

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Saad Dahleb de BLIDA



INSTITUT D'AERONAUTIQUE DE BLIDA



Département : Navigation Aérienne
Option : Avionique

Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme
Des études universitaire appliquée en Aéronautique

THEME



Fait par :

- * Mr : CHERGUI KARIM
- * Mr : BOUZAHER RAFIK

Encadré par :

Mr : BENOUERED A.H



— Promotion 2002/2003 —

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ
وَالَّذِي يُضَوِّبُ الْمَوْتَى
إِنَّ رَبَّهُ لَسَدِيدٌ
إِلَىٰ عَرْشِهِ الرَّحِيمُ
الَّذِي يُرْسِلُ الرِّيَّاحَ
تُحْمَلُهُ السَّحَابُ فَتَنزِلُ
مِنْهُمُ الْمَاءَ فَيَحْيِي
بِهِ الْمَوْتَىٰ إِنَّ رَبَّهُ
لَسَدِيدٌ إِلَىٰ عَرْشِهِ
الرَّحِيمُ

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné la force de mener ce travail.

Nous tenons à remercier notre promoteur M Benouered Abdelhalim pour ses orientations et conseils précieux et toute l'équipe technique

“ De la base de Boufarik ” M CHIHAOUI.

M BESSES.M pour son aide précieuse .

Et M BOUDIAR ABDALLAH qui aidés nous plus de plus proche

Nous remercions également l'honorable jury devant lequel nous avons le privilège d'exposer notre travail .

Nous remercions finalement toute personne ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce mémoire :

A ma mère et mon père

A ma grande mère et mon grand père

A mon chère frère TAHER et ma chère sœur

AMIRA, pour tous mes frères et sœurs

A mon frère Hafed

A mes chères amis Bouhkalfa Mouhamed et

Rafik Ganfoud, ABDALLAH

A tout mes amis

RAFIK

DEDICACES

Je dédie ce mémoire :

A La mémoire de ma grande mère

A ma mère et mon père

A mes chères frères SAMI, FARID,

HASSENE, NOUNOU, ZERARI

A M' NIA

A mes amis MOUH A, MOUH KH, BRAHIM,

HAKIM, FOUENZ, ABDALLAH

KARIM

SOMMAIRE

INTRODUCTION

CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE FMS

I.1 Historique	1
I.2 Objectif	1
a) la minimisation des coûts d'exploitation	1
b) la diminution de la charge de l'équipage	2
I.3 Présentation	2

CHAPITRE II : DESCRIPTION DE LE FMS

II .1 principales fonctions de FMS	5
II .2 constitutions du FMS	5
II .2.1 calculateur de FMS(FMC)	6
II .2.2 boîtier de commande et d'affichage	9
II .3 fonction principale du CDU.....	10
a) au sol	10
b) en vol	11
II .4 utilisation pratique du FMS (les touches et les pages)	12
II .5 intégration du système	17
II .5.1 les informations d'entrée et de sortie	18
a) les informations d'entrée (base de donnée) : DATABASE....	18
b) informations fournies	22
II .6 conclusion.....	25

CHAPITRE III : FONCTIONNEMENT DE PILOTEAUTOMATIQUE

III.1 but	26
III.2 le fonction de pilote automatique	27
III.2.1 mode longitudinale	28
a) mode base	28
b) mode supérieur	31
III.2.2 mode latéral	31
a) mode de base	31
b) mode supérieur	32
III.2.3 atterrissage automatique	34
III.3 conclusion	36

CHAPITRE IV : RELATION PA/FMS

IV.1 l'échangement des informations	36
IV.2 supervision du pilote automatique avec le FMS	36
IV.2.1 mode navigation latérale (NAV)	37
a) engagement du mode NAV	37
b) dégagement du mode NAV	37
IV.2.2 mode navigation verticale (PROFILE).....	37
a) engagement du mode PROFILE	37
b) dégagement du mode PROFILRE	38
IV.3 composition de plan de vol	38
IV.3.1 la phase prévol	38
a) l'alignement des IRS	38
b) définition du plan de vol	38
IV.4 exemple de plan de vol	41
a) phase prévol	41
b) phase avant décollage	43
c) phase croisière	44
d) phase descente	45

CHAPITRE V : MAINTIENNANCE ET ALIMENTATION

V.1 test de maintenance sol FMS	50
V.2 alimentation et protection	53
V.3 Diagramme de synchronisation.....	61

CONCLUSION

ANNEXES

- ANNEXE A : Ecrans d'affichages (ND, PFD, BOITIER DE COMMANDE FCU)
- ANNEXE B : Mécanique de vol
- ANNEXE C : Abréviations utilisées
- ANNEXE D : Indicateur d'emplacement



INTRODUCTION

INTRODUCTION

Depuis ses origines , l'aéronautique est en évolution permanente. Dans un premier temps , l'aérodynamique et la motorisation ont permis d'améliorer les performances des avions. De nos jours , ce sont principalement les équipements à base d'électronique et d'informatique qui permettent d'améliorer et d'optimiser le vol.

Les instruments de bord ce sont donc modernisée et ils utilisent les techniques nouvelles. Le pilote peut plus aisément gérer sa trajectoire et ses systèmes.

Parmi ses systèmes, on a les système de gestion de vol. la première destination est le pilote automatique comme principale tache de soulager le travail de l'équipage, et pour assurée des fonctions de pilotage et de guidage.

Actuellement a coté de pilote automatique, il existe un système se gestion plus puissant , c'est le FMS.Gerer plus facilement des avions de plus en plus complexe.

La liaison entre le PA et le FMS, permet de annoncé chaque paramètre inséré dans le FMS autours des calculateur de commande de vol.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LE FMS

I.1. HISTORIQUE :

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 diminution des coûts.

L'avionique des années 70 était caractérisée par la juxtaposition d'un très grand nombre de boîtes noires, relativement indépendantes les des autres. Le nombre de boutons-poussoirs, manettes, volants, et commandes, de toutes sortes présentes dans le poste de pilotage était centrée sur les systèmes des (Commandes Automatique de Vol) (CADV), regroupant les systèmes de trim, les auto-stabilisateurs, le pilote automatique, le directeur de vol et l'automanette.

En 1980, débute une révolution vers une électronique de bord essentiellement digitale avec présentation des informations sur écran, ainsi que l'utilisation croissante de la puissance de calcul et de traitement par ordinateur. Le lancement du B767 et de l'A310 en 1984, est une étape marquante de cette révolution. L'architecture des systèmes avion est devenue regroupée autour d'un seul système de « conduite de vol » capable d'aider efficacement l'équipage dans toutes ses tâches, c'est le « FMS ».

I.2. OBJECTIFS :

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

a) La minimisation des coûts d'exploitation

Par exemple les dépenses de carburant chez AIRFRANCE en 1993 ont été de l'ordre de 4 milliards de francs pour 3.2 millions de tonnes consommées par 140000 vols. Une économie de 1% sur la consommation de carburant représente donc environ 40 millions de francs.

Comment diminuer de 1% cette consommation ? Ceci pourra être obtenu dans quelques cas par exemple en choisissant une étape de 500 milles nautiques une route plus directe et qui la raccourcit de 6 à 7 milles nautiques ou encore en choisissant un niveau de vol plus bas de 4000 pieds par rapport à l'altitude optimale théorique si le vent Y est moins défavorable de 25 nœuds.

Comment augmenter de 1% la consommation de carburant ? Ceci peut être obtenu de nombreuses manières :

- en entamant la descente une minute plutôt (55kg de plus A300),
- en volant 1 point de mach (0.01) trop vite à l'altitude optimale,
- En volant trop bas de 1000 pieds en croisière,
- En transportant initialement une tonne supplémentaire de carburant sur A320,

Comment peut-on donc d'éviter d'augmenter de 1% la consommation ?

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

b) La diminution de la charge de travail de l'équipage

Sinon fortement accrue par des tâches de gestion de plus en plus complexes. Remarquons que l'automatisation des fonctions de gestion de vol contribue à rendre possible le « pilotage à deux » sur les gros avions de transport conduisant donc aussi à la réduction des coûts d'exploitation.

1.3. PRESENTATION :

Le FMS est un système embarqué permettant la gestion du vol aussi bien dans le plan horizontal que vertical. Par l'intermédiaire d'un calculateur puissant, le vol peut être ainsi optimisé. Couplé au pilote automatique et aux auto-manettes, le FMS permet à l'avion de suivre une trajectoire précise dans le

plan horizontal (mode NAV) et une trajectoire optimisée dans le plan vertical (mode PROFILE) en fonction des conditions réelles du vol (masse réactualisée continuellement) et des conditions météorologiques du moment (vents et températures en temps réels).

Initialement, avant le vol, le pilote insère par le biais d'un CDU (Control Display Unit, interface entre le pilote et le calculateur du FMS), un plan de vol ou une compagnie route (plan de vol préétabli par la compagnie auquel il suffit de rajouter le départ (SID) en fonction de la piste, et l'arrivée (STAR) en fonction de la piste).

Au cours du vol le pilote peut selon les conditions rencontrées de vol :

- Suivre le plan de vol initialement prévu ;
- Infléchir une partie ou la totalité du vol afin de s'adapter au vol (trajectoire directe accordée par le contrôle, évitement d'une masse nuageuse, recherche d'un niveau optimal, respect d'une contrainte imposée par le contrôle (altitude, facteur temps, etc.).
- Recevoir de la part du système FMS des informations concernant des anomalies du système lui-même, des impossibilités de respect de contraintes, des informations continues (heures estimées de passage de points et d'arrivée, temps d'attente possible à destination. Quantités de carburant restantes et consommation sur le trajet. Terrains les plus proches, Etc...).

Avec toutes ces informations, le pilote dispose de tous les éléments pour gérer son vol d'une façon plus sereine. Il reste ainsi disponible pour prendre des décisions stratégiques agissant sur le long terme, ou tactique agissant sur le cours et moyen terme.

Autre fois réservé pour les avions de ligne longs courrier, le FMS est maintenant considéré comme un système à part entière. On le trouve ainsi sur

tous les avions nouveaux, y compris ceux des compagnies dites régionales. Le **FMS doit être considéré** comme une aide appréciable à la réalisation d'un vol.

Il ne doit en aucun cas devenir au cours d'un vol une gêne quelconque. Si tel est le cas, il vaut mieux sortir des modes **FMS (NAV et PROFILE)** afin de suivre scrupuleusement une trajectoire, plutôt que passer son temps le nez sur l'écran !

L'utilisation d'un **FMS** ne pose pas de problèmes majeurs. Par contre connaître les nombreuses possibilités de ce système avant une première qualification sur un avion disposant d'un **FMS**, est un atout important.

CHAPITRE II

DESCRIPTION DU FMS

II.1. PRINCIPALES FONCTIONS DE LE FMS :

Le FMS est un moyen d'aide à la navigation, qui dialogue avec tous les système avion pour fournir les données et les procédures à l'équipage suivantes :

- la construction du plan de vol,
- le séquençement du plan de vol,
- l'élaboration de prévision et l'optimisation des performances,
- l'initialisation (alignement initial au sol) des centrales inertielles,
- la sélection autour des moyens RNAV (navigation de surface),
- l'émission de l'information vers (l'EFIS et l'écran CDU),
- l'émission d'ordres de pilotage et de guidage vers le Pilote Automatique directeur de vol et l'auto manette constituant la partie de guidage,

Donc le rôle du le FMS résulte de l'intégration des systèmes et positionne le pilote (PH) en donneur d'ordres, supervisant l'accomplissement automatique de différentes tâches conjointes et complexes, allègent par conséquent la charge de travail.

II.2. CONSTITUTIONS DU FMS :

Ce système est amené à dialoguer avec la plupart des systèmes embarqués (suivant les avions, calculateurs de Pilotage Automatique, calculateur de poussée, calculateur d'enveloppe, centrales aérodynamiques, centrales inertielles, systèmes de radiocommunication et radionavigation, systèmes de surveillance) et avec l'équipage pour qu'il se tourne le principale « outil » de travail.

Le FMS est constitué autour d'un calculateur de gestion de vol (FMC, Flight Management Computer) associé avec deux CDU (Control Display Unit), le tout relié au Pilote Automatique, et en interaction avec :

- une base de données (interne au calculateur)
- l'équipage via boîtier de commande et d'affichage (CDU) et l'écran de (Primary navigation (ND- Navigation Display) et l'écran de pilotage Flight Display --PFD)
- les aides à la localisation (IRS, ADC, VOR, DME, ILS, OMEGA et déjà GPS via IRS)
- les mesures de consommation de carburant des moteurs (n'oublions pas c'est là que réside l'une des sources potentielles d'économie ...)
- les calculateurs de Pilotage Automatique, de poussée et de CADV (Commande Automatique De Vol) en général.

Cette interaction fait à l'aide de deux (02) parties principales :

II.2.1. Calculateurs de FMS : (FMC, Flight Management Computer)

Le FMC c'est un calculateur numérique haute capacité effectuant les calculs de navigation et de performance ainsi que l'élaboration des ordres de guidage et de gestion de trajectoire.

Le dialogue avec le FMC s'effectue via le CDU. L'équipage peut entrer des données dans le FMC en utilisant indifféremment n'importe quelle interface.

En général, le système de gestion de vol est doublé, on a donc deux FMC, le FMC1 (côté CDB) et le FMC2 (côté OPL). On peut alors distinguer trois (03) modes d'opérations : (fig. 2.1)

- Mode normal d'utilisation, dit « Mode Dual » : les deux calculateurs opèrent en parallèle, l'un 'Maître' et l'autre 'Esclave', ils échangent leurs données (opération de synchronisation) des valeurs calculées par le calculateur 'Maître', afin de contenir les dérives entre les résultats des deux calculateurs. Dans le cas où des divergences notables concernant des fonctions importantes apparaissent, chaque FMC se met automatiquement en mode indépendant.

- Mode Indépendant : Les deux FMC travaillent de façon indépendante et sont reliés à leurs propres périphériques, pour revenir en mode Dual, il faudra réinitialiser l'un des calculateurs.

- Mode Dégradé, dit « Mode Single », dans le cas où l'un des FMC est en panne, tous ses périphériques sont connectés au FMC restant.

Suivant le mode, les CDU permettent d'échanger des informations données avec l'un ou l'autre des calculateurs. (voire fig.II.1)

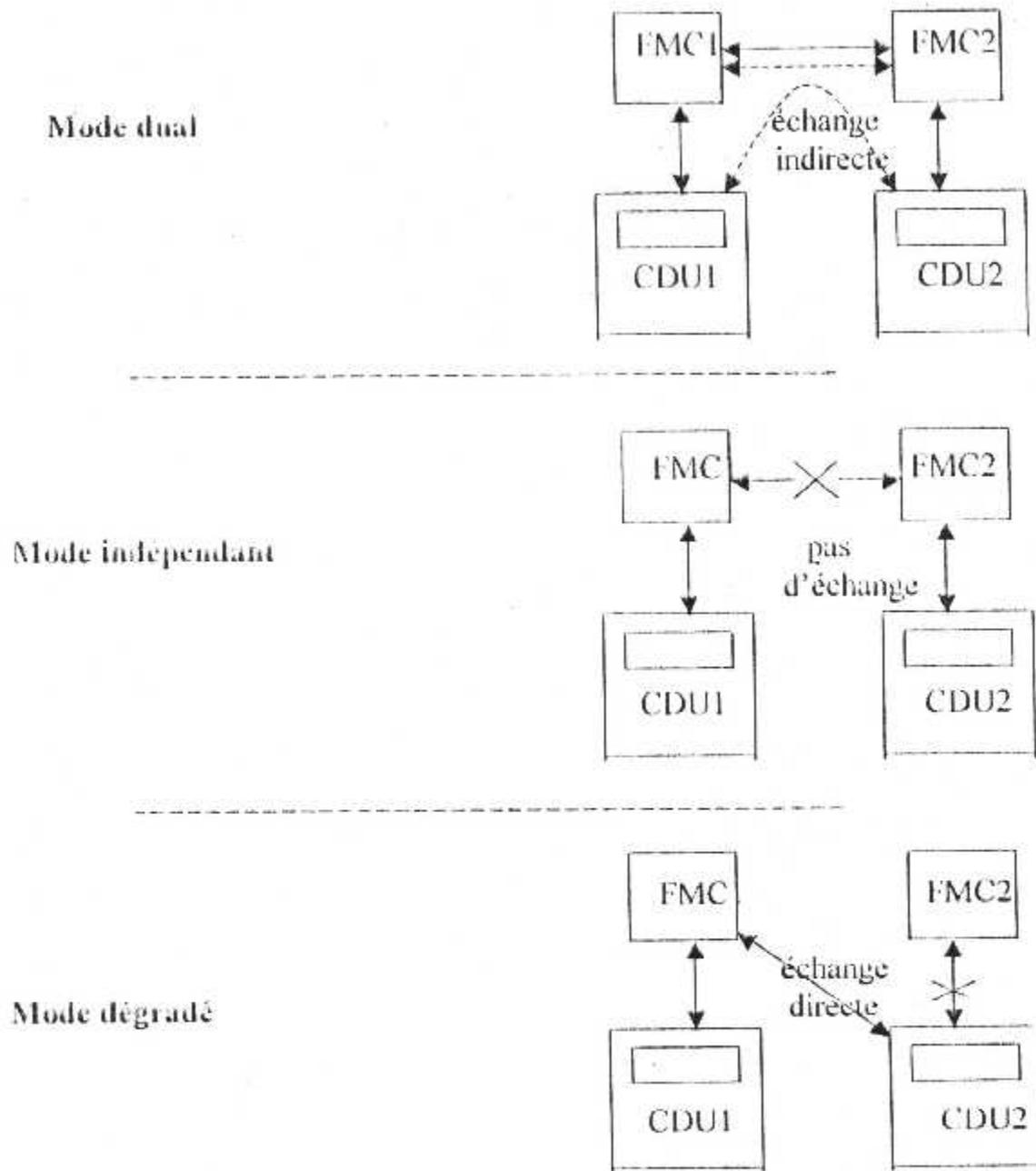


fig.(II.1) Dialogue entre les FMC et les CDU en fonction de mode opération

II.2.2. Boîtiers de commande et d'affichage :

Celui-ci est un véritable «terminal» informatique et permet au pilote de dialoguer avec le FMC pour assurer la gestion à long terme du vol :

L'interrogation de la base de données ou entrées de données pour la définition du plan de vol (trajectoire latérale et verticale, vitesses) et sélection des informations nécessaires à la gestion à moyen terme du vol (prévisions, données carburant, moyen de radio navigation utilisable.....).

