

F-G

FATS : Johannesburg
 FAWH : Windhoek
 FBGR : Gaboroné
 FCDB : Brazzaville
 FCPP : Pointe Noire
 FEFF : Bangui
 FGSL : Malabo
 FKKD : Douala
 FKKY : Yaounde
 FLSS : Lusaka
 FMCH : Moroni
 FMMT : Antananarivo
 FNLU : Luanda
 FNLL : Huambo
 FOOL : Libreville
 FPST : Sao Tomé
 FQMA : Maputo
 FRSB : Harare
 FSSS : Mahé
 FTTJ : Ndjaména
 FWCC : Blantyre
 FXMU : Maséru
 FZAA : Kinshasa
 GABS : Bamako
 GAGO : Gao
 GAKY : Kayes
 GATB : Tambouctou
 GBYD : BANDJULL
 GCLP : Las Palmas
 GCTS : Santa Cruz de Tenerife
 GSAI : El-Ayoun
 GSVO : Villa Cisneros

H-K

HABB : Addis Ababa
 HAAS : Asmara
 HBBA : Bujumbura
 HCMM : Mogadishu
 HEAX : Alexandria
 HECA : Cairo
 HELX : Luxor
 HEMM : Marsa Matrouh
 HESN : Aswan
 HFFF : Djibouti
 HKMO : Mombasa
 HKNA : Nairobi
 HLLB : Benghazi
 HLLT : Tripoli
 HLLS : Sebta
 HSSS : Khartoum
 HTDA : Dar Es-Salam
 HTKJ : Kilimandjaro
 HUEN : Entébé

KATL : Atlanta
 KBOS : Boston
 KBWI : Baltimore / w
 KCLE : Cleveland
 KDAL : Dallas
 KDEN : Denver
 KEFD : Houston Ellington
 KHOU : Houston Hobby
 KIAD : Washington
 KIAH : Houston International
 KJFK : New York Kennedy
 KLAX : Los Angeles
 KLGA : New York La Guardia
 KMIA : Miami
 KORD : Chicago
 KSEA : Seattle
 KSFO : San Francisco

L

LBBG : Burgas
 LBSF : Sofia
 LBWN : Varna
 LCNC : Nicosia
 LEAL : Alicante
 LEBL : Barcelona
 LEIB : Ibiza
 LEMD : Madrid
 LEMG : Malaga
 LEPA : Palma de Mallorca
 LEVC : Valencia
 LFBG : Bordeaux
 LFBO : Toulouse
 LFKB : Bastia
 LFKJ : Ajaccio
 LFLC : Clermont-Ferrand
 LFLY : Lyon Satolas
 LFLS : Grenoble
 LFLY : Lyon Bron
 LFMH : Saint Etienne
 LFMI : Istres
 LFML : Morigiane
 LFMN : Nice
 LFMP : Perpignan
 LFMT : Montpellier
 LFOT : Tours
 LFPB : Paris de Bourget
 LFPG : Paris-Roissy
 LFPN : Toussus le Noble
 LFPO : Paris Orly
 LFPV : Villacoublay
 LFQQ : Lille
 LFSB : Bale Mulhouse
 LFSD : Dijon
 LFSF : Metz
 LFSS : Nancy
 LFSR : Reims
 LFST : Strasbourg
 LGAD : Andravida
 LGAT : Athènes
 LGIR : Iraklion
 LHBP : Budapest
 LICJ : Palermo
 LIEA : Alghero
 LIEE : Cagliari
 LIMC : Milano Malpensa
 LIMF : Turin
 LIMJ : Gênes
 LIML : Milano Linate
 LIRA : Roma Ciampino
 LIRF : Roma Fiumicino
 LIRN : Naples
 LKIB : Bratislava
 LKPR : Prague
 LMML : Malta

LOWI : Innsbrück
 LOWL : Linz
 LOWW : Vienne
 LPAZ : Santa Maria / Açores
 LPPR : Porto
 LPPT : Lisbonne
 LRBS : Bucaresti-Baneasa
 LROP : Bucaresti - Otopeni
 LSGG : Genève
 LSZB : Berne
 LSZH : Zurich
 LTAC : Ankara
 LTBA : Istanbul
 LTBK : Izmir
 LXGB : Gibraltar
 LBYE : Belgrade
 LYDU : Duvrovnik
 LYLJ : Ljubljana
 LYSP : Split
 LYZA : Zagreb

