

Remerciements

Je remercie le dieu de m'avoir attribué assez de courage et de volonté pour
Arriver a terme de ce travail et de m'avoir accordé la vie afin de voir
Éclairé le fruit de mes efforts.

Je tiens à présenter mes chaleureux remerciements à mes parents
Pour leur amour sacrifices et soutient.

Mes remerciements à tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin a
Réaliser mon projet de fin d'étude.

Tout en commençant par mes promoteurs Mr Belhamissi Abd El Rahmen
Et Mr Benaouda Braham pour leur gentillesse et leur perfection dans
Le travail, et qui m'ont beaucoup aidée et orientée
Pendant tout mon projet.

A mon président de jurée et mes examinateurs.

Mes remerciements sont également à :

Le personnel d'air Algérie et spécialement pour Mr Bennila.

A toute l'équipe de la base de maintenance.

Mes enseignants de département d'aéronautique qui mon enseigné
Pendant mes étude universitaire.

A la fin je remercie toutes mes amies du département d'aéronautique.

SOMMAIRE

CHAPITRE I : Historique :

- I.1-Historique d'air Algérie.
- I.2-Historique d'airbus.
- I.3-Historique de l'A330-200.
- I.4-L'aquisition airbus par air Algérie.

CHAPITRE II : Généralités :

- II.1-Introduction.
- II.2-Presentation de l'avion.
- II.3-Présentation générale des système de commandes de vol.

CHAPITRE III : Description générale des commandes de vol A330-200.

- III.1-Presentation des commandes de vol A330-200.
- III.2-Systèmes de contrôles et d'indications.
- III.3-Philosophie des commandes de vol A330-200.

CHAPITRE IV : Architecture et fonctionnement des calculateurs des commandes de vol.

- IV.1-Disposition générale des calculateurs.
- IV.2-Principes de débattements des gouvernes.
- IV.3-Fonctionnement électrohydraulique.
- IV.4-Les modes de fonctionnements des calculateurs.
- IV.5-Fonctionnement des calculateurs normal et anormal.
- IV.6-Principe de calcul d'une protection.
- IV.7-Interfaces calculateurs de commandes de vol avec les autres calculateurs.

CHAPITRE V : Fonctionnement des gouvernes de vol.

- V.1-Commandes primaire (normal et anormal).
- V.2-Commandes secondaire (normal et anormal).
- V.3-Commande de la manche latéral.
- V.4-Commande du levier aérofrein.
- V.5-Commande du levier volets.

CHAPITRE VI : Technologie des principaux composants.

- VI.1-Servo commandes.
- VI.2-THS.
- VI.3-Aerofreins.
- VI.4-Volets bord d'attaques et bord de fuites.
- VI.5-Profondeur et direction.

CHAPITRE VII : Maintenances des commandes de vol.

- VII.1-La maintenance préventive.
- VII.2-La maintenance corrective.
- VII.3-Programme d'entretien.

LISTE DES FIGURES

Chapitre II	Page
Fig.1 : Les dimension de la vue latérale.....	7
Fig.2 : Les dimension de la vue de face.....	8
Fig.3 : Les dimension de la vue de dessus	8
Fig.4 : Structure de l'avion.....	9
Fig.5 : Les axes de référence.....	10
Chapitre III	
Fig.01 : Les gouvernes de vol de L'A 330-200.....	14
Fig.02 : Les surfaces d'hypersustentation.....	15
Fig.03 : Surfaces de la fonction aérofreins.....	16
Fig.04 : Ailerons abaissé.....	16
Fig.05 : Surface de la fonction MLA.....	17
Fig.06 : Mini manche latéral.....	18
Fig.07: Levier aérofreins.....	18
Fig.08: Roues de stabilisateur.....	19
Fig.09 : Palonnier.....	19
Fig.10: Compensateur de direction.....	20
Fig.11 : Levier volets.....	20
Fig.12: Les systèmes de contrôles.....	21
Fig.13: Page ECAM des commandes de vol.....	22
Fig.14 : Les panneaux des calculateurs.....	27
Fig.15 : priorité du mini manche.....	27
Fig.16 : Les système d'indications.....	28
Fig.17 : Le système classique	30
Fig.18 : La nouvelle philosophie.....	31
Fig.19: Comparative des deux systèmes.....	32

Chapitre IV

Fig.01 : Disposition des calculateurs	33
Fig.02: Emplacement des calculateurs dans l'avion	34
Fig.03: Philosophie des calculateurs.....	35
Fig.04: Fonctionnement de chaque calculateurs.....	38
Fig.05: Principe de base	38
Fig.06: Les modes de vol et les protections	39
Fig.07: Reconfiguration des lois de calcul.	40
Fig.08: Principe de base des lois directes	41
Fig. 09 : Le système de secoure mécanique	42
Fig. 10 : Les lois de contrôle	43