Physiquement celui-ci présente un écran cathodique de dimensions réduites associées à un clavier composé de touches spécialisées (appel des fonctions, exemples : **INIT** initialisation, **FUEL PRED** : Prédiction de carburant) et de touches alphanumériques destinées à l'entrée de données dans le **FMS**.

D'autre part des touches de sélection / validation est associée aux lignes d'écritures de l'écran cathodique afin de pouvoir en modifier le contenu.

A chaque fonction associée à la gestion du vol correspond sur le **CDU** une représentation spécifique appelée «**PAGE**» ainsi, le **CDU** permettra d'afficher sur son écran :

- Les informations de position et de précision de navigation (**HIGH** ou **LOW**).
- Les navais sélectionnés.
- Les informations relatives au plan de vol.
- Les prévisions (vitesses, temps et altitude de passage, vents, carburant restant)
- Les données de performance.

Et permettra d'insérer des données par sélection de la ligne écran, entrée des données via alphanumériques et validation du contenu de la ligne. Un

message d'erreur s'affichera si la donnée entrée est incorrecte (type ou forma) ou est hors limites

II.3. FONCTIONS PRINCIPALES DU CDU : ✓

a) Au sol :

- La vérification de la validité de la Data Base en fonction de la date du jour.
- La vérification des facteurs de dégradations des performances de l'avion.
- L'Initialisation du vol : Compagnie route ou entrée des terrains départ et arrivée, position de l'avion l'ISA du jour, écran de température par rapport a l'atmosphère type , altitude de la tropopause , orientation et intensité du vent au niveau de vol considéré .
- Accordement au plan de vol de la procédure départ (SID) et de la procédure arrivée (STAR) en fonction de la piste en service ou prévisible (cas de la compagnie route) ou établissement du plan de vol complet avec les voies aériennes, les balises, les WAYPOINTS, trajectoire éventuelle de dégagement, etc....
- Affichage de contraintes particulières sur le plan de vol (temps, altitude, vitesse, etc....).
- Coupé du plan de vol sur le plan de vol secondaire (autre plan de vol sur lequel on pourra faire des calculs en vol sans perturber le déroulement du vol, sorte de brouillon...).
- L'initialisation de la quantité de carburant prévus pour le vol, et la quantité de carburant nécessaire pour dégager (si la trajectoire de dégagement n'a pas été rentrée), de la quantité final de carburant exigée par la compagnie, de la masse avion au parking.

- L'affichage d'un point particulier de vol pour le quel on souhaite avoir un « bearing distance » permanent (point modifiable à tout moment de vol).

b) En vol:

Modification de la route initialement prévue : Waypoints, balise, contrainte ATC, routes directes, route parallèle (offset), routes spécifiques en cas de panne moteur, changement d'arrivée associé à un changement de piste pour l'atterrissage, changement de destination, déroutement ou dégagement, etc....).

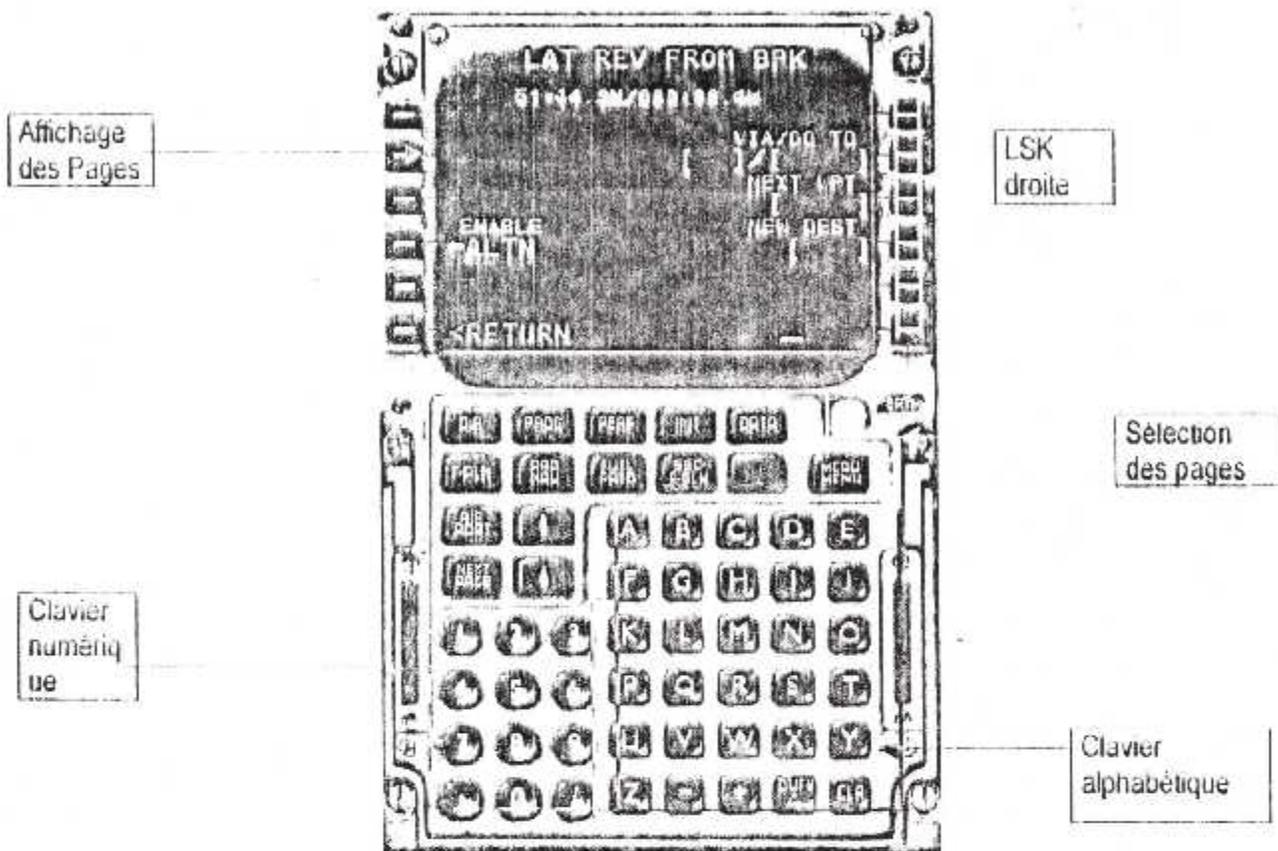
Modification de stratégie du vol ou modification tactique pour une phase de vol.

Interrogation de la banque de données de navigation concernons les balises (nature de la balise, fréquence, position géographique, altitude, déclinaison magnétique du lieu, etc...). Les waypoints, les aérodromes (la longueur des pistes), la position des cinq aérodromes les plus proches (cap et distances pour les rejoindre).

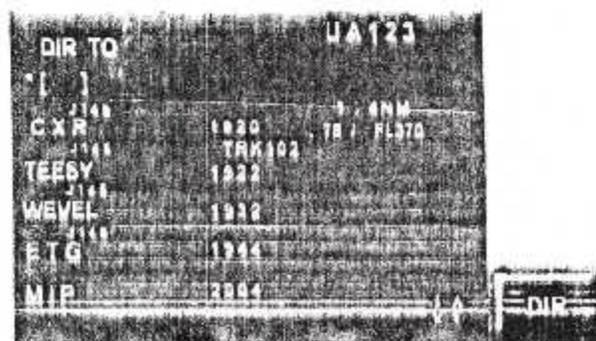
Lecture des heures estimées de passage des points du plan de vol, de la quantité restante de carburant en chaque point du plan de vol ainsi qu'à l'arrivée, du temps d'attente possible avant de dégager.

Possibilité de fabriquer un point de descente différente de FMS (généralement le plan de descente du FMS est de -4^o moteurs tout réduits).

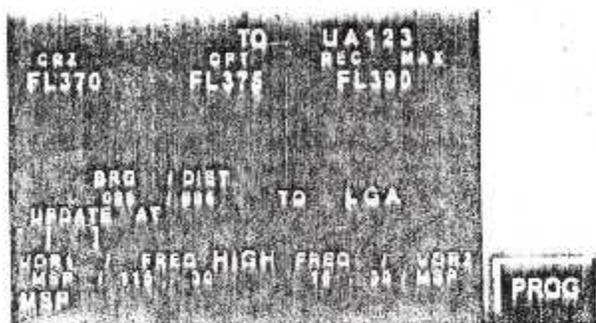
II.4. UTILISATIONS PRATIQUE DU FMS : (les touches et les pages)



DIR: Ce bouton sert avant tout à passer directement à un waypoint précis, il suffit d'appuyer sur cette touche et les waypoints du plan de vol apparaissent, vous cliquez sur LSK contigu au waypoint que vous voulez et l'avion cheminera automatiquement sur ce waypoint, ou bien si vous voulez aller à un autre waypoint que celui de votre plan de vol, il vous faut rentrer l'abréviation du VOR, de l'ADF, ou bien du code OACI de l'aéroport concerné.



PROG: est une page qui sert principalement à vérifier la qualité de la navigation. Cependant un GPS a été introduit dans les avions ce qui permet d'augmenter la précision jusqu'à un mètre près. L'avion dépend d'un satellite s'il utilise le GPS alors que les ADIRS sont autonomes.



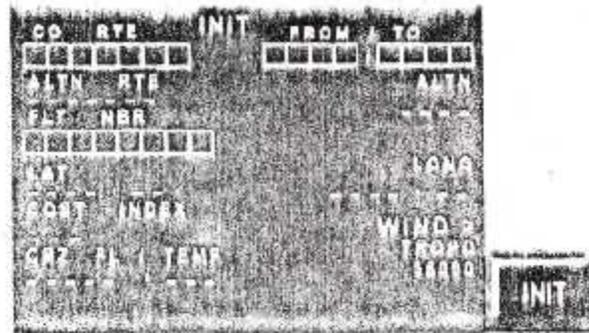
PERF: C'est une page réservée aux vitesses de décollages (V1, VR, V2) où l'on entre manuellement, les indications sur les vitesses de sorties de volets.



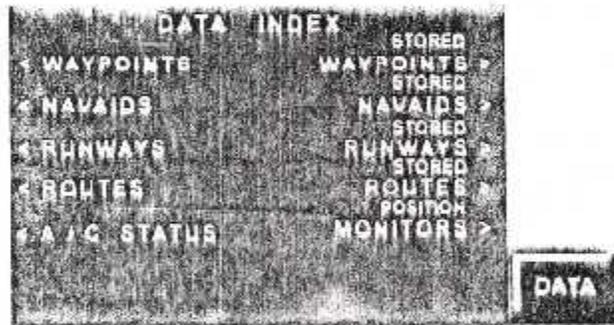
INIT : La page INIT regroupe plusieurs informations indispensables au déroulement d'un vol. C'est ici que l'on rentre les codes OACI des aéroports de départ, d'arrivé, et de dégagement.

-On tape à l'aide du clavier alphabétique les codes OACI des aéroports de destination et d'arrivé (les aéroports étant identifiés grâce à des codes OACI

composés de 4 lettres dont les 2èmes lettres sont propre au pays) puis l'on presse le LSK cotigu à FROM/TO soit le LSK 1R.



. **DATA:** Dans cette page, sont répertoriés tout les waypoints, les nav aids, les routes airways, les waypoints, les nav aids et enfin les monitors. Bref cette page regroupe toutes la DATA BASE soit toutes les informations nécessaire à l'utilisation du FMS.



F-PLAN: C'est sur cette page que l'on gère le vol, tout d'abord, sont rentrés les aéroports de départ et de destination dans la page INIT. Il apparaît alors les 2 aéroports sur la page F-Plan :



RAD NAV: La page RAD NAV est une page de référence. On y rentre les fréquences d'un VOR, son OBS ou CRS ; les fréquences d'un ILS ainsi que son CRS ou même l'ADF



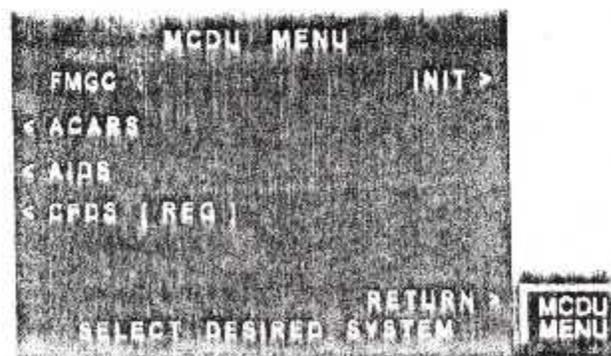
FUEL PRED: Grâce à cette page nous savons le carburant que nous consommons, ce qu'il nous reste jusqu'à la fin du trajet



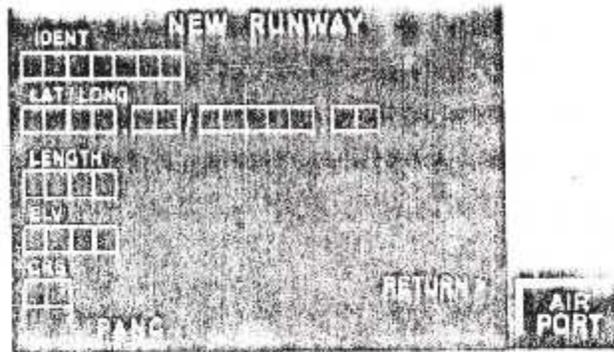
SEC F-PLAN: C'est un plan que l'on construit en parallèle si il y a un problème ou un changement de piste. La production de ce vol est identique à celle d'un vol standard. C'est la même procédure d'entrée. Si toutefois, vous souhaitez par exemple transformer le second plan en un plan actif, il vous suffit de presser le LSK contigu à copy active et de confirmer. Le second plan de vol passe alors en plan de vol actif.



MENU MCDU: Dans cette page sont répertoriés les ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System), les CFDS, et les AIDS. Les ACARS, étant un système de communication par ordinateur, permettant de recevoir des messages météo ou d'envoyer des messages à la tour de contrôle.



AIRPORT: est un bouton qui présente l'arrivée en mode F-Plan, elle n'apporte pas d'informations.



NEXT PAGE: elle sert à passer d'une page à l'autre.

II.5. INTEGRATION DU SYSTEME :

L'intégration des systèmes avion a permis une gestion complète du vol. Cette intégration a regroupée les systèmes avioniques avec tous les documents utilisés pendant le vol par l'équipage, et le poste de pilotage devient de plus en plus regroupé et remplacé par une « librairie électronique ».

La nécessité d'intégration introduite a permis de résoudre des divers problèmes

Pendant le vol, et cela en élaborant le système FMS. Mais, il reste à vérifier ses fonctions en phase d'exploitation, et il demeure inévitable de suspendre ses fonctions de guidage, car ce sont parmi les fonctions les plus importants durant le vol.

Donc, la gestion automatique du vol repose essentiellement sur des équipements de plus en plus performants, et pouvant assister à des fonctions multitâches. Reste qu'aux pilotes professionnels de montrer la facilité d'exploitation du FMC pendant le vol, tout en assumant les options complexes offertes par le système au détriment de la sécurité.

II.5.1 Les informations d'entrée et de sortie :

Le couplage du FMS avec d'autres systèmes d'échange d'informations (représenté sur fig 2.3)

a) Les informations d'entrée (Base de données) : DATA BASE

La base de données est organisée en deux zones :

► Une zone accessible au pilote en lecture mais non modifiable par celui-ci. Cette zone mémorise les informations suivantes :

- Données générales de circulation aérienne :

Aides radio (NAVAID) définies par leur indicatif **OACI** et comprenant : latitude, longitude, fréquence, déclinaison magnétique, altitude pour les **DME** et **ILS**, orientation et catégorie pour les **ILS**.

Points de report (**WAYPOINTS- WPT**) caractérisés par leur indicatif **OACI**, leur type (en route ou terminal), leur latitude et leur longitude.

Les routes aériennes (**AIRWAYS**) caractérisées par leur indicatif, les points de report et aides radio associés .

Les aéroports, pistes, circuits d'attentes et procédures standards (**SID, STAR, ILS, RNAV,...**) associés .

Ces données sont fournies par l'**OACI**, ou les organismes nationaux de l'aviation civile, sous forme standard et sont commercialisées par des sociétés telles que Jeppesen et Racal .

- Données de navigation propre à la compagnie opérant l'avion :

Ce sont principalement les routes opérées 'route compagnie' caractérisées par leur indicatif, l'aéroport de départ, l'aéroport de destination, l'altitude de croisière, l'indice de coût (Cost Index -CI) de la route, leur composition (segments de montée, croisière, descente et approche) .