M-O

MMM : Mexico
 OEBI : Bahrein
 ODAA : Aden
 OEDR : Dhahran
 OEJD : Jeddah
 OEJN : Jeddah
 OEMA : Medina
 OERK : Ryad
 OIII : Teheran
 OJAI : Amman
 OJAM : Amman Int
 OKBK : Koweït
 OLBA : Beyrouth
 OMAD : Abou Dabbi
 OMDB : Dubai
 OMRK : Ras Al-Khaimah
 OOSA : Salalah
 OPLA : Lahore
 OPRN : Islamabad
 ORBR : Baghdad
 OSAP : Alep
 OSDI : Damas
 OTBD : Doha
 OYSN : Sanaa

P-S

PAED : Anchorage
 PANC : Anchorage Int
 SBBR : Brasilia
 SBGL : Rio de Janeiro
 SVCC : Caracas

T-U

UAAA : Alma Ata
 UGEE : Yerevan
 UGCC : Tbilisi
 UKBB : Kiev
 UKOO : Odessa
 ULLI : Saint Petersburg
 UTSS : Samarkand
 UTTT : Tashkent
 UUEE : Moscou Vnukova
 UWWW : Moscou Sheremetev

ANNEXE D

**COMMANDE (TOUCHE DE CLAVIER)
POUR FLIGHT SIMULATOR**

SOMMAIRE

Comment ?	3
Choisir ou changer un appareil, un lieu, des conditions météorologiques ou une heure de vol ?	3
Obtenir de l'aide ?	4
Afficher le manuel du pilote ?	4
Principales commandes	5
Commandes du simulateur	5
Commandes de la gouverne	5
Commandes du moteur	5
Autres commandes de l'appareil	6
Commandes d'affichage	6
Principales commandes de transposition	7
Commandes de contrôle du trafic aérien	7
Alphabet phonétique international	8

COMMENT ?

Choisir ou changer un appareil, un lieu, des conditions météorologiques ou une heure de vol ?

Pour choisir un appareil, un lieu, des conditions météorologiques ou une heure de vol avant le vol :

1. Choisissez **Créer un vol** sur la page d'accueil de Flight Simulator 2002.
2. Vous avez le choix entre les quatre options suivantes : **Appareil actuel**, **Emplacement actuel**, **Météo actuelle** et **Date et heure**. Cliquez sur l'onglet **Modifier** situé sous l'option que vous avez choisie.
3. Suivez les messages affichés.
4. Cliquez sur **OK**.
5. Lorsque vous êtes prêt à voler, cliquez sur l'onglet **Décollage**.

Pour changer d'appareil, de lieu, de conditions météorologiques ou d'heure de vol pendant le vol :

To change your aircraft:

1. Choisissez le menu **Appareil** en haut de l'écran.
2. Sélectionnez **Choisir un appareil**.
3. Suivez les messages affichés.

Pour changer le lieu :

1. Choisissez le menu **Environnement** en haut de l'écran.
2. Cliquez sur **En route pour l'aéroport**.
3. Suivez les messages affichés.

Pour changer les conditions météorologiques :

1. Choisissez le menu **Environnement** en haut de l'écran.
2. Sélectionnez **Météo**.
3. Suivez les messages affichés.

Pour changer l'heure du vol :

1. Choisissez le menu **Environnement** en haut de l'écran.
2. Sélectionnez **Heure et saison**.
3. Suivez les messages affichés.

Obtenir de l'aide ?

Il existe plusieurs sources d'informations destinées à vous aider à utiliser Flight Simulator 2002.

1. Pour obtenir de l'aide sur Flight Simulator, les vols et autres, consultez la section **Aide**.
2. Si vous vous posez des questions ou éprouvez des difficultés pendant le vol :
 - ✻ Consultez la **tablette**. Vous y trouverez des **check-lists** ainsi que d'autres informations utiles pendant le vol.
 - ✻ **Apprendre à piloter avec Rod Machado**. Affinez vos capacités de pilotage en prenant des leçons avec l'un des instructeurs de vol le plus prestigieux au monde.

Pour obtenir une liste complète des outils d'aide, reportez-vous au manuel **Avant de prendre l'air**.

Afficher le manuel du pilote ?