Chapitre V

Fig.01 : Le système hydraulique de l'A 330-200.....	44
Fig.02 : Gestion électrique des Systèmes de commandes de vol.....	46
Fig.03: Fonctionnement normal du tangage	48
Fig.04 : Fonctionnement anormal « anomalie du FCPC1 ».	48
Fig.V.5 : Cas d'anomalie du FCPC1 et FCPC2.....	49
Fig.V.6 : Les calculateurs FCPC 1, 2, 3 en panne.....	50
Fig.V.7 : Cas d'anomalie des servocommandes.....	50
Fig.V.8 : Fonctionnement normal latéral (axe roulis).....	52
Fig.V.9 : Fonctionnement normal latéral (axe lacet).....	53
Fig.V.10 : Cas d'anomalie FCPC1 en panne.....	54.
Fig.V.11 : Cas FCPC1, 2 et 3 en panne.....	55
Fig.V.12 : Système de commandes de vol secondaire.....	56.
Fig.V.13 : Panne totale des calculateurs.....	58
Fig.V.14 : Le mini manche.....	59
Fig.V.15 : Engagement du pilote automatique.....	60
Fig.V.16 : Désengagement du pilote automatique.....	60
Fig.V.17 : Exemple de la priorité logique.....	61
Fig.V.18 : Les deux minis manche déplacé dans le même sens.....	62
Fig.V.19 : Les deux minis manche déplacé en sens inverse.....	62
Fig.V.20 : La fonction aérofreins.....	64

Fig.V.21 : La fonction spoilers sol.....	64
Fig.V.22 : Le levier volets et ces positions.....	65

Chapitre VI

Fig.VI.1 : Le vérin a vis sans fin.....	67
Fig.VI.2 : La servocommande de la gouverne de profondeur	68
Fig.VI.3 : Unité de transmission.....	69
Fig.VI.4 : La servocommande de l'aileron intérieur.....	71
Fig.VI.5 : La servocommande de l'aileron extérieur.....	71
Fig.VI.6 : La servocommande des spoilers et sont emplacement au niveau d'aile.....	73
Fig.VI.7 : les principaux éléments de la gouverne de direction.....	74
Fig.VI.8 : La servocommande de la gouverne de direction.....	74
Fig.VI.9 : Volet bord de fuite position sortie.....	76
Fig.VI.10 : Volet bord de fuite entré.....	75
Fig.VI.11 : Le PCU de volet bord de fuite.....	76
Fig.VI.12 : Servocommande type A.....	77
Fig.VI.13 : Servocommande type B.....	78
Fig.VI.14 : Le WTB.....	78
Fig.VI.15 : Composant de transmission boite a engrenage forme T.....	79
Fig.VI.16 : L'APPU.....	79
Fig.VI.17 : Le PCU de volet bord d'attaque.....	80
Fig.VI.18 : L'arbre de conjugaison.....	80
Fig.VI.19 : Volet bord d'attaque entré.....	81
Fig.VI.20 : Volet bord d'attaque sortie.....	81

Chapitre VII

Fig.VII.1 : MCDU.....	89
-----------------------	----

INTRODUCTION

L'histoire de l'aviation connaît un tournant décisif au début du XIX siècle, grâce aux progrès réalisés dans les domaines de la construction et de la mécanique.

L'évolution des techniques de construction des avions fait intervenir plusieurs acteurs, de la conception à la réalisation.

Lorsque les compagnies aériennes se disputent la faveur du passager, la décision se fera en fonction de la sécurité. C'est dans ce contexte, que les avions doivent être équipés des commandes de vol, pour contrôler leur stabilité, qui est considérée comme étant un critère primordial concernant la construction aéronautique et spatiale.

Pour se mouvoir dans les airs, l'avion a besoin d'éléments structuraux mobiles, appelés « gouvernes de vol », qui permettent son changement de configuration dans l'espace, à tous les régimes de vol.

Les commandes de vol ont considérablement évolué, mécaniquement au départ, puis hydraulique, jusqu'à la dernière technologie, qui consiste en des commandes de vol gérées par les calculateurs.

I.1-HISTORIQUE D’AIR ALGERIE :**I.1.1-Définition :**

Le transport aérien est un élément important pour l’aménagement et le développement économique d’un territoire.

AIR ALGERIE est une compagnie de milliers des travailleurs à travers le territoire national. L’aéroport de rattachement de la compagnie est situé à environ 16 Km à l’est d’Alger et c’est là où toutes les tâches qui assurent le bon fonctionnement de la compagnie sont effectuées.

La création de la compagnie générale du transport aérien AIR ALGERIE remonte à l’année 1947, son réseau de transport aérien était orienté principalement vers la France. Ce même réseau était desservi par la société Air transport dont les lignes s’étendaient jusqu’à L’Afrique occidentale.

I.1.2-Historique :

En 1953 : Le début de la fusion de ces deux organismes, la compagnie générale de transports aériens air Algérie entre en activité.

En 1954 : Air Algérie transporte 100 000 passagers avec une flotte composée de quatre avions conventionnels à pistons DOUGLAS DC4.

En 1956 : L’introduction des LOOCKD (constellation) porte le nombre d’avions à dix, le nombre de passagers et 4500 tonnes de fret. Et durant les années 1957-1962 avait l’introduction des LOOCKED et deux NORD ATLAS CARGO.

En 1959 : Mise en service de la première CARAVELLE, avion munie par de turboréacteur.

En 1962 : C’est la nationalisation totale du personnel commercial navigant.

En 1963 : Air Algérie est placée sous la tutelle du Ministère des transports et devient par conséquent une compagnie nationale.

En 1968 : Les actions détenues par les sociétés étrangères sont rachetées.

En 1970 : Le rachat par l’état de toutes les actions détenues par les sociétés étrangères a permis le contrôle complet de la compagnie avec 83% des actions.

En 1971 : Le 26/03/1971 est une date historique dans la vie de la compagnie air Algérie. Venant de SEATTLE (USA), BOEING 727-200 arrive à Alger dotés des perfectionnements techniques et commerciaux pour mener à bien ses missions, air Algérie utilise d’énormes moyens humains à savoir le personnel du sol, le personnel navigant et le personnel technique.