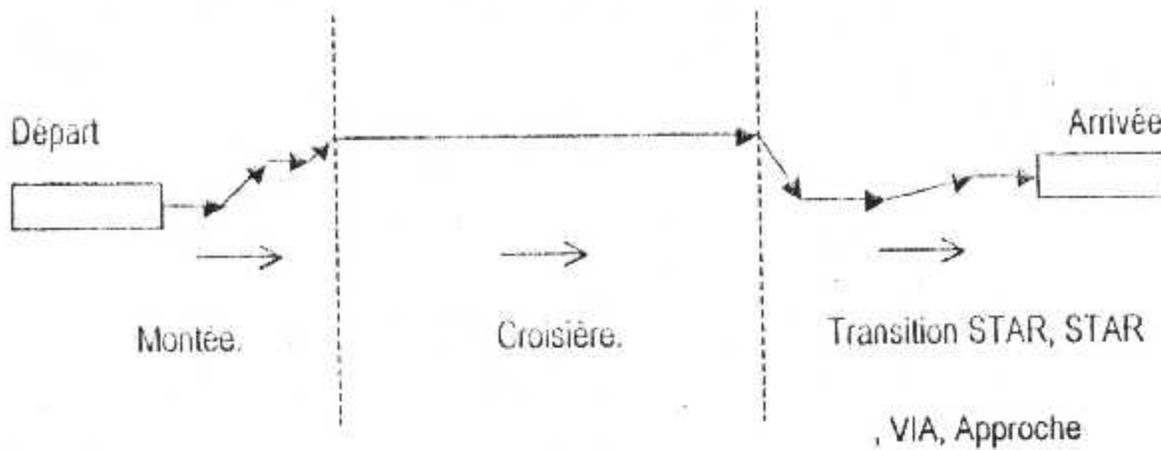


fig.(II.2) les phases d'opération d'un avion

- Données de performances propres à l'avion et aux moteurs :
 - Données aérodynamiques : coefficients de traînée et portance, polaires, limites opérationnelles, facteur de traînée (Drag Factor - DF) .
 - Données sur moteurs : consommations, poussées, facteur de débit (Fuel Flow Factor- FFF).
 - Performances : limites opérationnelles, vitesses économiques .
 - Fichiers de « politique » compagnie permettant le choix de valeurs par défaut (fuel taxi, réserves de carburant, facteur de correction de performance.

Cette zone accessible seulement en lecture (sauf performances) est remise à jour toutes les 4 semaines (28 jours) à l'aide d'un chargeur (Data Loader) .

La base de données antérieure reste en réserve (Back Up) afin de palier toute anomalie ou incohérence de la base de données active .

La remise à jour est nécessaire afin d'avoir une information exacte sur l'état opérationnel des aides radio à la navigation, les procédures standards, la structure de l'espace aérien d'une part et sur les performances avion (correction par perf factor, idle factor) qui étant évolutives par nature sont suivies par la compagnie, d'autre part.

L'opération de chargement des données dure de 5mn à 20mn .

► Une zone réservée aux données chargées par le pilote à l'aide du **CDU** afin de pouvoir compléter la base de données entre deux remises à jour, Celle-ci Permet de mémoriser des données de navigation telles que : Nouveaux Naviads et Waypoints (en général 20 de chaque au maximum localisés n'importe où dans le monde).

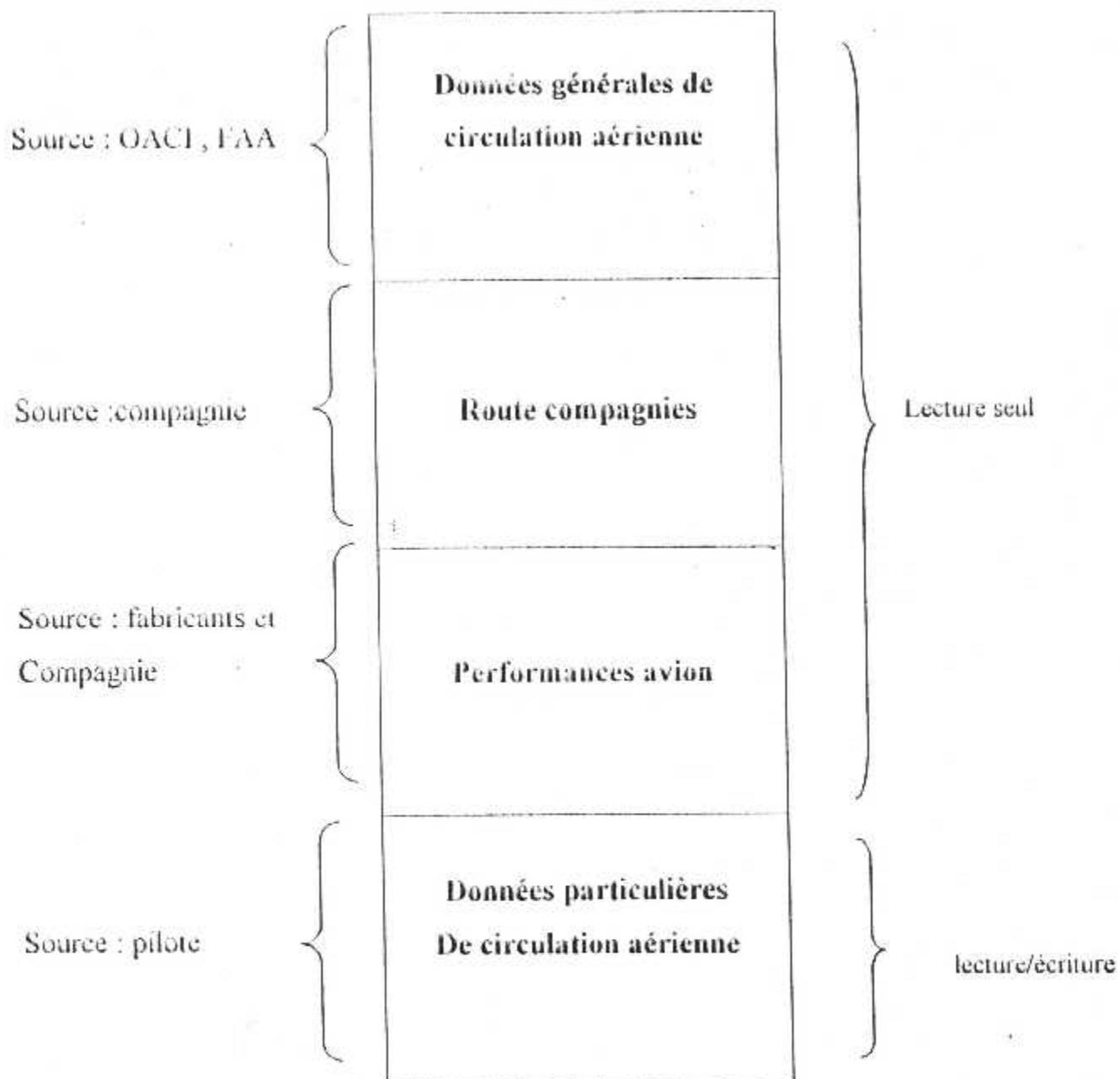


fig.(II.3) Contenu de la Base de données d'un FMS

b) Informations fournies (Sorties) :

Diverses fonctions sont visualisables sur l'écran du CDU sous la forme de « pages » dont l'apparition est commandée à partir du clavier et qui concernent :

► La gestion « verticale » :

Points de fin de montée ou de début de descente en temps, distance, consommation.

► La gestion « horizontale » :

- Position instantanée P.
- Temps, distance, consommation, jusqu'à ou depuis un point de report (Way Point) du plan de vol ou un niveau point inséré « en route ».
- Écran /route programmée \Rightarrow XTK.
- Utilisation d'une route // route programmée (offset).
- Utilisation d'hippodromes d'attente (holding patterns).
- Temps, distance, consommation prise en compte d'un déroutement ou dégagement (alternat).
- Les paramètres de décollage, de vol et d'atterrissage (vitesses économiques, niveaux optimaux, vitesses caractéristiques).
- Les données de navigation mémorisées.

La position P est déterminée par le FMC :

En survol océanique ou désertique, à partir de l'information issue des centrales IRS ou INS, le FMS calcul une position dite « mix IRS ». en portée d'une station VOR/DME, par « recalage » de l'information IRS ou INS sur l'information DME (la position géographique de la station étant connue)

En survol continental où la densité de stations est importante, par « recalage » de l'information IRS ou INS ou 2 informations DME (les positions géographiques des stations étant connues).

En hybridant l'information IRS à partir d'un récepteur GPS pour les avions les plus récents.

Il convient encore de savoir :

Que recalage volontaire de P par le PH est toujours possible « en route » insérant dans le CDU une position déterminée à l'aide d'une information QDM / VOR + distance DME par exemple.

Que 2 vols successifs ne sont pas considérés par le FMS comme dépendants \Rightarrow si P indiquée à l'arrivée à l'escale \neq P insérée par le PH pour le départ de l'étape suivante, seul un message d'alerte sera visualisé par le CDU.

lorsque l'avion est aligné sur la piste pour décoller, le système se recalcule sur la position de seuil mémorisé en Data Base. P est alors comparée par le FMC avec P réelle \Rightarrow l'écart éventuel est pris en compte pour la détermination des P futures (erreur à l'origine ou biais).

Différents messages destinés à l'information de l'équipage ou lui proposant d'effectuer une action déterminée sont susceptibles d'apparaître sur l'écran du CDU.

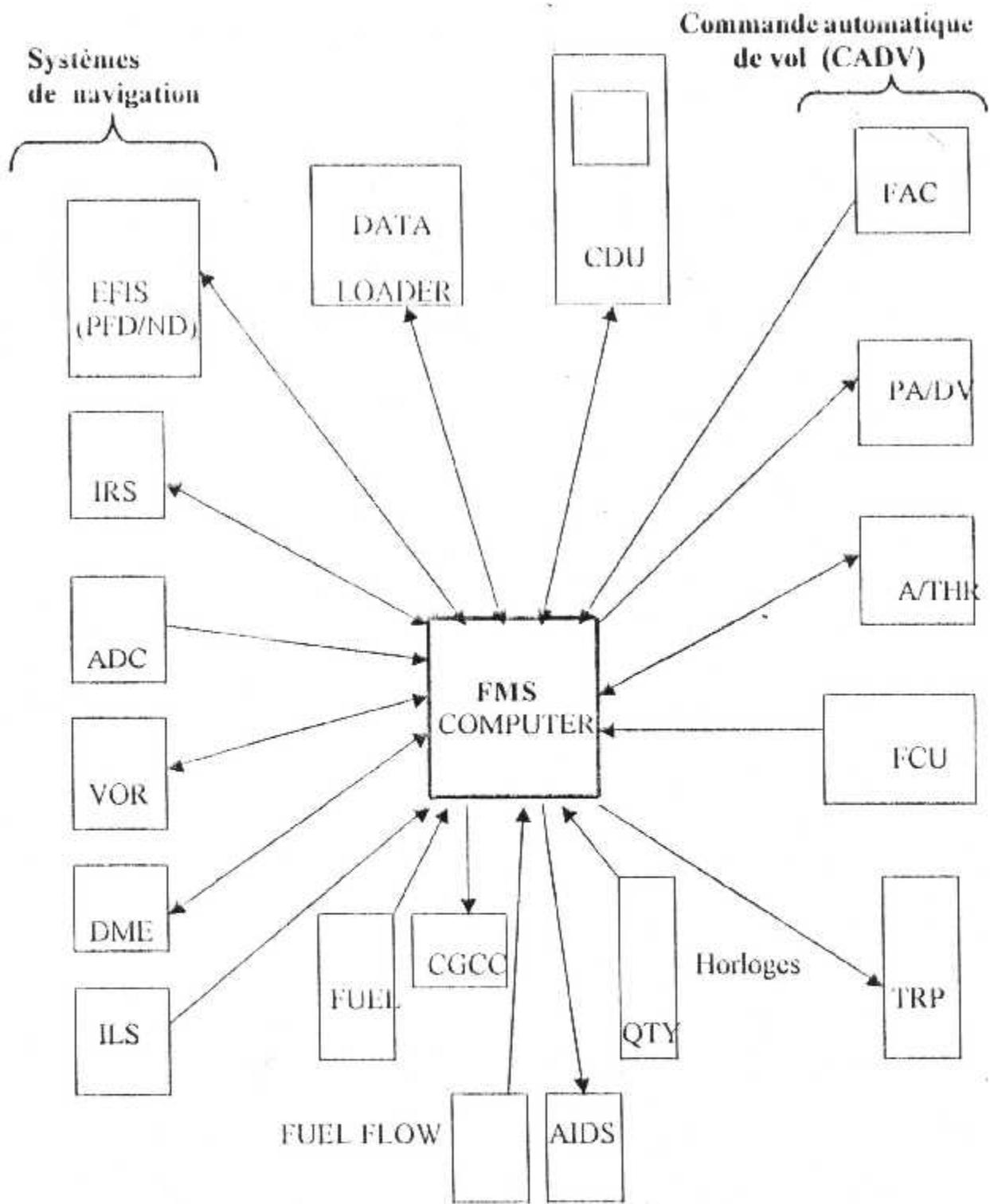


fig (11.3) couplage du FMS avec d'autres systèmes

II.6. Conclusion :

Le flight management system FMS est donc devenu est un outil précieux et même indispensable pour ceux qui l'utilisent régulièrement . Il permet par ses nombreuses possibilités, de gérer plus facilement les des avions de plus en plus complexes . Son utilisation doit être rigoureuse afin qu'il ne devienne pas une source de danger potentiel.

En phase d'approche, l'utilisation du FMS doit être prohibée – ou réduite au minimum- afin de privilégier la trajectoire (recoupement de la trajectoire par les instruments de navigation classiques) et l'observation de l'environnement (prévention de l'abordage).

D'autre part, la programmation de vol dans le FMS peut introduire des erreurs latentes, parfois difficilement décelables. Un élément erroné rentré dans le FMS donnera des résultats erronés ! c'est pourquoi il est nécessaire pour le pilote de conserver un esprit critique à l'égard du FMS et d'avoir toujours à l'esprit l'ordre de grandeur des paramètres calculés .

Chaque paramètre inséré dans le FMS par l'un ou l'autre des deux pilotes doit être clairement annoncé afin que les deux membres d'équipage restent dans «la boucle» et puissent œuvrer vers le même objectif (gestion des ressources de l'équipage). Ainsi en respectant ces précautions élémentaires, le pilote peut, par le biais du FMS prendre du recul et anticiper afin de pouvoir atteindre son objectif en toute sécurité.

CHAPITRE III

*FONCTIONNEMENT DU PILOTE
AUTOMATIQUE*

III.1- BUT :

On appelle pilotage l'ensemble des actions sur les gouvernes et les moteurs qui conduisent à fixer la direction et l'intensité de la résultante des forces, et moments aérodynamiques et de la traction.

Piloter un avion consiste donc à commander les mouvements de celui-ci autour de son centre de gravité, et le guidage est l'ensemble des actions de pilotage qui conduisent l'avion à parcourir une trajectoire donnée.

Donc, le rôle ou le but du pilotage automatique est de commander à la place du pilote humain le déplacement des gouvernes et de l'arrivée du carburant dans les moteurs de façon à remplir les fonctions de pilote et de guidage de l'avion.

Ainsi, pendant la croisière, le pilote automatique remplacera le pilote humain dans la réalisation de tâches monotones (maintien de l'assiette longitudinale, du cap, de l'altitude...), et même pour effectuer les manœuvres (d'approches et d'atterrissage).

Le pilote humain surveille le pilote automatique, en fixant les modes d'opération et les paramètres de consigne à suivre, par exemple

Exemple : figure 3.1

Entrée : variation du braquage de la profondeur δ_c

Sorties : variation de

{	θ : assiette longitudinale
	q : vitesse de tangage
	v_z : vitesse verticale
	α : incidence
	γ : pente

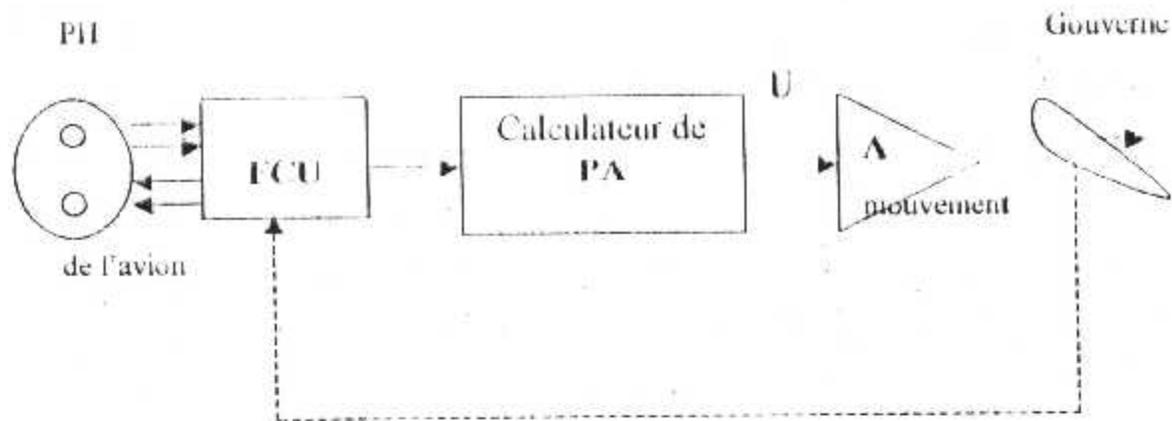


fig.(III.1) Boucle de supervision Pilote Humain / Pilote Automatique

PH : pilote humain

FCU : flight control unit, boîtier de commande du PA

U : commande

A : amplificateur

III.2. Les fonctions de pilote automatique :

les fonctions principales de pilote automatique sont :

- Stabilisation autour du centre de gravité.
- Maintient (guidage) sur une trajectoire .
- Poursuite d'une nouvelle trajectoire .
- Réalisation de l'atterrissage .

On distingue deux (02) modes importants :

III.2.1 mode longitudinal :

Dans ce mode on a deux modes importants :

- modes de base
- modes supérieurs

a) modes de base : ce sont les modes qui assurent la commande de l'avion quand le pilote automatique

► **mode maintien d'assiette longitudinale :** c'est un mode de base utilisé sur les avions équipés de chaînes de commandes de vol classique, il est compatible avec le pilotage transparent.