Flight Simulator 2002 inclut, sous forme de fichiers affichables, les manuels du pilote suivants, enrichis et mis à jour :

- ✻ **Avant de prendre l'air** : fournit les informations utiles dont vous avez besoin avant de commencer à voler.
 - ✻ **Cours de pilotage au sol de Rod Machado** : regroupe des cours de pilotage au sol dispensés par Rod Machado, instructeur de vol et humoriste de renommée mondiale.
 - ✻ **Manuel des appareils** : permet d'en savoir plus sur votre appareil.
 - ✻ **Manuel du contrôle du trafic aérien** : familiarisez-vous avec le contrôle du trafic aérien.
 - ✻ **Tirer le meilleur profit de Flight Simulator 2002** : permet de connaître d'autres aventures tout en tirant le meilleur parti de vos expériences de vol.
- La section **Bibliothèque & Aide**, très complète, dispense toutes sortes d'informations relatives à Flight Simulator.

PRINCIPALES COMMANDES

Commandes du simulateur

Vert. Num DÉSACTIVÉ)
Pause P
Son (activé/désactivé) 0
Réinitialiser le vol en cours CTRL + \$
Enregistrer un vol \$
Quitter Flight Simulator CTRL + C

Commandes de la gouverne

Vert. Num DÉSACTIVÉ)
Incliner vers la gauche
(ailerons) 4 (pavé numérique)
Incliner vers la droite
(ailerons) 6 (pavé numérique)
Lacet à gauche (gouvernail
de direction) 0 (pavé numérique)
Lacet à droite (gouvernail
de direction) **ENTRÉE** (pavé numérique)
Ailerons et gouvernail
au centre 5 (pavé numérique)
Baisser le nez (gouvernail
de profondeur) ... 8 (pavé numérique)
Céder le nez (gouvernail
de profondeur) ... 2 (pavé numérique)
Compensateur de profondeur
vers le haut 1 (pavé numérique)

Compensateur de profondeur
vers le bas 7 (pavé numérique)

Rentrer les volets (complètement) F5
Rentrer les volets (par incréments) F6
Déployer les volets (par incréments) F7
Déployer les volets (complètement) F8
Sortir/rentrer les spoilers/aérofreins ... :

Commandes du moteur

Vert. Num DÉSACTIVÉ)
Démarrer automatiquement
le moteur CTRL + E
Couper les gaz F1
Inverser la poussée
(turbo-propulseurs/avions
à réaction) Touche F2 (enfoncée)
Réduire les
gaz F2 ou 3 (pavé numérique)
Augmenter les
gaz F3 ou 9 (pavé numérique)
Plein gaz F4
Activer/désactiver
la post-combustion MAJ + F4
Régler le régime de l'hélice
sur bas CTRL + F1
Réduire le régime de l'hélice .. CTRL + F2

- Augmenter le régime de l'hélice CTRL + F3
- Régler l'hélice au régime maximum CTRL + F4
- Mélange ralenti d'extinction du moteur CTRL + MAJ + F1
- Mélange peu enrichi... CTRL + MAJ + F2
- Mélange enrichi CTRL + MAJ + F3
- Enrichir le mélange CTRL + MAJ + F4
- Chauffage du carburateur activé/désactivé H

Autres commandes de l'appareil (Nerr. Num DÉSACTIVÉ)

- Mettre le frein de parking CTRL + ;
- Serrer/desserrer les freins ;
- Sortir/rentrer le train d'atterrissage G
- Allumer/éteindre tous les feux L
- Activer/désactiver le commutateur principal de pilote automatique Z

Commandes d'affichage (Nerr. Num DÉSACTIVÉ)

- Muée Plein écran (ni menu ni barre des tâches) ALT + ENTRÉE
- Afficher les menus (en mode Plein écran) ALT
- Agrandir la vue W
- Affichage panoramique MAJ + 1-9 (pavé numérique)
- Faire défiler les vues (Dockpit, Tour, Piste, Avion d'observation) S
- Afficher/masquer d'autres fenêtres panneaux (radios, commandes du moteur, GPS, etc.) MAJ + 1-9
- Afficher/masquer la tablette F10
- Faire défiler les coordonnées/vitesse de défilement MAJ + Z
- Créer une nouvelle fenêtre de vue]
- Créer une nouvelle fenêtre aérienne MAJ + v
- Fermer la fenêtre de vue ^

PRINCIPALES COMMANDES

Principales commandes de transposition (Verr. Num DÉSACTIVÉ)

Mode de transposition
active/désactivé Y

Avancer 8 (pavé numérique)
Reculer 2 (pavé numérique)