En 1972 : Réalisation au sein des ateliers de maintenance de DAR ELBAIDA de la première grande visite sur un appareil de type CARAVELLE.

En 1984 : Nationalisation du personnels navigant technique 98% de l'effectif du personnels navigant.

En 1993 : La flotte de la compagnie se composé de :

- 15 BOEING B 737.
- 11 BOEING B 727.
- 03 BOEING B 767.
- 02 AIRBUS A 310.
- 02 HERCULE L-130.
- 08 FOKKER F 27.

En 2000 : Achat de nouveaux avions de type Boeing 737-800.

En 2001 : Au début de cette année la compagnie à reçu deux autres Boeing 737-200.

En 2002 : Achat de cinq avions de type Boeing 737-600.

En 2003 : Air Algérie a reçus 5 avion de transport régionale 05 ATR.

Entre 2004 et 2005 : la compagnie a acheté cinq avions de type A330-200.

Le réseau aérien actuellement desservi par la compagnie englobe le réseau domestique. Aujourd'hui la compagnie est parmi les premiers à l'échelle du monde arabe et du tiers monde.

I.1.3-La flotte d'air Algérie :

AIR ALGERIE, a lancé un vaste programme de renouvellement de sa flotte. Ce renouvellement s'est fait en deux étapes :

- ✓ La première étape a permis à AIR ALGERIE d'acquérir 12 avions BOEING de nouvelle génération (7B737-800 et 5 B737-600) entre 2000 et 2002.
- ✓ La seconde étape consiste n un renouvellement lié à un plan de retrait de la vieille flotte.

AIR ALGERIE va acquérir 14 avions (6 ATR 72-500, 5 A330-200, 3B737-800) entre 2003 et 2005 et retirer de l'exploitation la flotte ancienne (à l'exception des 3 B767-300) durant l'exercice 2004.

❖ Depuis Septembre 2005 : la composition de la flotte est :

- 10 BOEING B 737-800.
- 05 BOEING B 737-600.
- 03 BOEING B 767-300.
- 05 AIR BUS A 330-200.
- 06 ATR 72.
- 02 HERCULE L100-30.
- 07 FOKKER F27-400M.

I.2-HISTIRIQUE D’AIRBUS :

I.2.1-Définition :

Airbus est une coopération entre constructeurs. Consortium européen d’aéronautique civile né en 1970. Cette coopération dans le plan technologique et financière a poussé vers des recherches aéronautiques très importantes ainsi donne l’accès à conquérir le leader boeing.

I.2.2-Historique :

En 1965 : le premier projet d’un avion européen de 226 passagers, fut annoncer par deux pays européen « Allemagne. DEUTCH airbus » et « France .Aérospatiale » avec l’assistance de partenaire pour chaque constructeur, avec la France (Sud aviation, Constructeur Caravelle) et avec l’Allemagne (Messer Smith).et d’autre pays européen pour certain éléments important de l’appareille.

En 1971 : La France, l’Allemagne, et l’Espagne réalise la premier avion A330 et aboutissent en octobre 1972. Air France et Lufthansa sont séduit par ce type d’avion et passe à la commande, d’autre compagnie étrangère Européenne les suivent.

En 1975 : Acquisition par airbus de 10% du marché aéronautique.

En 1976 : Acquisition de 26% du marché aéronautique.

En 1978 : airbus lance l’A310 pour arrivée à la position de leader.

En 1979 : le constructeur Anglais (British aérospatiale) devient partenaire et entraîne la mise en projet de l’A320.

En 1989 :L'A321 inespéré de l'avion A320.

En 1992 : L'A319 avion inespéré de l'A320.

Actuellement 14 types d'avion constituent le catalogue Air bus.

Le dernier de ce catalogue, c'est l'A380 le plus gros porteur du monde, plus de 600 passagers avec une autonomie de vol de 16000 km sans escale.

I.3-HISTORIQUE DE L'A330-200 :

I.3.1-Définition :

L'Airbus A 330 est un bimoteur moyen-courrier, d'une capacité de l'ordre de 300 passagers. Cette famille d'appareils, concurrents directs des Boeing 777, présente de nombreuses analogies avec celle des A 340, notamment une voilure et un fuselage identiques. Par ailleurs, le cockpit et la Technologie (commandes de vol électriques) de l'A 330 sont analogues à ceux de la famille des A 340 et des A 320, ce qui permet une gestion et une formation plus efficaces du personnel.

I.3.2-Historique :

L'A330-200 fut lancé en novembre 1995.

C'est le dernier de l'A330-300 et le leader incontesté de sa catégorie, a engrangé 268 commandes émanant de 29 clients. Le biréacteur, le plus long-courrier de la famille Airbus en service a enregistré 218 commandes depuis le lancement du 767-400, son concurrent direct. Qui totalise 37 commandes. Ces chiffres illustrent le remarquable succès de l'A330-200 sur le marché.

La certification de l'appareil est achevée le 31 mars 1998.avec une version équipée par un type de moteur GE : général électrique. Le premier avion loué par ILFC entra en service dans la compagnie canadienne Canada 3000.

La première commande de l'A330-200 fut annoncée par l'américain ILFC au mois de mars 1996.Le 13 août 1997 Airbus dispose d'un carnet d'achat de plusieurs pays.