Pour chaque des point du domaine de vol et pour chaque configuration d'avion et chaque valeur de vol consigne de l'assiette longitudinale θ_c correspond un braquage différent de l'ensemble PHR (plan horizontal réglable) + gouverne de profondeur. 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 embarquement du calcul des modes supérieurs et à limiter le facteur de charge normal (retrace l'intensité des variations de mouvement de l'avion).

Le braquage de profondeur est calculé par le pilote automatique :

Représenter sur la figure 3.4

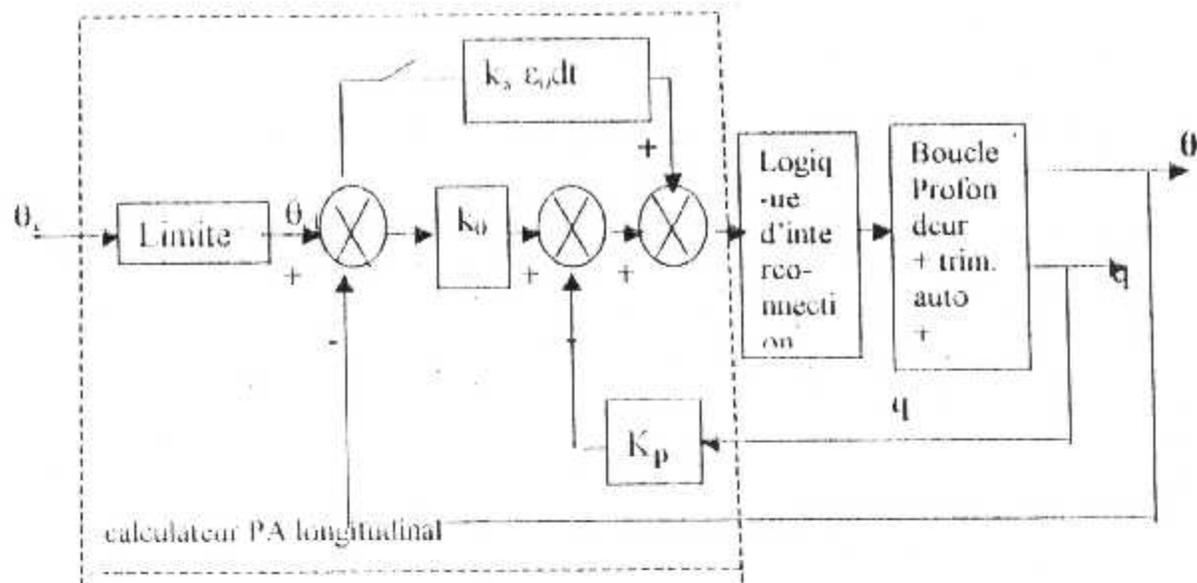


fig (III.2) Boucle de maintien d'assiette longitudinale

D'après cette boucle d'asservissement

$$\delta_c = \underbrace{k_u(\theta_{cl} - \theta)}_1 - \underbrace{k_q \cdot q}_2 + \underbrace{k_s(\theta_{cl} - \theta)}_3$$

$$(k_u, k_q, k_s) > 0$$

k_u, k_q, k_s : des gains

θ_c : assiette longitudinale de consigne

θ_{cl} : assiette longitudinale limitée

θ : assiette longitudinale actuelle

q : vitesse de tangage

1 terme proportionnel à l'écart

2 terme stabilisateur

3 terme améliorant la précision

- la limitation en profondeur $+25^\circ$ et -10°

► mode maintien de vitesse verticale :

Il permet de maintenir de la vitesse verticale a 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 est elle-même pas très précise (le variomètre en pilotage manuel est un instrument secondaire de pilotage).

On a donc le schéma fonctionnel simplifié :

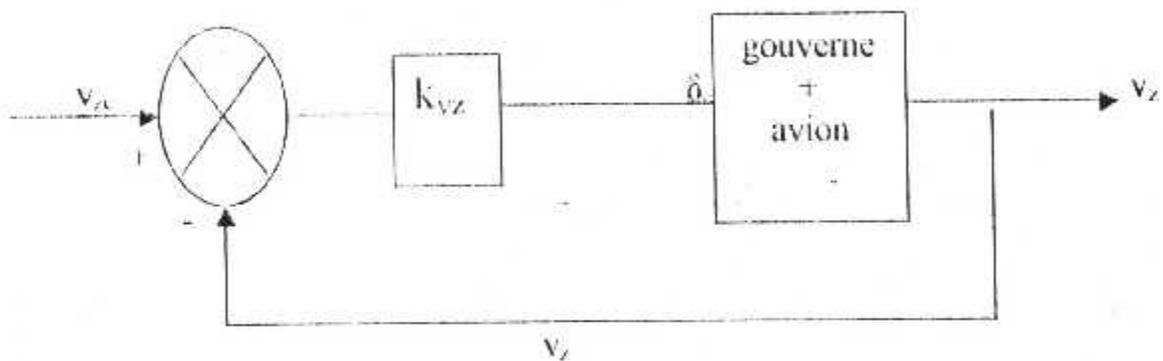


fig.(III.3) Boucle de maintien la vitesse vert

La commande est donnée par :

$$\delta_c = k_{vz}(v_{z_c} - v_z)$$

k_{vz} : gain fixé en fonction du mach et FL.

v_{z_c} : vitesse de consigne

v_z : vitesse verticale actuelle

b) modes supérieur :

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

On distingue en général trois phases pour ces modes :

L'armement du mode, la capture de la valeur de consigne et son maintien.

► **mode maintien de l'altitude :** l'information d'altitude permet non seulement d'adopter un niveau de économique, d'éviter le relief mais aussi de séparer verticalement les avions circulant dans l'espace aérien. En pratique, l'altitude est maintenue pendant toute la croisière.

On peut aussi sélectionner ces modes supérieurs au boîtier de commande du FMS (CDU, control display unit) avec une présentation spécifique appelée « PAGE ».

III.2.2) mode lateral :

Dans ce mode aussi il y a :

- modes de base
- modes supérieurs

a) modes de base :

Comporte comme des modes :

► **mode maintien de l'assiette latérale :** Ce mode de base est similaire au mode maintien d'assiette longitudinale. L'assiette latérale δ est mesurée ici aussi par un instrument inertiel (centrale de verticale), la vitesse de roulis P est considérée représentative de la tendance de l'assiette ($P=d\delta/dt$).

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

a) modes supérieurs :

► **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 « WAY POINT » (point de report géographique, navais, aéroports, pistes ...). Elle est introduit par le copilote à l'intermédiaire d'équipage dans le calculateur de navigation ou sélectionnée à l'aide du calculateur de gestion de vol (FMC, flight management computer).

Dans la navigation moyenne courrier on trouve comme un mode secondaire le mode VOR pour maintien de route magnétique par des balises radio (Radiocompas et VOR ou le système militaire TACAN). Ou cette route est composée de segments rectilignes.

D'où le schéma fonctionnel simplifié :

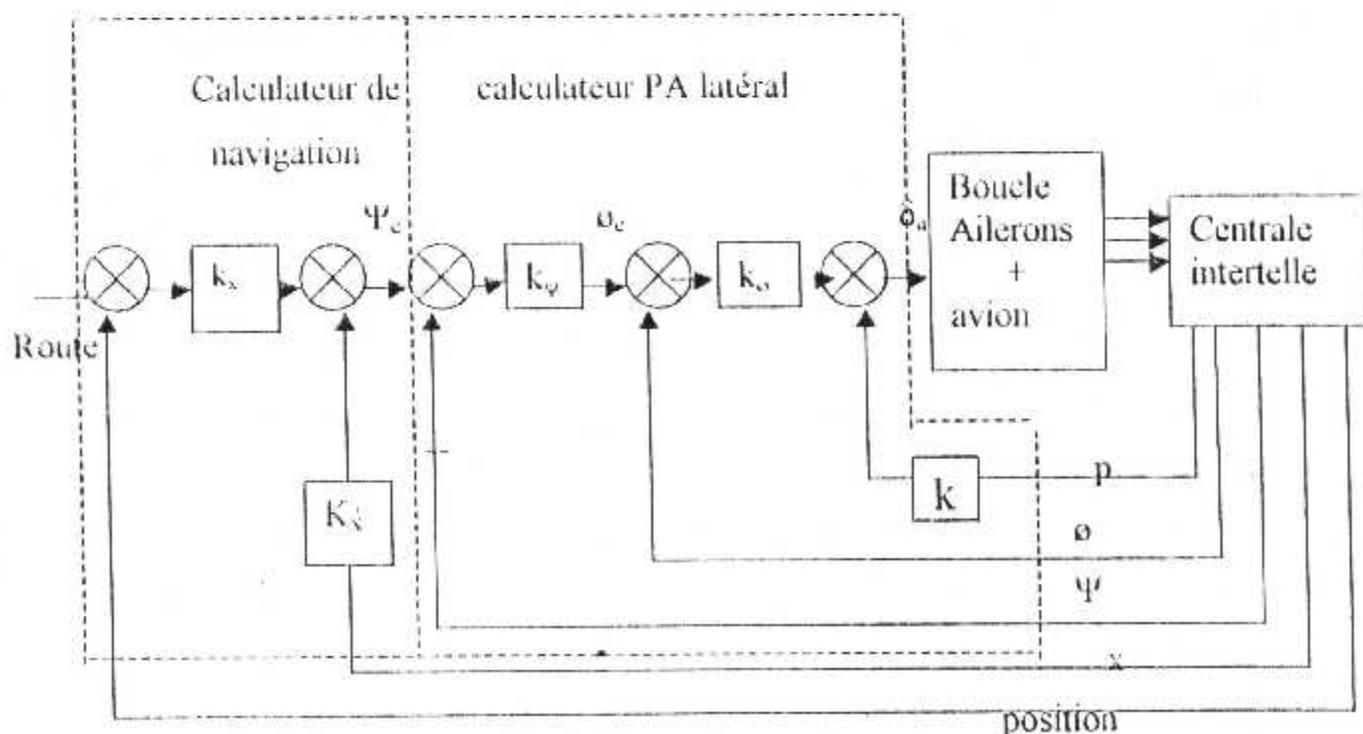


fig.(III.5) boucle de commande de rejointe la route

On a donc la loi de commande en phase de rejointe de la route de la route sélectionnée :

$$\delta_a = k_a(\alpha_c - \alpha) - k_p \cdot p \quad \text{avec } \alpha_c = k\theta(\Psi_c - \Psi)$$

Ψ : angle d'interception

* cette loi inclut aussi des limitations telles que :

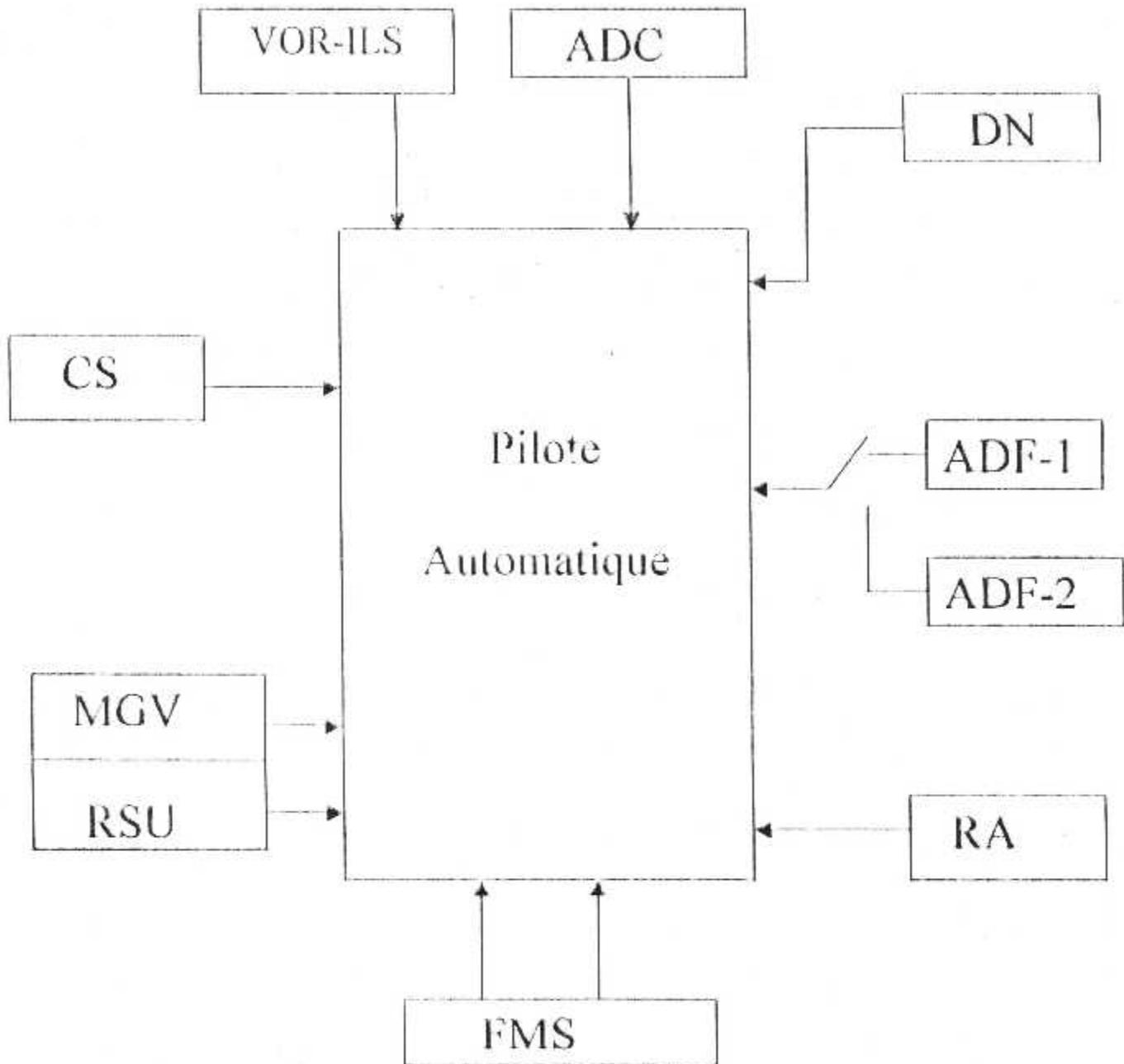
$$\Psi_c - \Psi \leq 60^\circ$$

III.2.3). atterrissage automatique :

Actuellement la plupart des avions de transports sont munis d'un système d'atterrissage automatique qui permet de résoudre le problème de l'atterrissage avec un minimum de visibilité en fonction de deux paramètres (DH la hauteur de décision et RVR la portée visuelle de la piste).

Le fonctionnement des systèmes d'atterrissage automatique est basé sur l'ILS (Instrument Landing System) qui permettent de définir une trajectoire d'approche de la piste, il est constitué des éléments suivants :

- LOC, faisceau localizer
- Faisceau glide
- MARKER, marqueur



Couplage du système de PA avec d'autre système

CS :compasse système

MGV :Master Gyro Vertical

RSU :Ready Signal Unit

RA:Radio Altimètre

DN : Doppler Navigation

III.3 CONCLUSION :

L'étude sur le pilotage automatique à permet de bien comprendre son fonctionnement avec les différents modes (modes de base , modes supérieures) 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 fournit par le FMC à l'aide de CDU vers les calculateurs de pilote automatique, ce dernier son rôle assurer l'exécution par l'intermédiaire des servo-commandes.

CHAPITRE IV

RELATION

PILOTE AUTOMATIQUE / F M S

IV.1 L'ECHANGEMENT DES INFORMATION :

Le boîtier de commande du pilote automatique « FCU » permet par sélection des modes supérieurs 'managés' (mode NAV ,mode PROFILE)

D'imposer au PA des valeur de consigne calculées et validées par le système de gestion de vol. Ainsi réalise le couplage du FMS avec la CADV, c'est à dire de la fonction de choix d'une trajectoire avec la fonction guidage de long de cette trajectoire.

Aussi que le FMS fournit des signaux de guidage, qui peuvent être utilisées Par le calculateur PA/DV (la tenir de niveau de croisière par exemple).

IV.2 SUPERVISION DU PILOTE AUTOMATIQUE AVEC LE FMS :

Cette fonction développée par le FMS au cours du vol.

Les modes FMS (NAV en latéral, PROFILE en vertical) étant armés au FCU, ceux-ci s'engagent automatiquement au passage des 30 pieds (latéral) et à l'altitude de réduction de poussée (vertical), et le mode vertical qui doit être dégagé manuellement avant la capture du plan de descente de l'ILS. Pendant la phase d'engagement de ces modes FMS , c'est le calculateur de gestion de vol qui élabore les valeurs de consigne (vitesse /Mach , niveau de vol et le cap...) pour le pilote automatique et ceci en principe de façon beaucoup plus efficace que ne pouvait le faire un pilote , d'autant plus que ces consignes ont un caractère évolutif. Le pilote peut pour ce mode fonctionnement suivre au FCU et sur les EFIS les valeurs de consigne calculées par le FMS et vérifier la position commandée sur le PFD.

IV.2.1 Mode navigation latérale (NAV) :

Ce mode permet de coupler l'FMS au PA /DV pour assurer la navigation horizontale.

a) Engagement du mode NAV :

S'engage par une par une action sur le bouton NAV du FCU.

- Le FMS correspondant soit opérant pendant la phase armée (NAV bleu sur les PFD).
- La phase active est engagée (NAV Vert sur les PFD).

Dans ce mode le plan de vol FMS et la position de l'avion par rapport à ce plan de vol sont indiqués sur l'écran ND.

b) Dégagement de mode NAV :

- En appuyant une seconde fois sur le bouton NAV du FCU ou le mode gauche/assiette actif reste engagé.
- Par l'armement de l'un des modes (VOR , LOC, LAND).

IV.2.2. Mode navigation verticale (PROFILE) :

Le mode PROFILE permet aussi de coupler l'FMS pour assurer la navigation verticale au PA/DV et de contrôle de la poussée.

a) Engagement de mode PROFILE :

L'engagement par une action sur le bouton PROFILE du FCU.