Déplacer l'appareil vers
la gauche 4 (pavé numérique)

Déplacer l'appareil vers
la droite 6 (pavé numérique)

Figurer le mouvement
horizontal 5 (pavé numérique)

Monter lentement Q

Monter rapidement F4

Descendre lentement A

Descendre rapidement F1

Figurer le mouvement vertical F2

Commandes de contrôle du trafic aérien

Afficher le menu ATC
[Contrôle du trafic
aérien] (Appuyer sur
la touche ù ou
ARRÊT DÉFIL)

Remarque

Le pavé numérique ne fonctionne pas pour le contrôle du trafic aérien. Utilisez les nombres en haut du clavier. Pour plus d'informations, consultez le menu ATC [Contrôle du trafic aérien] affiché à l'écran.

ALPHABET PHONÉTIQUE INTERNATIONAL

A	Alpha	U	Uniform
B	Bravo	V	Victor
C	Charlie	W	Whiskey
D	Delta	X	X-ray
E	Echo	Y	Yankee
F	Foxtrot	Z	Zulu
G	Golf		
H	Hotel	0	Zéro
I	India	1	Un
J	Juliet	2	Deux
K	Kilo	3	Trois
L	Lima	4	Quatre
M	Mike	5	Cinq
N	November	6	Six
O	Oscar	7	Sept
P	Papa	8	Huit
Q	Quebec	9	Neuf
R	Romeo		
S	Sierra		
T	Tango		

Nombres supérieurs à 9 : Prononcez chaque chiffre. Par exemple, lorsque vous appelez le tour de contrôle du trafic aérien et relayer l'indicateur d'appel de votre appareil, dites « This is Cessna Niner Five Juliet ».

Terminologie :

Cap:

• Angle entre le Nord magnétique et l'axe longitudinal de l'avion mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre .

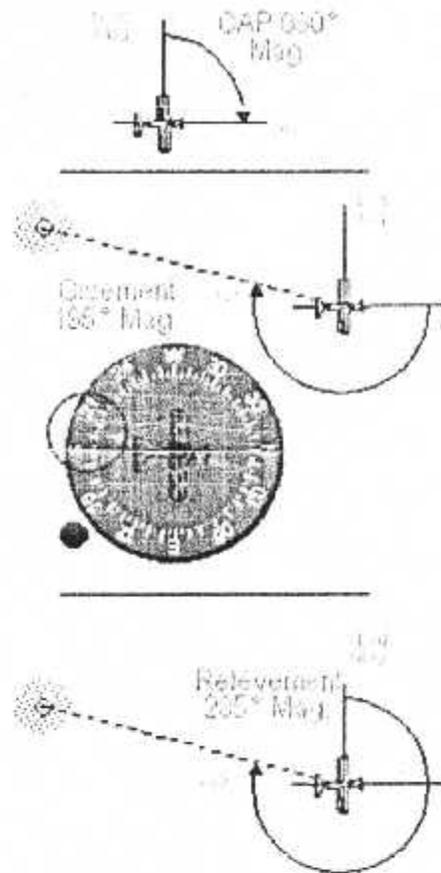
Gisement:

• Angle entre l'axe longitudinal de l'avion et la direction de la station, mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre, à partir du nez de l'avion.

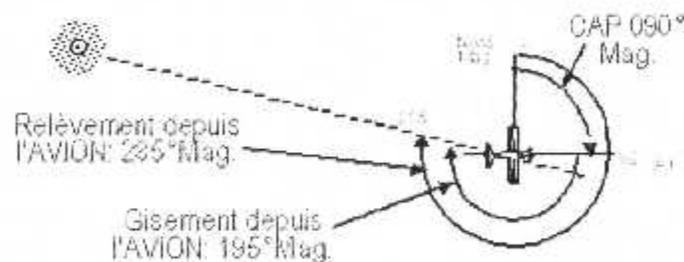
• Le récepteur ADF de bord donne directement le gisement de la station affichée.

Relèvement:

• Angle entre le Nord magnétique et la direction de la station depuis l'avion, mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre.



$$\text{CAP} + \text{Gisement} = \text{Relèvement}$$



On utilise en général trois calages différents pour l'altimètre :

-calage QFE :

l'altimètre fournit la hauteur de l'avion par rapport à l'aérodrome dont la pression atmosphérique est affichée. Ce calage est utilisé au décollage et à l'atterrissage ,

-calage QNH :

l'altimètre fournit l'altitude géographique de l'avion, la pression affichée étant celle du niveau de la mer,

-calage 1013 hPa :

qui permet de définir des "niveaux de vol" pour la circulation aérienne (exemple FL 50 correspond à l'altitude-pression de 5 000 ft avec un calage de 1013 mb.