Mis en ligne pour la première fois en 1998, l'A330-200 est la version raccourcie et à une autonomie accrue par rapport a l'A330-300, en service auprès des principales compagnies aériennes mondiales depuis 1994. En réduisant la taille et en allongeant l'autonomie de l'A330-300, Airbus a abordé un segment de marché, qui s'amplifie à mesure que les compagnies aériennes remplacent leurs flottes de biréacteurs et triréacteurs d'ancienne génération opérant sur les routes continentales et intercontinentales.

Airbus estime à environ 3 000 le nombre d'avions qui seront nécessaires pour desservir ces routes au cours des vingt prochaines années et, en cela, l'A330-200 répond mieux aux exigences du marché en termes d'autonomie et de rentabilité que n'importe quel autre avion actuellement disponible sur le marché.

L'A330-200 bénéficie en outre du concept de communauté qu'Airbus applique à tous ses appareils à commandes de vol électriques. Tous les membres de cette famille, de l'A318 de 107 sièges à l'A340-600 de 380 places, partagent le même poste de pilotage et, grâce à la technologie des commandes de vol électriques, les mêmes caractéristiques de pilotage, permettant ainsi aux équipages de piloter n'importe quel modèle moyennant un complément de formation mineur.

I.4-L'ACQUISITION AIRBUS PAR AIR ALGERIE :

Air Algérie a signé un contrat d'achat de cinq avions « A330-200 » avec Airbus en janvier 2005, et cela dans le cadre du renouvellement de la flotte afin d'exploiter ces avions sur des lignes internationales long-courrier. La compagnie Air Algérie a choisi spécialement l'Airbus A330-200 pour ces avantages.

Tout d'abord le coût financier, ensuite la disponibilité des pièces de rechange, et enfin ces caractéristiques et performances.

II.1-INTRODUCTION :

Le développement des commandes de vol capable de s'adapter aux records de vitesse, atteints par les appareils modernes, plus résistant en haute altitude, a permis d'assurer un meilleur confort du pilote et des passagers. Ce domaine d'investigation, a en fait été, à l'origine de l'évolution des systèmes.

La première génération d'avions a été équipée de commandes à câble, ils ont permis de traiter les problèmes de déformation de l'avion, et de frottement des gouvernails. Mais ils impliquaient des procédures pénibles de réglage et de surveillance de l'usure des câbles. Plus tard, les commandes mécaniques ont marqué une réelle amélioration, même si les frottements et le blocage par corps étranger étaient courants.

La deuxième génération d'avions, a été équipée de moteurs servocommandes, qui font intervenir des systèmes hydrauliques, leur avantage est que une faible pression au niveau du levier suffit à fournir une force de travail considérable sur les gouvernails. Cependant, ils montrent des risques de fuite ou de purge et un coût de maintenance et de production très élevé.

La troisième génération d'avion, est le tour des calculateurs analogique. Ils apparaissent alors de nouvelles contraintes, comme la dérive des composants ou les parasites extérieurs.

Enfin, les années suivantes, se développent les calculateurs numériques, comme ceux qui ce trouvent dans l'airbus 330-200. Le pilote dépense nettement moins d'énergie musculaire afin de maintenir la stabilité de l'appareil. C'est le cerveau qui prime maintenant sur la force.

Les systèmes de commandes de vol de cette dernière génération sont installés sur toutes les gammes d'aéronefs airbus.

Le travail proposé porte sur :

- L'étude de la nouvelle philosophie adopter par le constructeur.
- La description et le fonctionnement des calculateurs.
- Le fonctionnement des gouvernes de vol.
- La technologie des principaux composants.
- La maintenance des commandes de vol.

II.2. PRESENTATION DE L'AVION :**II.2.1- caractéristiques et Performances de l'A330-200 :**

- Envergure : 58.65m.
- Longueur : 62,56m.
- Moteur : 2 réacteurs GE : General Electric. GE 80 E1
- Les clients peuvent choisir selon leur critère de performances et d'économie :
 - Le PW 4000 Pratt & Whitney.
 - Le Trent 700 de Rolls-Royce.
 - La poussée de moteur est de : 316 KN.
- Masse max au décollage : 230 tonnes.
- Vitesse de croisière max : Mach 0.82.
- Distance franchissable : 12 320 KM.

II.2.2. Les dimensions :

- Vue latéral : (Fig.II.1).