Le FMC soit opérant, armement pour la montée (en bleu PCLB) et pour l'engagement (en vol PCLB) Dans l'engagement de la descente (PDES Vert).

Lorsque le mode PROFILE est actif en maintien d'altitude (PALT vert) sur le FCU et l'affichage du niveau désiré dans la fenêtre ALT SEL.

b) Dégagement du mode PROFILE :

- En appuyant sur le bouton PROFILE. Dans ce cas le PA retourne au mode base V/S pour la phase engagée.
- Un défaut détecté dans un calculateur FMC pendant la phase armée provoque le dégagement du mode PROFILE uniquement sur le PA/DV concerné (PCLB s'éteint), l'autre coté reste opérant.
- Et pendant la phase engagée provoque le dégagement du PA/DV concerné, l'inscription SPD SEL en rouge apparaît sur le PFD.

VI.3. COMPOSITION DE PLAN DE VOL :

Le système de gestion de vol est utilisé en toute les phases de l'opération de l'avion : Pré vol, décollage, montée, croisière, descente, approche et atterrissage, remise des gaz. (fig. IV.1)

VI.3.1. La phase pré vol :

Dans cette phase, le FMS assure les fonctions :

a) L'alignement des IRS :

Les IRS s'alignent automatiquement sur les coordonnées de l'aéroport extraites de la base de données du FMS. Les coordonnées de la position parking peuvent être insérées manuellement au CDU.

Cette dure environ 10 minutes.

b) Définition du plan de vol : (fig.4.1)

Le pilote, via le CDU, peut définir un plan de vol par extraction de la base de données du FMS d'une plan de vol préexistant qui pourra être modifier sur le CDU pour tenir compte de contraintes dues :

- Au contrôle du trafic aérien.

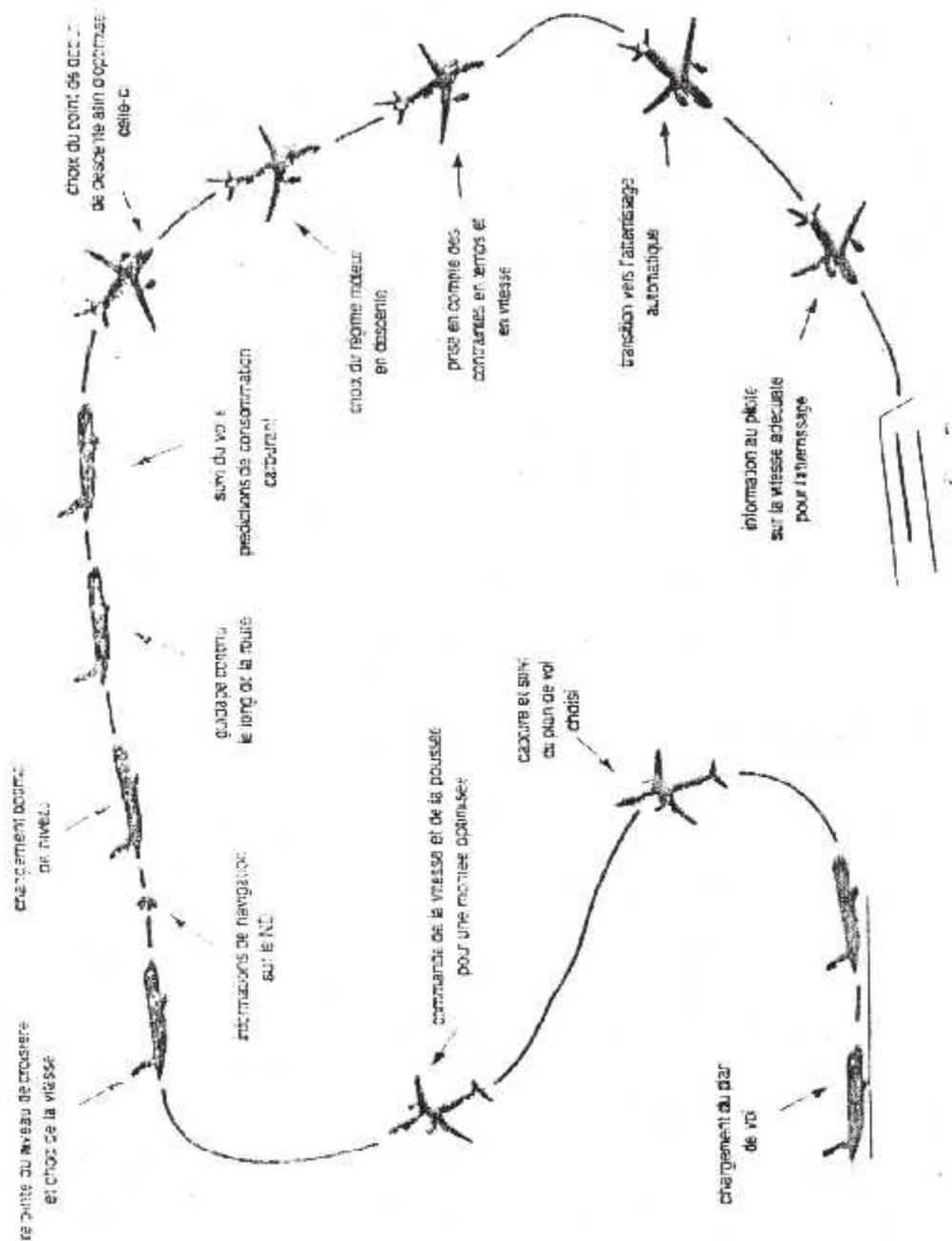


fig.(IV.1) La poursuite du plan de vol avec le FMS

- Aux conditions atmosphériques (prévision de vent et température par exemple)

Le plan de vol pourra aussi être chargé point par point (en fait segment par segment. Un second plan de vol (le plan de vol «secondaire») peut être défini de la même façon afin de :

- Préparer la prochaine étape (cas du vol circulaire et de l'escale technique).
- préparation d'une seconde procédure de départ avant décollage (dans le cas d'opérations aéroportuaires perturbées).

Le plan de vol se compose d'un plan de vol latéral et de plan de vol vertical.

Le plan de vol latéral :

Comprend les données suivantes :

Au départ : piste décollage, SID, transition en route, heure estimée de départ.

En route : point de report de la route.

A l'arrivée : point de début de descente, STAR, procédure d'approche et piste

D'atterrissage, remise des gaz, heure estimée d'arrivée.

Le plan de vol verticale :

Comprend des données permettant de définir le profil vertical (en cas /Mach et FL) pour toutes les phases de vol.

IV-4.Exemple de plan de vol :

Le plan de vol est suivi au cours des 04 phases principaux d'opération de l'avion :

A) Phase prévol :

1^{ère} étape : chargement de DATA BASE (sur une période de 28 jours)

2^{ème} étape : appelle de la page A/C STATUS celle-ci fournit les informations :

- version et type d'appareil **UNS- 1**
- validité de la DATA BASE
- code du programme **01**
- les paramètres de moteurs et carburant

3^{ème} étape : appuie sur REF pour :

- assurer du bon fonctionnement du FMC qui permet de faire différents tests
- assurer la validité des capteurs, et vérification de AIDS (enregistreur de données de vol)

4^{ème} étape : initialisation du système, appuie sur INIT. Il doit introduire

- l'aéroport de départ **DAAG** (Houari Boumediene)
- l'aéroport de destination **DAUH**
- numéro de compagnie route **ALN, BNA,BSA,MAHDI**
- l'aéroport de dégagement **DAUG**
- le niveau de croisière **FL 290**
- le rapport de coût
- l'information d'alignement des IRS

5^{ème} étape : le pilote rentre des combinaisons FUEL PLANING. Par exemple la combinaison TOGW (masse au décollage)

6^{ème} étape : le pilote appuie sur MODE la page qui apparaît présente trois modes :

- économique ■
- minimum fuel
- minimum time

le choix de l'un de ces modes sera valable pour toute la durée de vol.

Il y a aussi un autre mode « speed » utilisée seulement dans la croisière.

7^{ème} étape : le pilote appuie sur F-PLN

cette page fournit des éléments de navigation sur les deux plans (plan vertical, plan horizontal).

Dans cette étape l'élaboration des waypoints définis par :

- altitude de réduction
- altitude d'accélération
- limitation de vitesse
- point d'interception de niveau de vol
- point d'interception d'une altitude sélectionnée
- point de fin de montée
- point optimal (step descent)
- point de fin de croisière
- point d'interception d'une trajectoire prédéfinie
- offset wpt : des waypoints d'une route parallèle avec les points de la route originale restes affichés durant l'offset

8^{ème} étape : le premier wpt que lit le pilote est l'aérodrome de départ .

Cette permet d'avoir des informations :

- les airways passant par ce wpt
- autres procédures (attente de virage...)

9^{ème} étape : appuie sur LS, qui lui donne les points de sorties de l'aéroport et le choix de cap magnétique de piste QFU

10^{ème} étape : le pilote re-appuie sur la touche F-PLN, le plan de vol est actualisé, la piste en service. Puis appuie sur NEXT PAGE d'autres informations de distance en waypoint, température statique et prévus.

Le pilote peut faire dérouler le plan de vol.

11^{ème} étape : on peut effectuer une version verticale du plan de vol au waypoint considéré. Pour cela il appuie sur LS avec un choix de lignes VER-REV, cette page permet d'insérer une contrainte (d'altitude, de vitesse et temps) et d'affecter une route parallèle « TRACK OFFSET »

12^{ème} étape : le pilote appuie sur REF il peut prendre connaissance des aides à la radionavigation (VOR, DME, ...).

B) Phase avant décollage :

13^{ème} étape : le pilote appuie sur la touche TO/APPR .

Il peut insérer les vitesses de décollage (V_1 , V_R , V_2 , V_{flap} ...).

La CDU lui rappelle la piste en service, les altitudes de réduction.

C) Phase croisière :

14^{ème} étape : suivie du vol .

le pilote appuie sur la touche PROG qui comprend 2 page. Le système lui fournit des informations sur le LEG en cours (portion de route ou se trouve l'avion)

Il définit :

- le numéro du vol
- le way point dev provenance
- les 2 way point suivant
- le mode actif (économique
- les estimés entre entre way point pour le mode considéré
- la quantité de carburant a bord la masse de l'avion le niveau optimal
- le niveau maximal
- le mode navigation (radio-inertie) , altitude ,longitude instantanée

15^{ème} étape : le pilote veut changer de mode en cours de vol :

Il appuie sur la touche TACTICAL MODE.

La page max HOLD TIME apparaît et le mode actif apparaît en gros caractères.

S'il change de niveau, il peut avoir des prévision en appuyant sur la LS en regard de ALTINTCP (altitude interception).

16^{ème} étape : rentrer le QNH à destination si cela n'a pas été fait au départ par l'intermédiaire de la touche :

PROGRESS et de la page de la Forecast.

D) Phase descente :

17^{ème} étape : descente, approche, le mode en descente est sélectionné par

l'intermédiaire de la touche MODE puis de la LS en regard de DES MODE

- le pilote appuie sur FPLN pendant la descente. Il fait défiler le plan de vol jusqu'au waypoint correspondant à l'aérodrome de descente par exemple DABC (Constantine)

- le pilote appuie sur TO/APPR

Il obtient la page de décollage.

Il appuie sur la LS correspondant à APPR et obtient une page sur

laquelle apparaissent les paramètres nécessaires à l'approche.

IV.4. LE PLAN DE VOL ACTIF ET LE PLAN DE VOL TEMPORAIRE :

A chaque opération de l'avion la révision du plan de vol génère un nouveau plan de vol.(voire fig. IV.2)

IV.4.1. Le plan de vol actif : le plan de vol actif est le plan de vol accepté par le FMC et qui sera ou qui est réalisé.

IV.4.2. Le plan de vol temporaire : toute modification apportée au plan de vol actif même automatique la création d'un plan de vol temporaire ;

Être intégré au plan actif, au moment que l'autre FMC corrige lui-même son plan de vol actif, on y introduisant les modifications apportées.

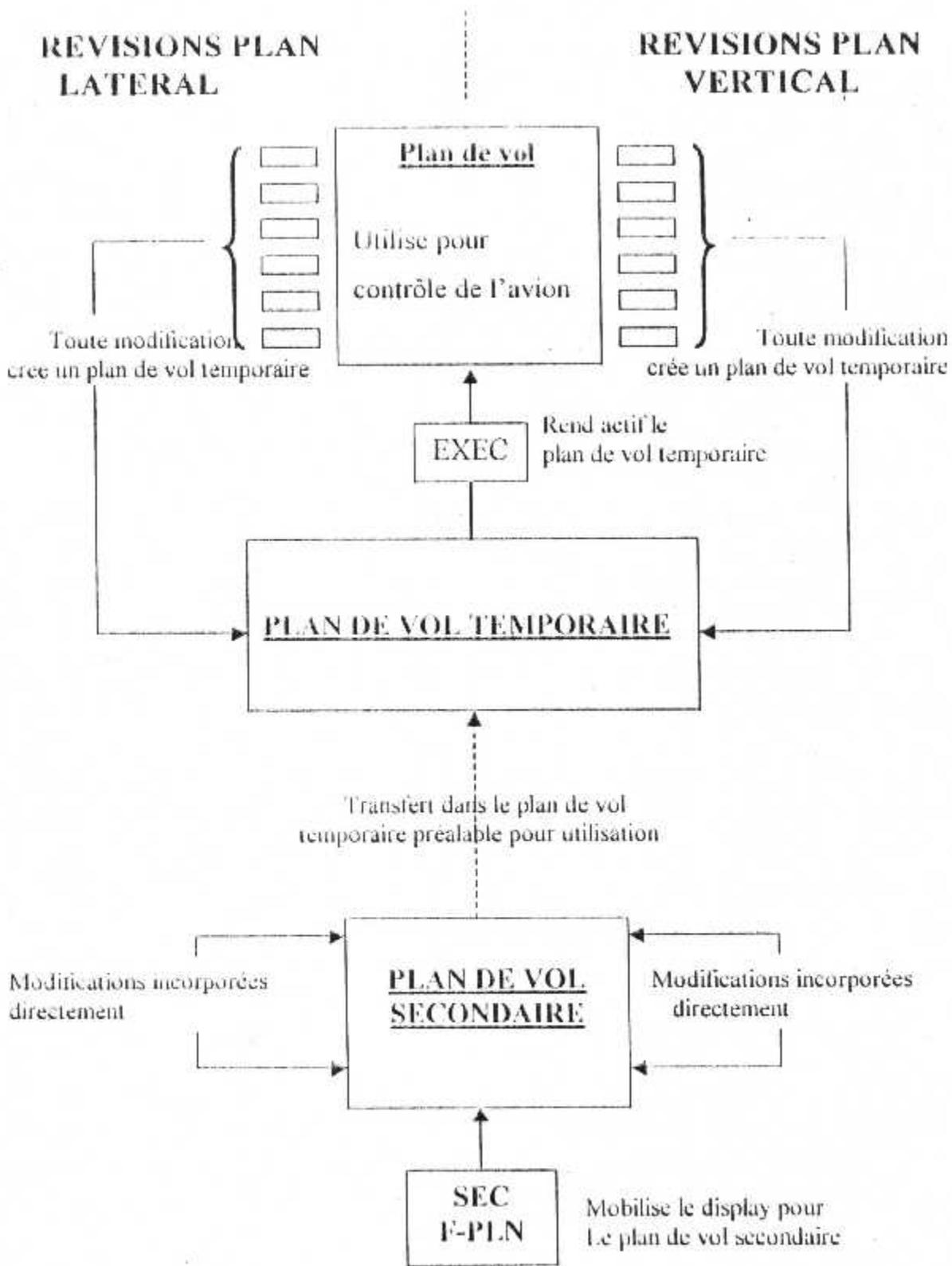


fig.(IV.2) Révisions du plan de vol

CHAPITRE V

*TESTS DE MAINTENANCE ET
ALIMENTATION*

V.1. TEST DE MAINTENANCE SOL FMS :

Le test de maintenance sol du FMS est obtenu par une suite de manipulation faites sur le CDU FMS ; pour avoir accès aux programmes de test, il faut appeler la page MENU INDEX par action sur la touché **PROG** (fig.V.1.1).

Cette page MENU INDEX propose sur la dernière ligne de l'écran la rubrique MAINTENANCE.

Une action sur la touche de ligne maintenance amène le répertoire de test " MAINTENANCE INDEX " .

De cette page maintenance index ,le répertoire propose permet l'accès différent programme de test du système FMS par action sur une touche de ligne

1) Touche MENU INDEX :

Cette page permet :

- -option AUTO TEST
- -option KEY BOARD
- -option DISPLAY
- -option ANNUCIATOROS

V.1) Option AUTO TEST :

Réalise:

- Le test de la RAM (mémoire vive)
- Le test des instructions
- Le check sum programme
- Le test de la décrémentation du programme
- Le test des entrées ARINC
- Les tests des discrets d'entrée

1.2) Option KEY BOARD

Offre la possibilité de vérifier le décodage de toutes les touches du clavier .

1.3) Option DISPLAY :

Présente tous les caractères utilisés sur l'écran

1.4) Option ANNUNCIATORS :

Tests les lampes des annonceur du CDU et de la touche INTER du clavier .

2) Touche FMC TEST:

Déclenche un test automatique du calculateur FMC ,avec codage d'un défaut éventuel détecté .

3) Touche INTER FMC TEST :

Test des bus ARINC entre les deux FMC.

4) Touche FAULT LOG :

Le système met en mémoire les pannes survenues au cours des 64 dernières vols .

La première page donne les pannes survenues au cours du dernier vol ,en langage claire et en hexadécimal

la deuxième page donne en hexadécimal une sélection de 5 vols permis les 64 durant.

Les quels une (ou plusieurs) panne est survenue.