..... Listes des figures

Chapitre I :

- Fig.I.1.a UN VOR C (conventionnel).
- Fig.I.1.b UN D VOR (Doppler).
- Fig.I.2. Le déphasage entre les signaux de référence et variable.
- Fig.I.3 .Radiale VOR.
- Fig.I.5 .Boitier de commande du récepteur VOR.
- Fig.I.6. Indicateur VOR.
- Fig .I.7 .L'indication TO/FROM.
- Fig.I.8 .Interception de l'information VOR.
- Fig.I.9 .Passage à la station.
- Fig.I.10. Confirmation du repère sol.
- Fig.I.11 .L'information de deux stations VOR.
- Fig.I.12 TTS et D.
- Fig.I.13. Distance fourni par la balise DME.
- Fig.I.14 .Station DME.
- Fig.I.15 .Boitier de commande DME.
- Fig.I.16. Cadran de lecture DME.
- Fig.I.17. Interrogation et réponse.
- Fig.I.18. Vue générale de la station VOR-DME.
- Fig.I.19 . Boitier de commande ADF.
- Fig.I.21 .Indicateur de balise NDB.
- Fig.I.22. Lecture d'information.
- Fig.I.23. Une route aérienne.
- Fig.I.24 .Route en rapprochement de la station.
- Fig.I.25. Route en éloignement.
- Fig.I.26 .Repérage ADF.
- Fig.I.27 .L'information de deux NDB.
- Fig.I.28 Correction de dérive en rapprochement.
- Fig.I.29 .Correction de dérive en éloignement.
- Fig.I.30. Stations de guidage ILS.
- Fig.I.31 .Antenne localizer.
- Fig.I.32 .Vue générale des glides.
- Fig. I.33 .Les balises markers.
- Fig.I.34. Lampes des markers à bord.
- Fig.I.35 .Radôme de l'aéroport de Saint Pierre et Miquelon .
- Fig.I.36 .Vue des antennes ILS à l'intérieur du radôme.
- Fig.I.37. Boiter de commande IRS.
- Fig.I.38. Les segments de GPS.

CHAPITRE II :

- Fig.II.1. Architecture du FMS .
- Fig.II.2. Interface du systemes FMS.
- Fig.II.3 .Représentation synoptique du PA.
- Fig.II.4 .Représentation synoptique du directeur de vol.
- Fig.II.5. Schéma synoptique de l'automanette.
- Fig.II.6. Relation des taches .
- Fig.II.7 .Image représentative de la base de données de navigation.
- Fig.II.8. Image représentative de la base de données de performances.
- Fig.II.9. Image représentative du calculateur.
- Fig.II.10. Architecture interne du FMC.
- Fig.II.11 .Boîtier de commande et d'affichage « CDU ».
- Fig.II.12. Echanges de données.

CHAPITRE IV :

- Fig .IV .1 .Execution du logiciel AFCAD.
- Fig .IV .2 .Ouverture de la base des donnees des aéroport dans le AFCAD
- Fig .IV .3 .Recherche de le DAAG.
- Fig .IV .4 .DAAG dans AFCAD.
- Fig .IV .5 .Commande du logiciel AFCAD.
- Fig .IV .6 . Traitement des textures de batiment dans le photos impact.
- Fig .IV .7 .Traitement des textures de batiment dans le photos impact.
- Fig .IV .8 .models des images apres traitement.
- Fig .IV .9 .Traitement de l' image de l' avion KHALIFA.
- Fig .IV .10 .Traitement de l' image de l'avion IAB.
- Fig .IV .11 .Traitement de la cabine de l avion .
- Fig .IV .12 . Resultats de traitement de cockpit .
- Fig .IV .13 .Traitement des touches CDU.
- Fig .IV .14 .Resultats finals de l'aéroport DAAG .
- Fig .IV .15 .Resultats pour l'Avion KHALIFA.
- Fig .IV .16 .Resultats pour l'Avion IAB.
- Fig .IV .17 .Resultats pour le cockpit.
- Fig .IV .18 .Resultats pour le CDU.