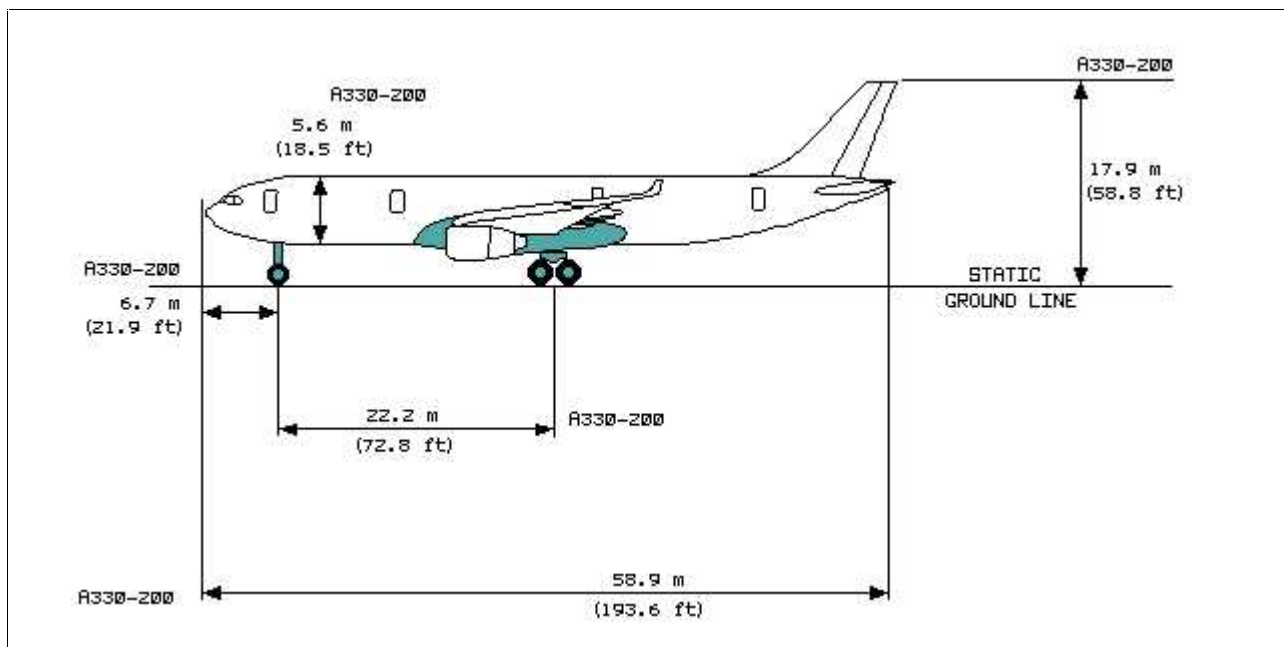


Fig.II.1 : Les dimensions de la vue latérale.

- Vue de face : (Fig.II.2).

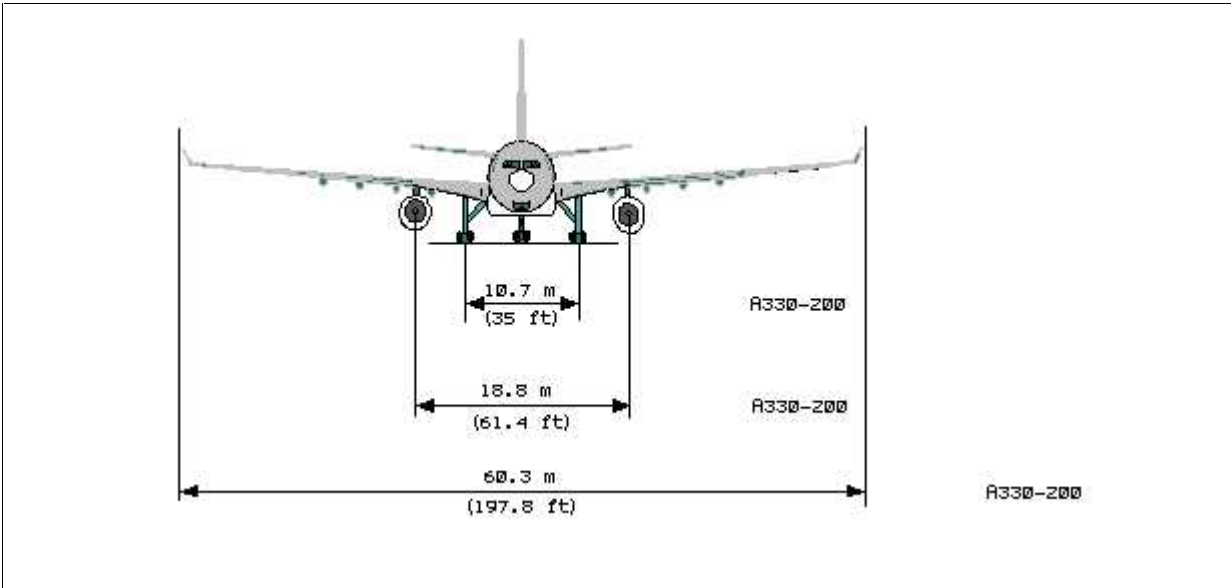


Fig.II.2 : Les dimensions de la vue de face.

- Vue de dessus : (Fig.II.3).