5) Touche MEMORY:

Permet l'accès à une page d'adresses mémoire quelconque pour examen des contenus .

Un bloc d'adresses désirées peut être obtenu en inscrivant sur la ligne de brouillon l'adresse de début de bloc, et en l'insérant sur la ligne de la première touche supérieure gauche

A partir de l'adresse choisie , 5 bloc peuvent être ainsi obtenus en utilisant les touches libellées d'une flèche horizontal.

6) Touche EFIS TEST :

Permet au CDU de générer des données correspondant à des position qui, traitées par l'installation EFIS ,donne une image de test sur l'écran ND.

Le sélecteur de mode de la boîte de commande EFIS doit être sur la position PLAN et le sélecteur d'échelle ,sur 30NM.

Les symboles étoile matérialisent les positions géographiques simulées.

7) TEST CDU :

Une page spéciale de résultat de test peut être obtenue en appuyant simultanément sur les deux touche de gauche et de droite sans inscription du milieu de CDU.

Le résultat d'un test est alors présenté sous forme de deux (2) ligne de 8 digits 0 ou 1 ,la ligne supérieure correspondant au statut actuel .

La ligne inférieure au statut précédent

Tous les digits à 0 correspondant à l'absence de défaut .

Les défauts signalés correspondant à :

1^{er} digit de gauche :

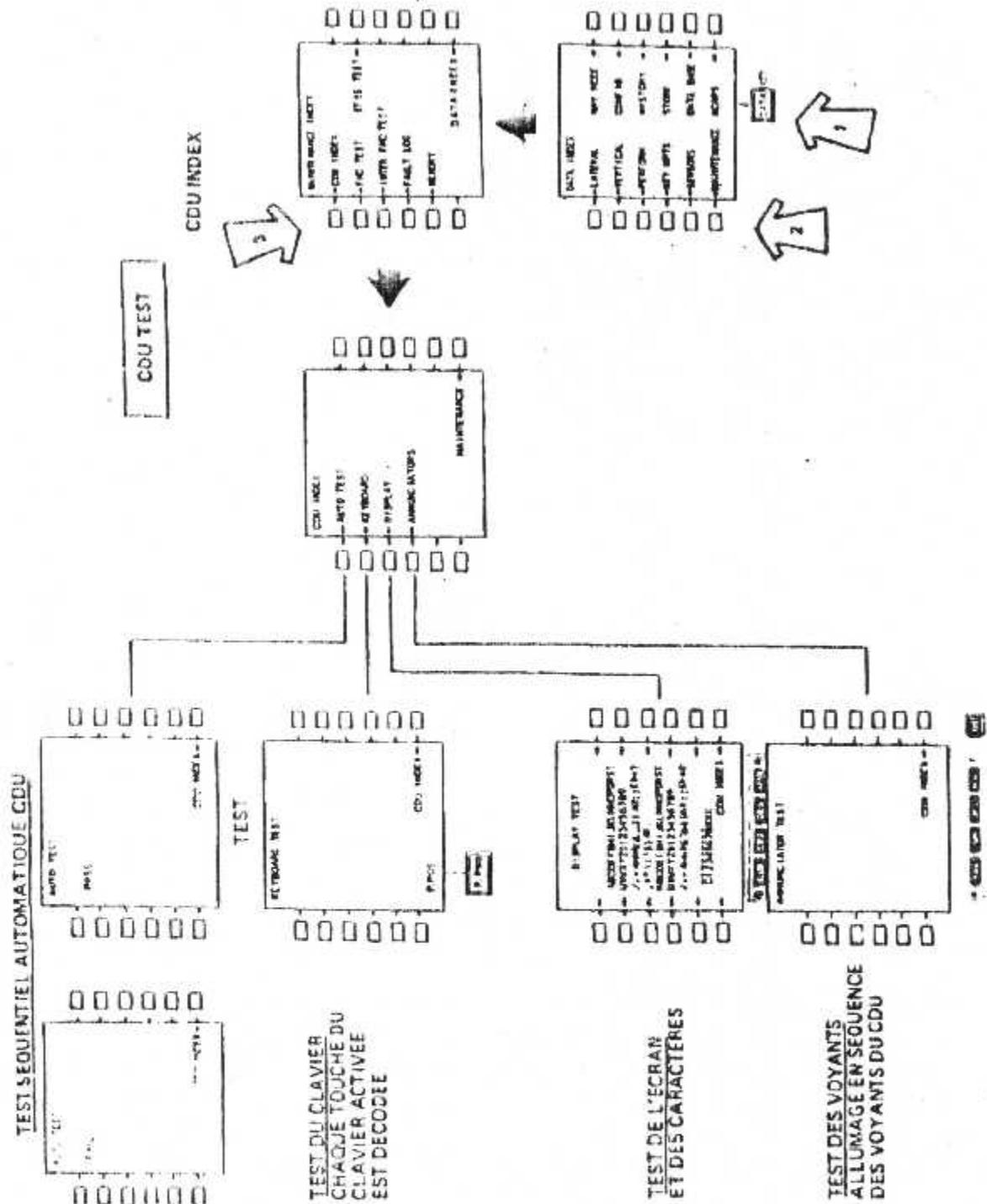
- -Température excessive CDU
- -Déflexion
- -Discret d'entrée
- -Bus ARINC
- -Décrémenter
- -Check sum EPROM
- -Instruction

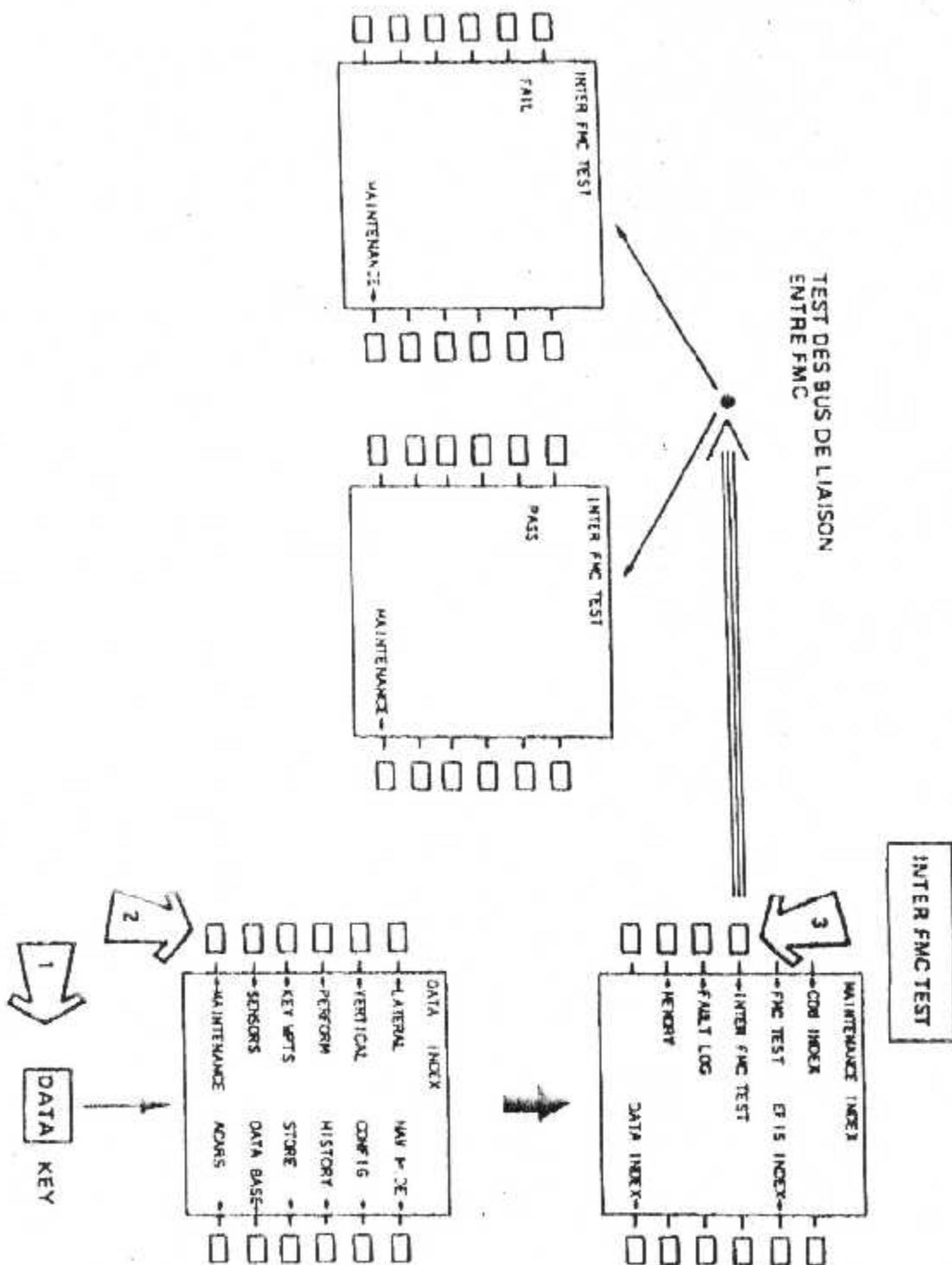
Dernier digit de droite :Test RAM

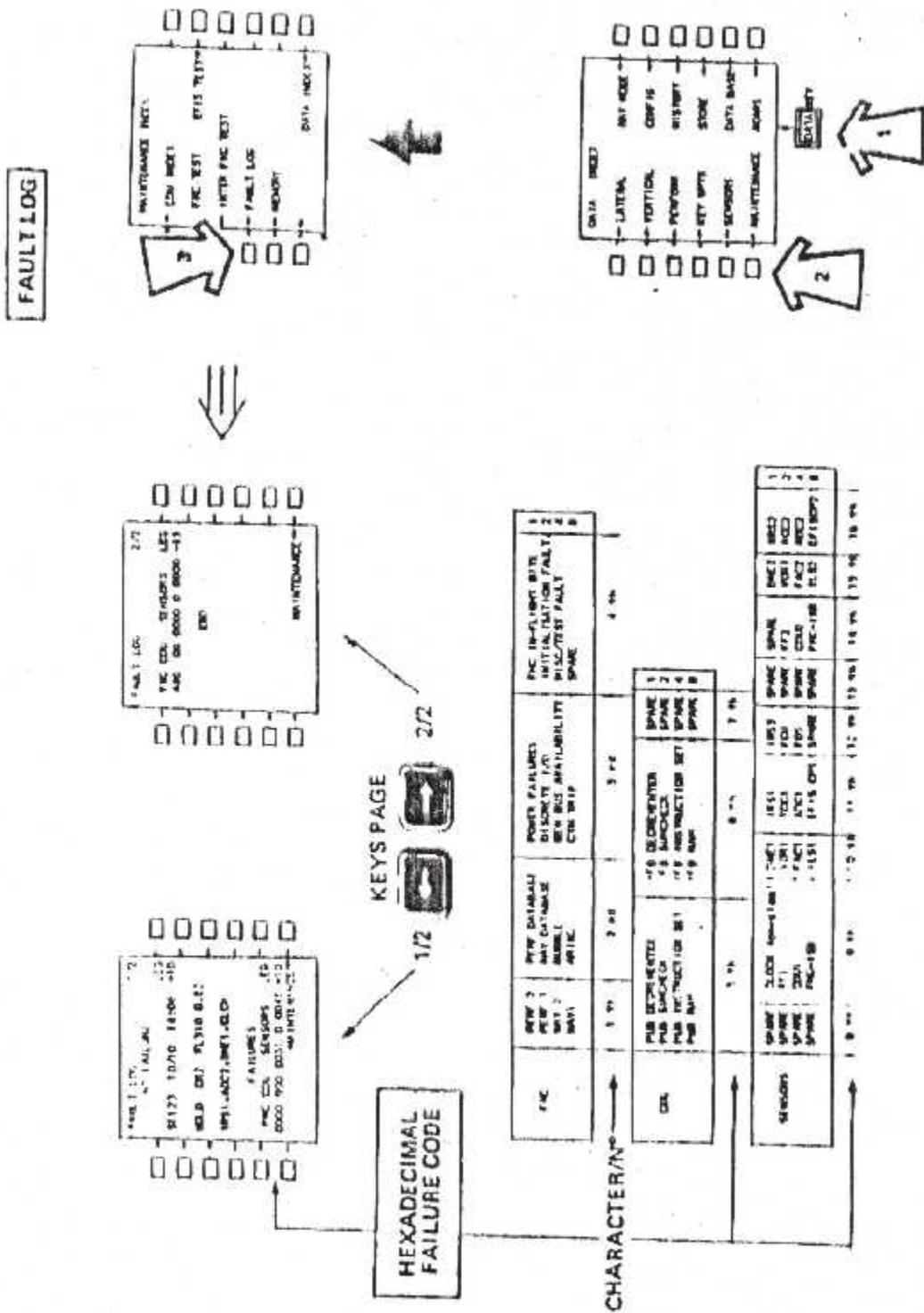
V.2. ALIMENTATION ET PROTECTION :

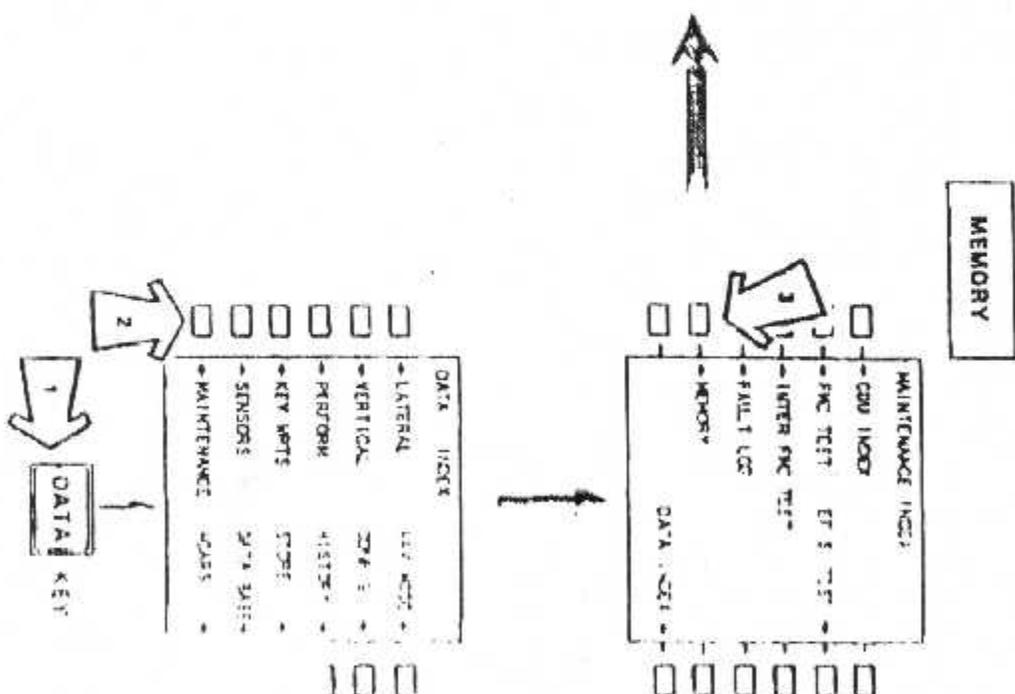
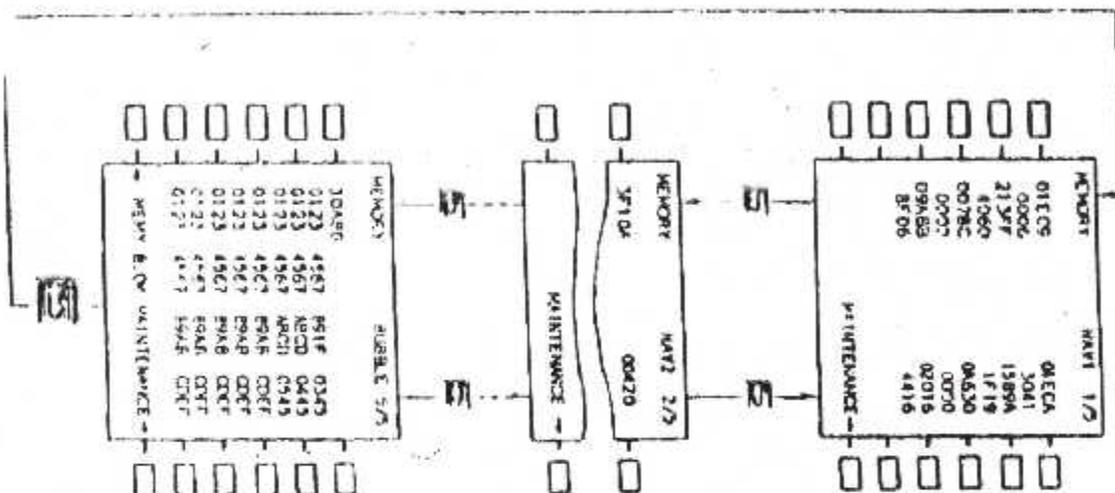
Les alimentation continues et alternatives relatives au CDU et au FMC de même que les protection sont présentées sur les figures (V.1 , V.2).