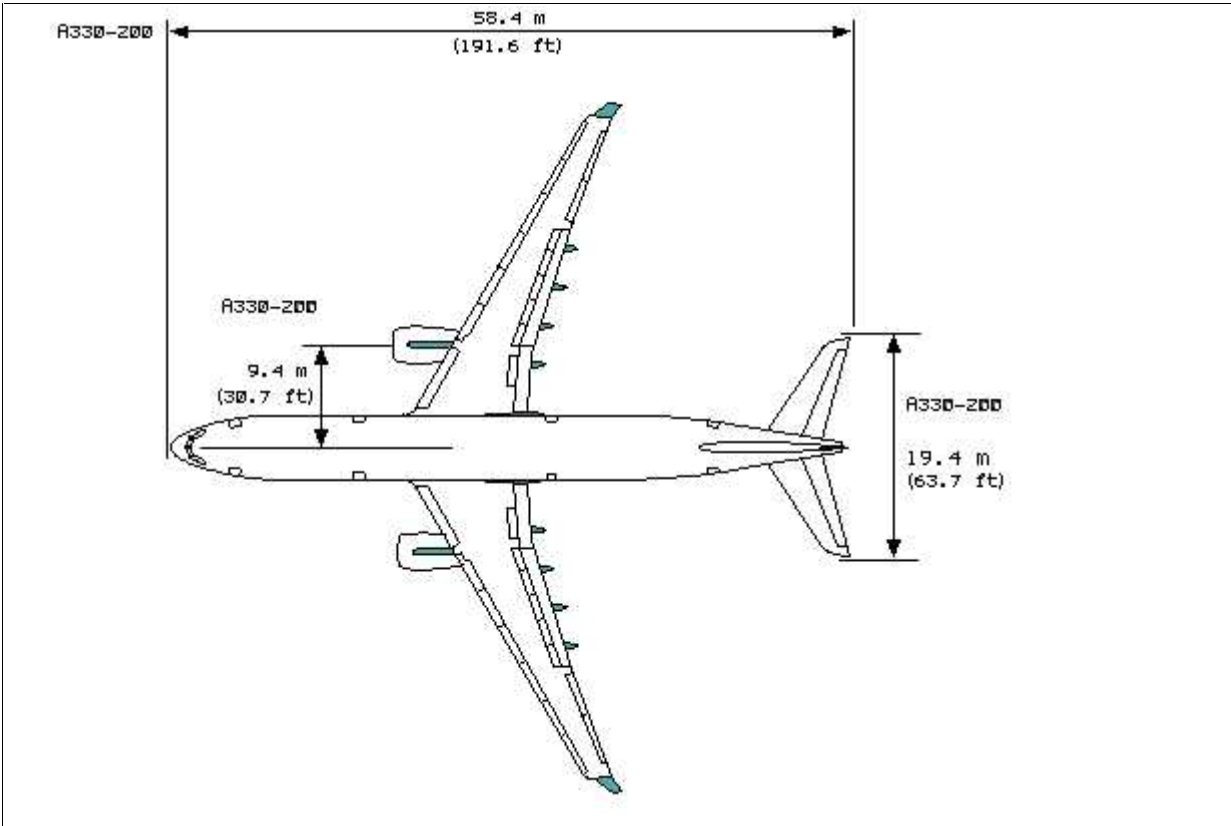


Fig.II.3 : les dimensions de la vue de dessus.

II.2.3-Structure général de l'avion : (Fig.II.4)

La structure de l'avion se compose généralement de trois composants :

Les matériaux composites, les alliages d'Aluminium et de Titanium.

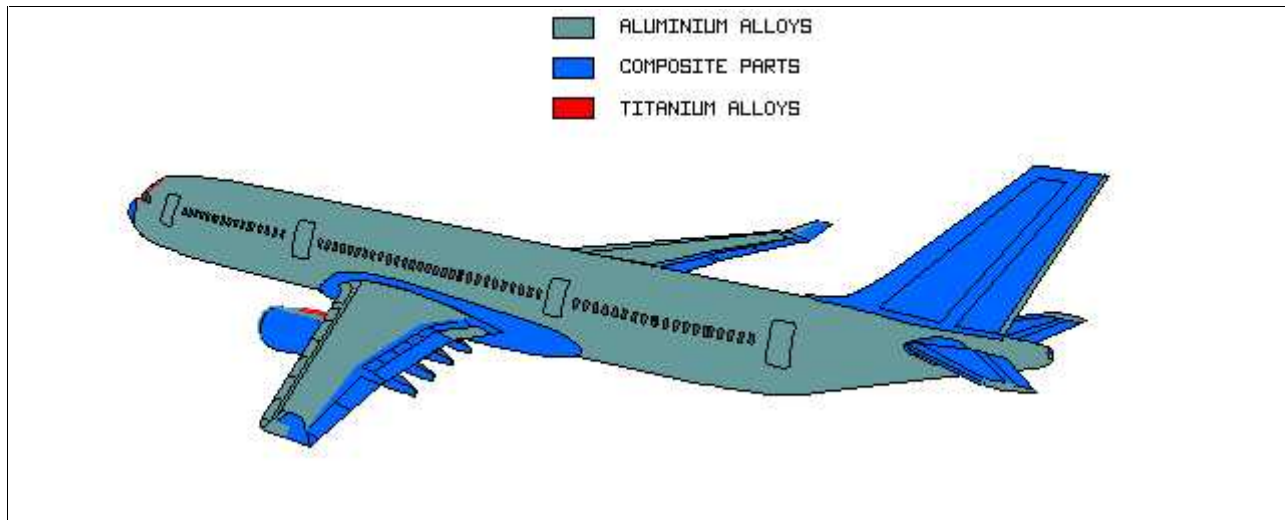


Fig.II.4 : structure de l'avion.

II.3-PRESENTATION GENERALE DES COMMANDES DE VOL :

II.3.1-Introduction :

Il est connu en aérodynamique, que pour changer la configuration de l'avion en vol, il est nécessaire de faire incliner les gouvernes.

On trouve sur la plupart des avions modernes, gros et petits, des surfaces aérodynamiques mobiles appelées « gouvernes de vol », dans le but de faciliter le pilotage et le contrôle de la stabilité d'un aéronef, par leurs actions aérodynamiques permettant de faire varier l'assiette et la configuration de l'avion.

II.3.2-Définition :

Les commandes de vol sont des dispositifs qui permettent de provoquer des évolutions de l'avion autour des axes de référence.

II.3.3-Les axes de référence :

Les évolutions de l'avion sont conventionnellement décomposées en trois rotations autour de trois axes de référence, passant par le centre de gravité G de l'avion (fig.II.5).

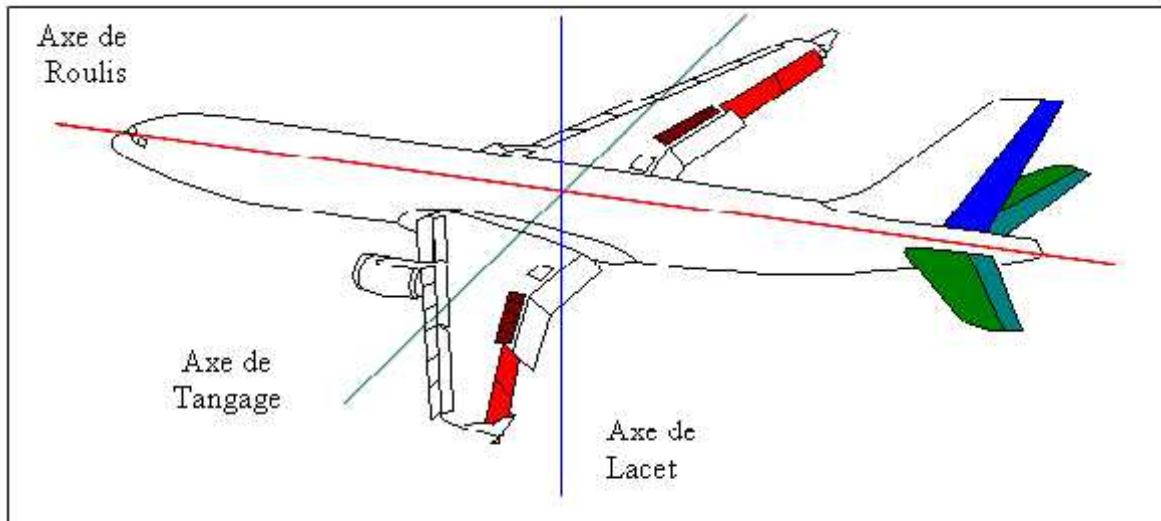


Fig.II.5 : les axes de référence.

II.3.4-Les commandes de vol :

Les commandes de vol se partage en deux parties : primaire et secondaire.

II.3.4.1-Les commandes de vol primaire :

Elles permettent de déplacer un avion autour des trois axes qui passe par son centre de graviter.

1. axe de tangage : c'est l'axe transversal de l'avion.
2. axe de roulis : c'est l'axe longitudinal de l'avion.
3. axe de lacet : c'est l'axe vertical de l'avion.

a. La gouverne de profondeur : (le tangage)

L'axe de tangage passe d'une extrémité de l'aile à l'autre. La rotation de l'axe de tangage crée une action sur la commande de profondeur.

Lorsque le manche est poussé vers l'avant, la gouverne de profondeur se lève vers le haut, celle-ci crée un moment de tangage à piquer. Inversement, tiré en arrière, le manche provoque la descente de la gouverne, ce qui génère un moment de tangage à cabrer.

b. Les ailerons : (le roulis)

L'axe de roulis passe du nez à la queue de l'avion. La rotation autour de l'axe de roulis crée une action sur la commande de gauchissement (manche à gauche ou à droite).

La portance augmente du côté de l'aileron baissé et diminue du côté de l'aileron monté, l'aile s'incline du côté du manche. En jouant sur l'inclinaison, les ailerons induisent une différence de portance, et provoque le virage.

c. La gouverne de direction : (le lacet)

L'axe est perpendiculaire au deux autres, la rotation de cet axe est obtenue par une action sur les palonniers. Il permet d'avoir une symétrie de l'avion dans le vent relatif. La gouverne de direction se déplace une fois que le palonnier est poussé.

II.3.4.2-Les commandes de vol secondaire :

Les commandes de vol secondaire se composent des systèmes d'hypersustentations (volet de bord d'attaque et bord de fuite) et des systèmes de freinages aérodynamiques. Ceci permet de réduire la vitesse de l'avion sans risque de décrochage aérodynamique. Ces systèmes permettent de modifier l'écoulement d'air afin de permettre de recoller les filets d'air sur la surface de l'aile.

1-Dispositifs hypersustentateurs :

Les dispositifs hypersustentateurs sont destinés à augmenter la portance de la voilure, lors des phases de décollage et d'atterrissage.

Ils sont généralement constitués de volets, et suivant leur position dans l'aile, on distingue :

- ✓ Les dispositifs de bord d'attaque.
- ✓ Les dispositifs de bord de fuite.

Leur principe de fonctionnement est pratiquement le même, à savoir, augmenter la courbure de l'aile ou la surface et parfois les deux ensemble.

a. Dispositifs de bord d'attaque :

Au décollage, et surtout à l'atterrissage, la vitesse est réduite. Le pilote cabre afin d'augmenter l'angle d'incidence par la suite l'accroissement du C_z max.

Ces dispositifs, améliorent la circulation de l'air au bord d'attaque par une action sur la couche limite, en augmentant la courbure générale de l'aile.

Le volet de KRUEGER consiste en une surface mobile qui s'abaisse en dessous du bord d'attaque. Ce volet peut être constitué de plusieurs sections articulées qui augmentent considérablement à la fois la surface et la courbure de l'aile.

b. Dispositifs de bord de fuite :

Les dispositifs de bord de fuite sont ceux que l'on rencontre fréquemment. Ils agissent par augmentation de la courbure entraînant une augmentation du C_z sans faire varier notablement l'angle d'incidence maximum de décrochage. Ils peuvent de plus provoquer une augmentation de la surface de la voilure.

2. Aérofreins et spoilers :

Les spoilers sont des volets d'extrados, leur sortie provoque sur l'aile un accroissement de traînée et une diminution de portance, entraînant une diminution de finesse importante.

Si le braquage des spoilers est symétrique, ils seront utilisés en aérofreins, dans ce cas ils seront alors commandés par la manette d'aérofreins.