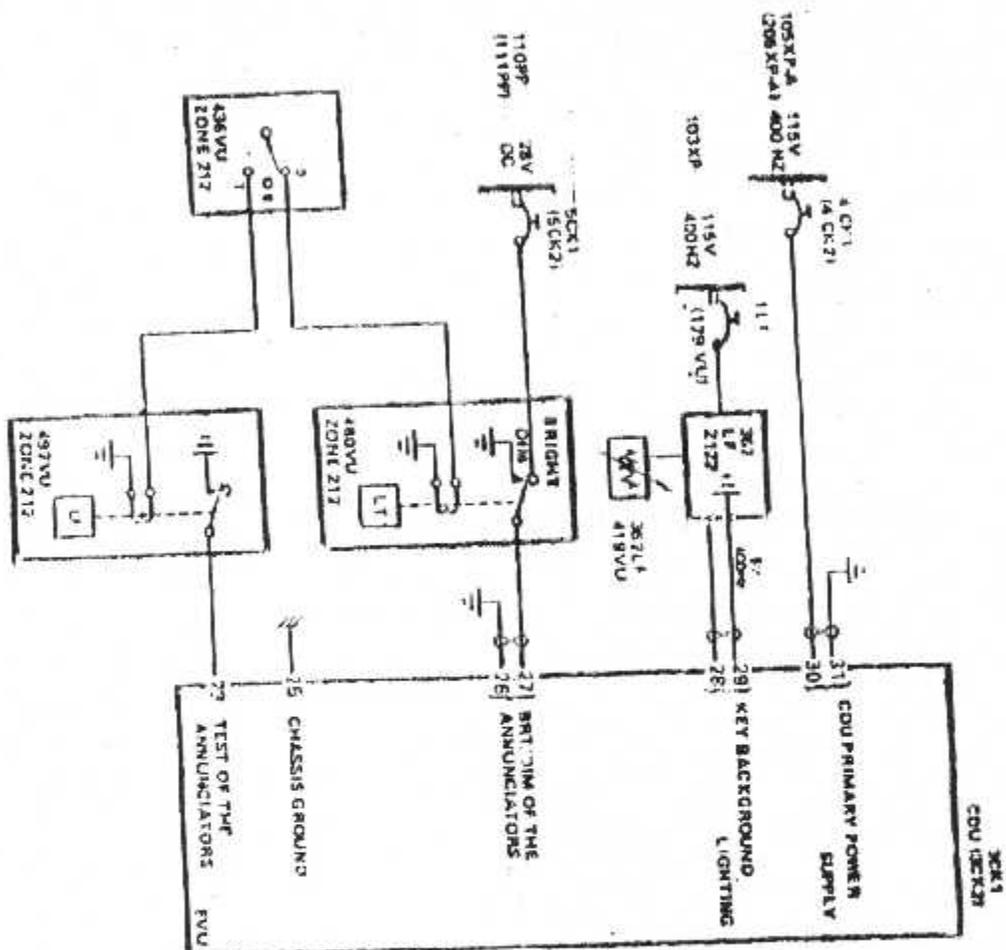
- Tension 115 VA (volts alternatif).
- Fréquence 400 HZ

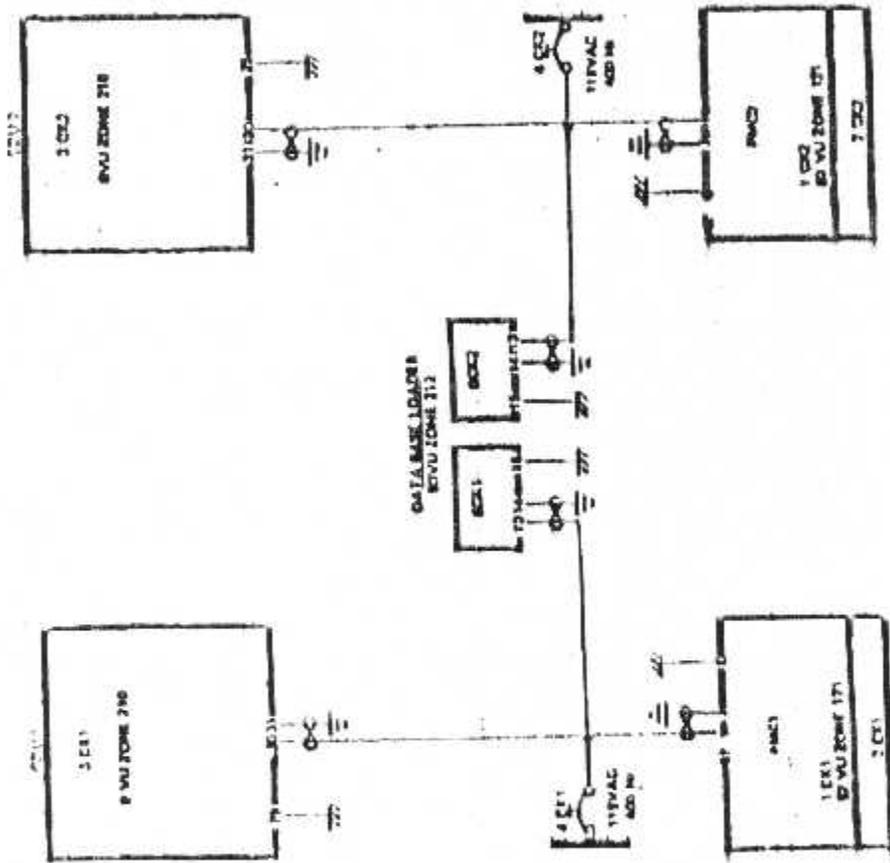




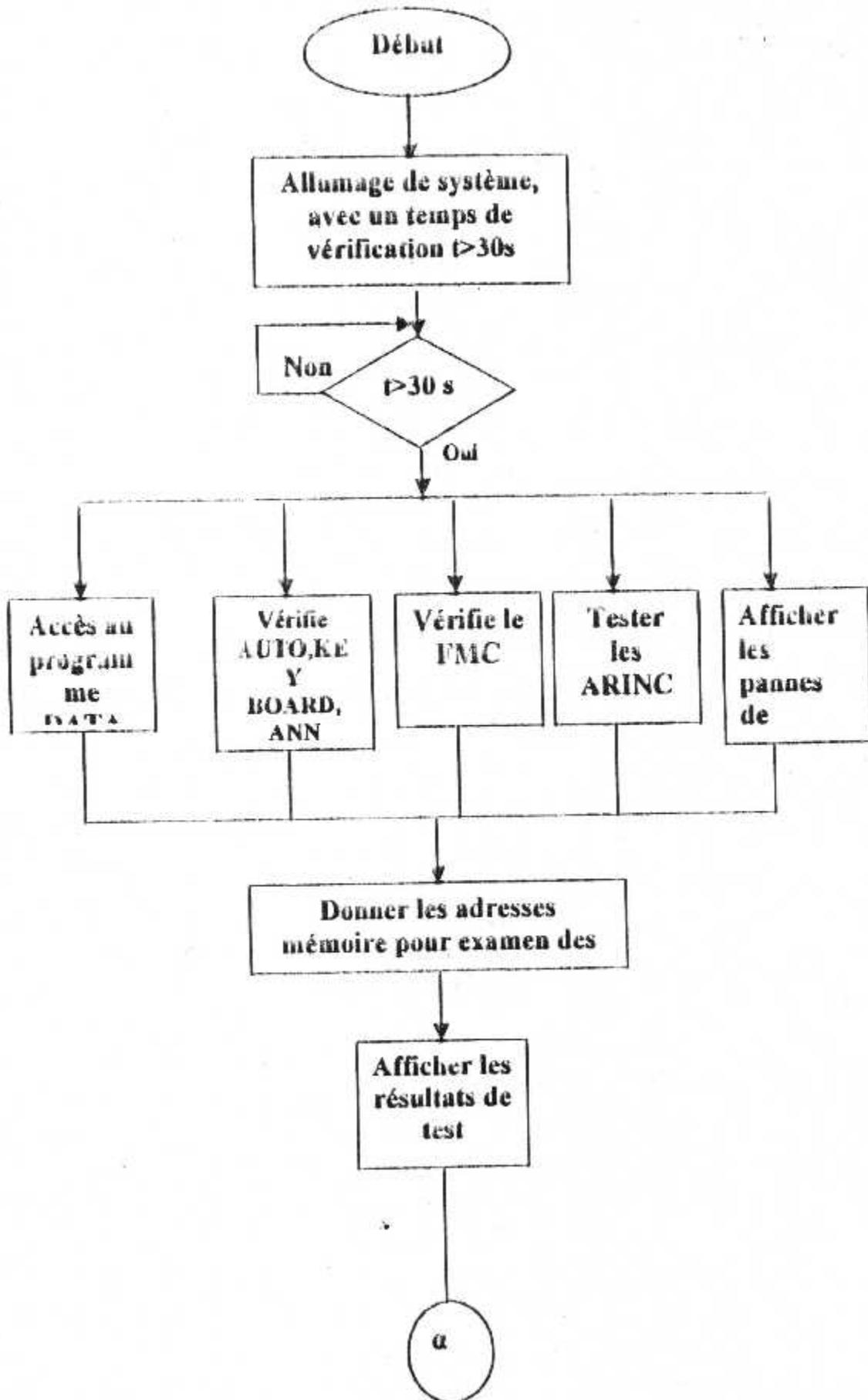


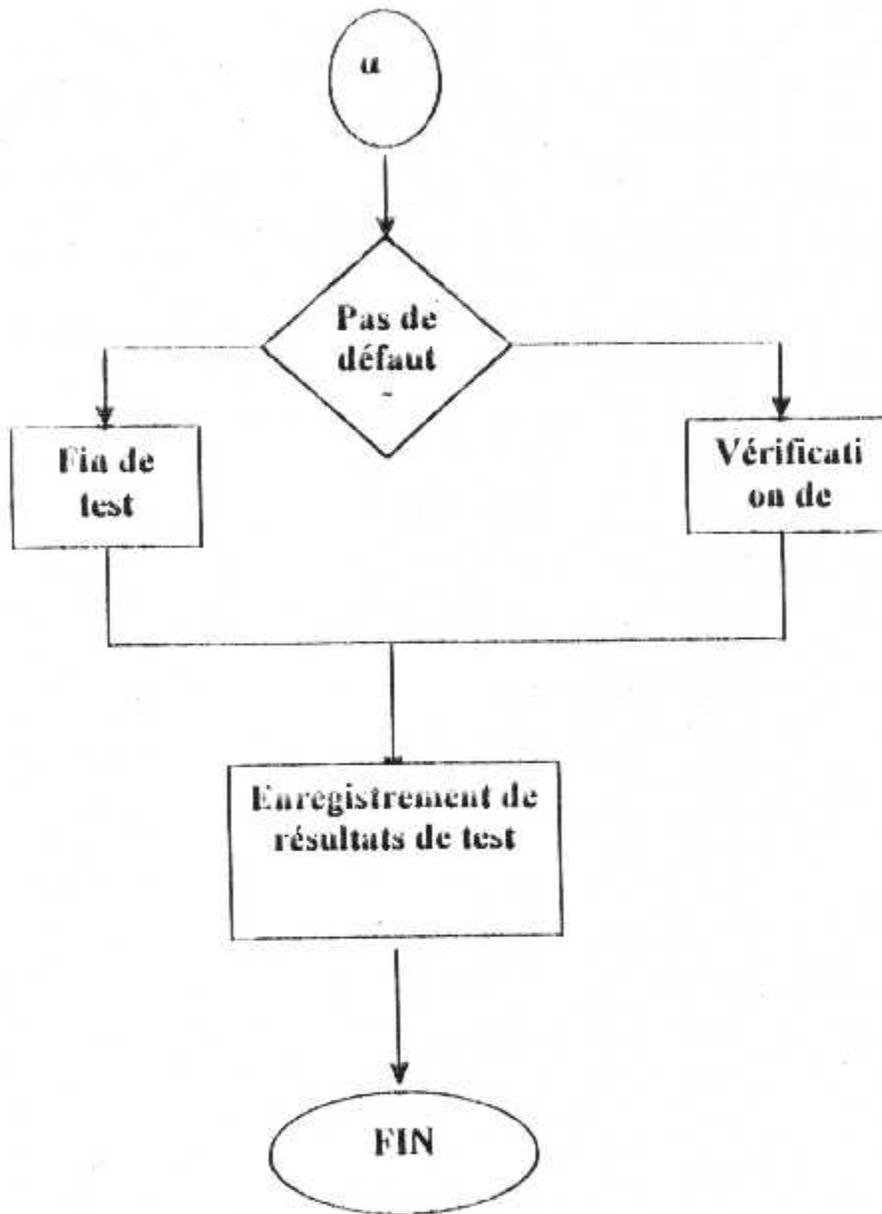






V.3 DIAGRAMME DE SYNCHRONISATION DES TESTS :





CONCLUSION

CONCLUSION

L'étude sur les deux systèmes de contrôle de vol (Pilote Automatique et le FMS) a bien compris leur fonctionnement et leur exploitation avec les différentes opérations de l'avion, et dont nous espérons son développement dans les futures études.

On a également présenté, dans ce mémoire la présentation et les procédures d'utilisation d'un FMS au bord de l'avion avec des exemples réels des plans de vol. Ainsi que des visualisations d'exploitation et des tests.

Pour la deuxième partie concernant le pilote automatique et sa relation avec le FMS. On a basé le fonctionnement de pilote automatique, l'exécution des commandes et les modes de profondeur et de gauchissement, et l'échange des informations de pilotage avec le FMS.

Suite à cette étude ou présentation sur une partie de l'intégration des systèmes, nous souhaitons que ces connaissances acquises serviront de notions pour les travaux ultérieurs.

ANNEXES

ND (navigation display)

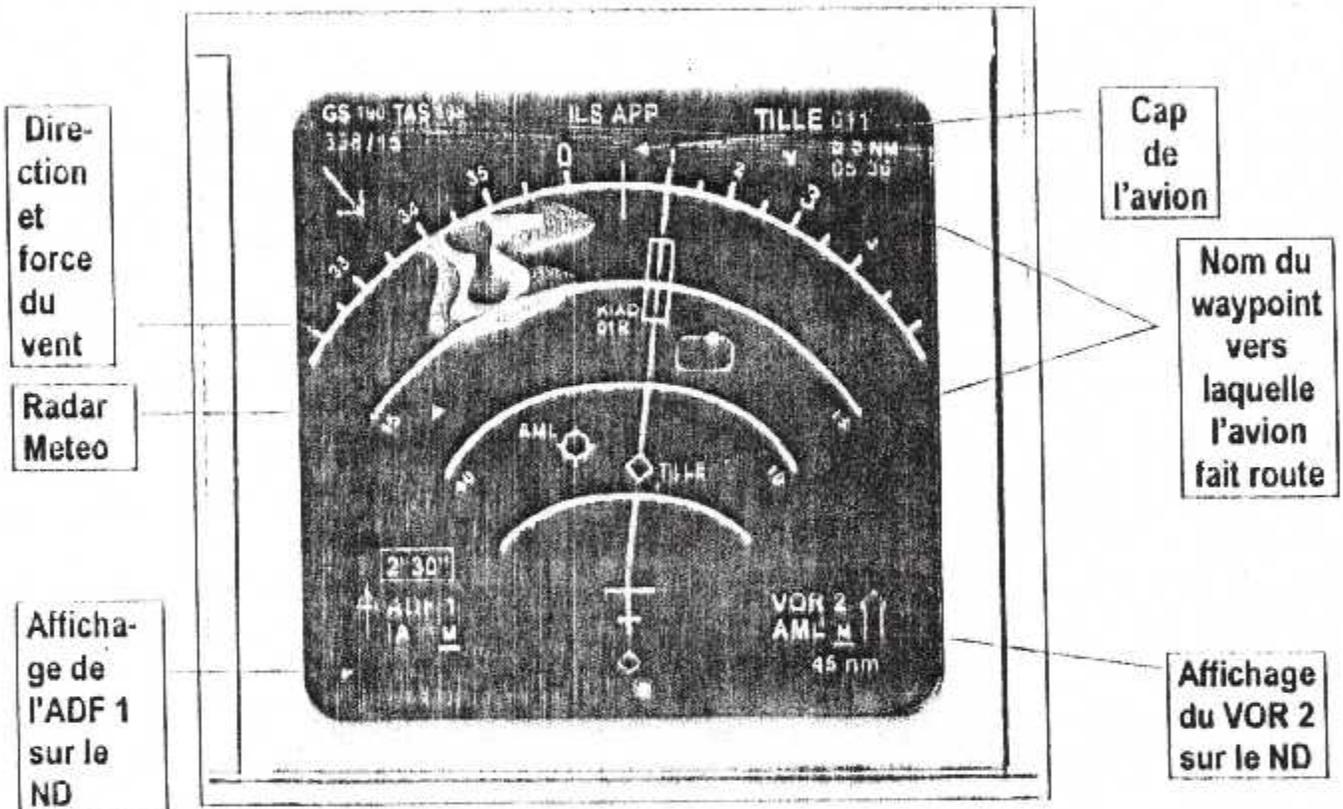


FIG (A) L'ECRAN ND

Le Primary Flight Display (PFD)

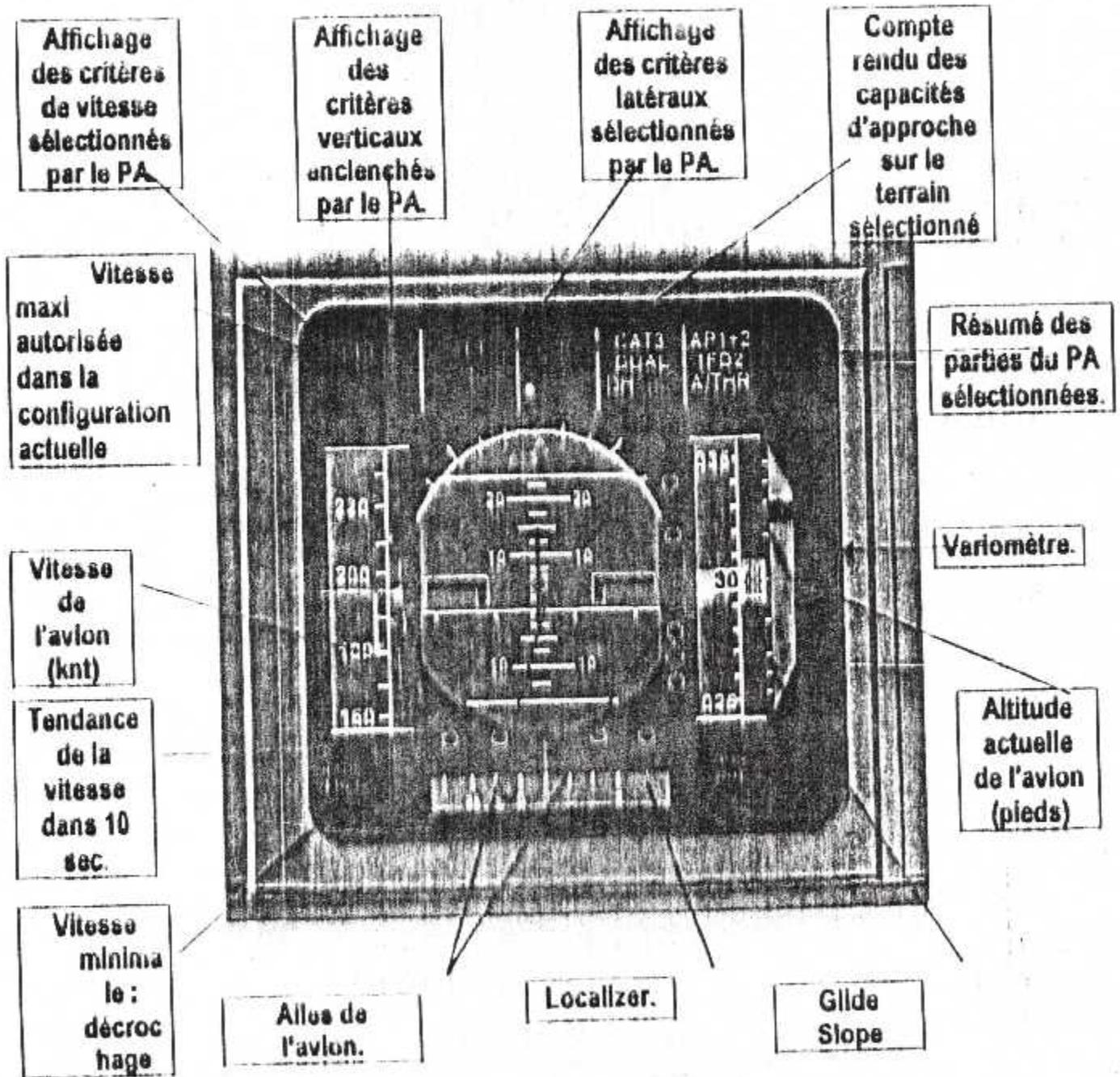


FIG (A) L'ECRAN PFD

Le Flight Control Unit (FCU)

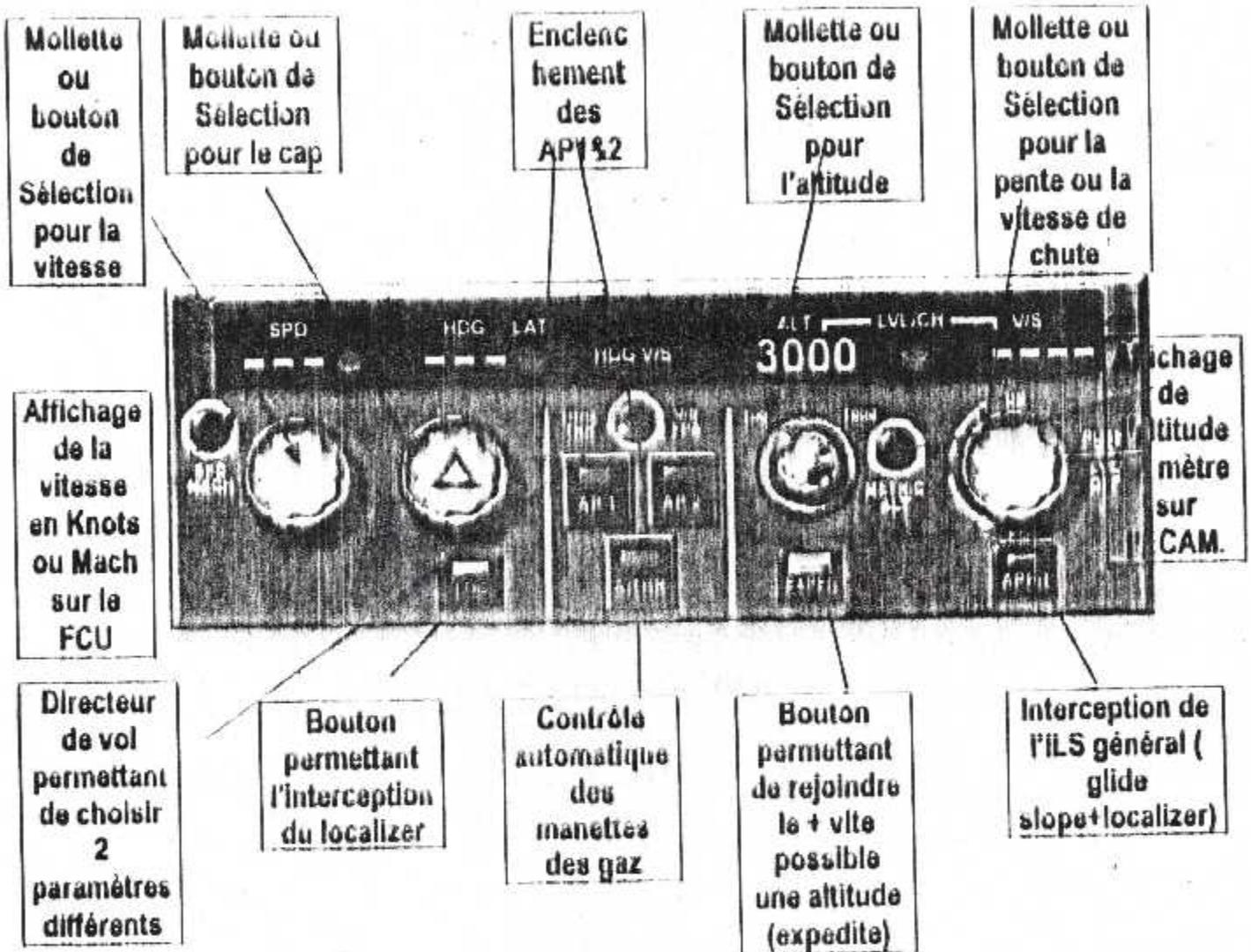
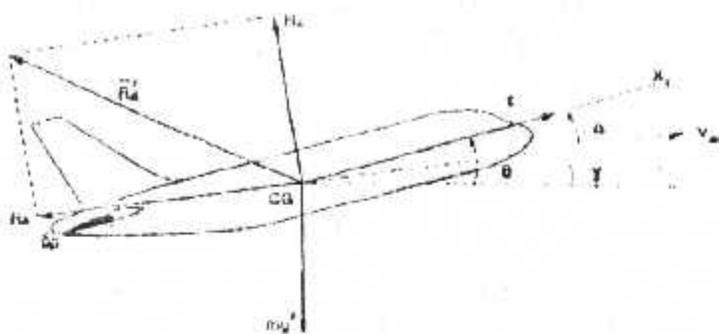


FIG. (C) L'ECRAN FCU 'pilote automatique

1) Montée stabilisée (cas de vol pseudo-permanent) :



$V_{air} = \text{constante}$
 $\gamma = \text{constante}$
 vent supposé constant

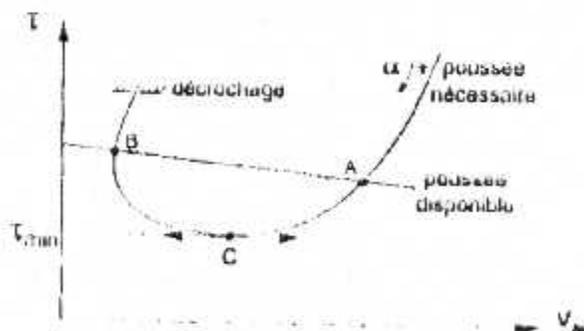
On a la relation : $\theta = \gamma + \alpha$ où γ est la pente de la trajectoire. Considérant que l'angle d'incidence α est faible ($\cos \alpha \approx 1$) on peut écrire les équations d'équilibre sous la forme :

- Propulsion : $T = R_2 + mg \cdot \sin \gamma$
- Sustentation : $R_1 = mg \cdot \cos \gamma$
- Tangage : $C_m(\alpha, \delta_e) = 0$ en supposant nul le moment de tangage due aux forces propulsives.

L'équation de propulsion peut s'écrire aussi sous la forme :

$$\sin \gamma = \frac{T - R_2}{mg} = \frac{\text{bilan propulsif}}{\text{poids}}$$

On voit ainsi que l'avion sera en vol horizontal stabilisé si le bilan propulsif est nul. Si l'on trace alors l'évolution de la poussée des moteurs (turbo-reacteurs, ici) en fonction de la vitesse air et que l'on compare celle-ci à la poussée disponible, on met en évidence deux régimes de vol.

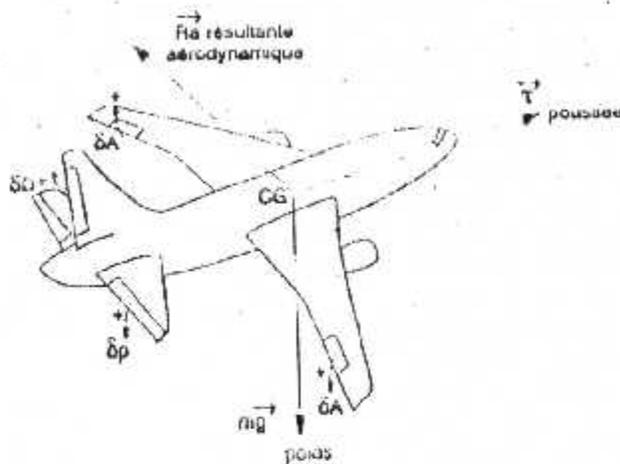


Le point A correspond au premier régime de vol ; autour de ce point, des variations de vitesse et de poussée nécessaire se font dans le même sens ; ce point est un point d'équilibre stable. L'avion y réagit "normalement" : si l'on tire sur le manche, la vitesse diminue alors que l'avion se met à monter.

Le point B correspond au deuxième régime de vol ; autour de ce point, les variations de vitesse et de poussée nécessaire se font en sens contraire, ce point est un point d'équilibre instable.

MÉCANIQUE DU VOL

Un avion se déplace dans l'atmosphère sous l'action de la poussée des moteurs, de la pesanteur et de la résultante des forces et des moments aérodynamiques.



Le mouvement complet de l'avion peut être décrit par l'évolution des variables :

$Z_e, M, \gamma, \theta, u$ et q pour les mouvements longitudinaux et
 ψ, ϕ, β, p et r pour les mouvements latéraux.

C'est le braquage des gouvernes aérodynamiques (gouverne de profondeur : δ_p , ailerons : δ_A et direction : δ_D sur un avion classique) et la variation de la poussée T , qui permettent de commander le mouvement de l'avion.

Les signes des dérivées aérodynamiques (coefficients d'influence) sont en général tels que :

en longitudinal :	$\partial C_L / \partial \delta_p > 0$	$\partial C_L / \partial \delta_A > 0$	$\partial C_m / \partial \delta_p < 0$
en latéral :	$\partial C_l / \partial \delta_A < 0$	$\partial C_l / \partial \delta_D < 0$	$\partial C_n / \partial \delta_A > 0$
	$\partial C_y / \partial \delta_D > 0$	$\partial C_l / \partial \delta_D > 0$	$\partial C_n / \partial \delta_D < 0$

Le vol d'un avion de transport peut être considéré comme une succession de cas de vol permanents ou pseudo-permanents séparés par des phases évolutives. Au cours d'un cas de vol pseudo-permanent, l'une ou plusieurs des variables pourront évoluer lentement. L'action des gouvernes permettra donc soit le maintien d'un cas de vol, soit le passage d'un cas de vol à un autre. On dira que l'avion est en état d'équilibre si les variables M, γ, θ, u et ϕ restent constantes au cours du temps.

Dans les cas de vol permanents ou pseudo-permanents, les équations de forces et de moments de la mécanique du vol se simplifient et permettent de caractériser les conditions de vol étudiées. On considère ici à titre d'exemple deux de ces cas :

A

AIRS:	Attitude et Heading Reference System.
ADC :	Air Data Computer, calculateur de la centrale aérodynamique.
ADS	Air Data System, centrale aérodynamique.
ADIRS	Air Data Et Inertial Reference System
AP	Auto Pilot, pilote automatique.
AH	Alert Altitude.
APU	Auxiliary Power Unit, unité auxiliaire de puissance.
ADR	Air Data Reference.
ACAS	Airborne Collision Avoidance System.
ADI	Attitude Director Indicator, horizon artificiel.
A/THR	Auto Throttle, calculateur d'automanette.
ARINC	Barres Busses
ATA	Air Transport Association.
ATC	Air Control Traffic.
AFS	Automatic Flight System.

B

BSCU Brake Steering Control Unit.

C

CADV	Commandes automatiques du vol.
CAG	Commande automatique générale
CAS	Conventional Air Speed
CI	Cost Index, indice de coût
CDVE	Commande Electrique De Vol
CH	Consommation Horaire
CWS	Control Wheel and Steering, Pilotage Automatique

CDU Control Display Unit

D

DME Distance Measuring Equipment

DV Dericteur de Vol

DF Drag Factor

DOC Direct Operating Costs

E

ESHI Electronic Horizontal Situation Indicator

EFIS Electronic Flight Indictor System

EADI Electronic Altitude Dierctor Indicator

F

FADEC 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, boitier de commande du pilote automatique.

FWS Flight Warning Computer, calculateur d'alarmes systè mes.

FMS Flight Management System, système de gestion de vol.

FMA Flight Mode Anonciator, panneau annonceur de mùodes pilote
Automatique.

FMGC Flight Management Et Guidance Computer.

FMGES Flight Management, Guidance et Envelope System.

G

- G/S Glide Slope.
GPS Global Positioning System.
GS Ground Speed, vitesse sol.
GPWS Ground Proximity Warning System, système d'alarme de proximité du Sol.
GTR Groupe turbo réacteur.
GA Go Around, remise des gaz.

H

- HUD Head Up Display, collimateur tête haute.
HMU Hydromechanical Fuel Unit.
HD Hauteur de décision.

I

- ILS Instrument Landing System.
ISA Instrument Standard Atmosphere.
IRS Inertial Reference System, système de référence inertiel.
IR Inertial Reference.

J

- JAA Joint Aviation Authorities.

L

- LAF Load Abreviation Function.
LGCIU Landing Gear Control Interface Unit.

M

MEC Main Engine Control.

MCDU Multipurpose Control et Display Unit.

MLS Microwave Landing System.

MMO Mach Maximum Operationnel.

N

ND Navigation Display, écran de navigation.

NM Nautical Miles.

OACI Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

F

PA Pilote automatique .

PMC Power Management Control.

PMS Performance Management System.

PFD Primary Flight Display, écran de pilotage électronique.

Q

QFU Cap magnétique de pist.

R

RA Radioaltimètre

RNAV Area Navigation.

S

SID Standard Instrument Departure.

STAR Standard Terminal Arrival.

SGU Signal Generation Unit.

T

TAS True Air Speed, vitesse air.

TACAN Tretical Air Navigation System

TCAS Traffic Alert et Collision Avoidance Systeme.

TRK Track, route instantanée suivie

V

VMO Vitesse Maximum Operationnelle.

VOR VHF Omni Range System.

W

WPT Waypoint, point de report.

X

XYK Cross Track Error, écart de route.

Les points de compte rendu :

Les points de compte rendu doivent être formés d'un groupe de cinq lettres (5) .
Utilisation des termes génériques sur recommandation OACI (noms de poisson, noms d'oiseau, noms d'arbre, noms de lieu géographique ...) .Utilisation également de l'indicatif de la balise, groupe de trois lettres (3) (ALG ,CHE ,ORA , CSO, ANB, ...) ou carrément des coordonnées géographiques.

INDICATEUR D'EMPLACEMENT**CENTRE :**

DAAA = CCR/Alger
DAAB = Blida
DAAE = Béjaïa
DAAG = Alger/Haouari Boumédiène
DAAT = Tamarrasset

QUEST:

DAOO = Oran
DAOB = Tiaret
DAOR = Béchar
DAOI = Chlef
DAON = Tlemcen

EST :

DABS = Tebessa

DABT = Batna

DABB = Annaba

DABC = Constantine

SUD :

DAUA = Adrar

DAUB = Biskra

DAUG = Ghardaia

DAUE = El-Ménia

DAUI = In-Salah

EXTERIEUR :**Afrique :**

GABS = Bamako

GAGO = Gao

GOOY = Dakar

DRRN = Niamey

FTTT = N'djaména

FAJS = Johannesburg

FUHA = Harare

FKKD = Douala

DGAA = Accra

HECA = Le Caire

DITA = Tunis

GMMN = Casablanca

HLLT = Tripoli

GQNN = Nouakchott

GMME = Rabat

Europe :

LFPO = Paris/Orly

LFML = Marseille

LFLL = Lyon

LFBD = Bordeaux

LFST = Strasbourg

EFLF = Londres/Heathrow

EDDF = Frankfurt

LOWW = Vienne

LSGG = Genève

ASIA :

OEJN = Jeddah

OERY = Riadh

OLBA = Beyrouth

OSDI = Damas

UUEE = Moscou

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- Ensembles FMS ;
 - Centre d'Instruction VI.GENIS.
- Manuel Opertor FMS
- Avionique de la Navigation Aérienne
 - MICHEL COMBRES
- Avionique (Tome 02) ; système de conduite automatique et de gestion de vol
 - FELIX COMBRES
- Connaissance aéronefs DAR-FCL Instrumentation ATPL (tome 2/3)
 - P-BRACA-J-P GEGORI
- Thèse 46/99 (étude par simulation d'un système de gestion de vol FMC)
- Sites Web :
 - Aeralph.free.fr@yahoo.com
 - www.BOEING.com