Si le braquage des spoilers est différentiel, ils seront utilisés en gauchissement avec la commande des volants. Ils se braquent du côté de l'aile levée pour le contrôle latéral de l'avion.

II.3.4.3-Les différents types de système de commandes de vol :

La liaison entre commande et gouverne peut être :

- a. **Mécanique** : câbles, biellettes et éventuellement assistance de compensateurs d'évolution.
- b. **Hydraulique** : des servocommandes, et éventuellement assistance de compensateur d'évolution. L'énergie hydraulique est bien adaptée aux avions gros porteurs pour lesquels les efforts à appliquer aux gouvernes sont importants.
- c. **Electrique** : des signaux électriques sont directement envoyés aux servocommandes.

III.1- PRESENTATION DES COMMANDES DE VOL DE L'A330-200 :

III.1.1-Introduction :

Toutes les surfaces de commandes de vol sont commandées hydrauliquement et contrôlées électriquement, il y a un système de secoure mécanique (BACK-UP), on le trouve dans l'axe tangage (stabilisateur horizontale) et l'axe lacet (la gouverne de direction).

III.1.2-Presentation générale des surfaces de vol :

Toutes les surfaces de commandes de vol sont fabriquées en matériaux composites, sauf les volets bord d'attaque qui sont fabriquées en alliages d'aluminium.

➤ **Les surfaces de commandes de vol sont :**

- La gouverne de direction.
- La gouverne de profondeur.
- Le stabilisateur horizontal (THS).
- Les ailerons.
- Les spoilers.
- Les volets bord d'attaque.
- Les volets bord de fuite.

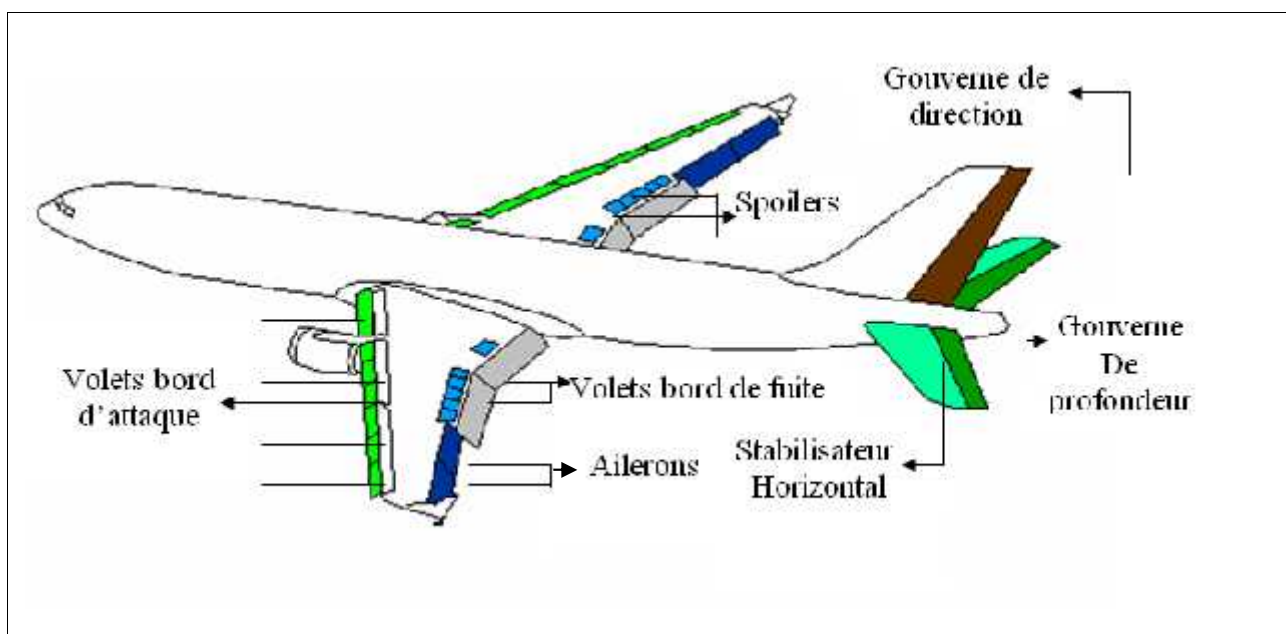


Fig.III.1 : Les gouvernes de vol de l'A330-200.

➤ Les trois axes des commandes de vol sont :

a- Tangage :

La commande tangage est assurée par deux gouvernes de profondeur et le Stabilisateur horizontal (THS).

La gouverne de profondeur est utilisée pour les courtes courses de manœuvre.

Le stabilisateur horizontal est utilisé pour les longues courses de manœuvre.

b- Roulis :

La commande roulis est assurée par deux ailerons et cinq spoilers sur chaque aile, numérotés de l'emplanture vers le saumon.

Durant le virage, la coordination roulis/lacet est assurée automatiquement par la gouverne de direction.

c- Lacet :

La commande lacet est assurée par la gouverne de direction, si le virage est initialisé par les Palonniers, les spoilers vol et les ailerons prévenus introduit le roulis.

➤ Les Différentes fonctions des commandes de vol :

• **Hypersustentation** : (High Lift)

La fonction de l'hypersustentation est assurée par les volets bord d'attaque, les volets bord de fuite et les ailerons.

Il y a deux volets bord de fuite et sept volets bord d'attaque dans chaque aile, numéroté de l'emplanture vers le saumon.

Leur rôle est d'augmenter la portance lors du Décollage, l'approche et l'atterrissage.

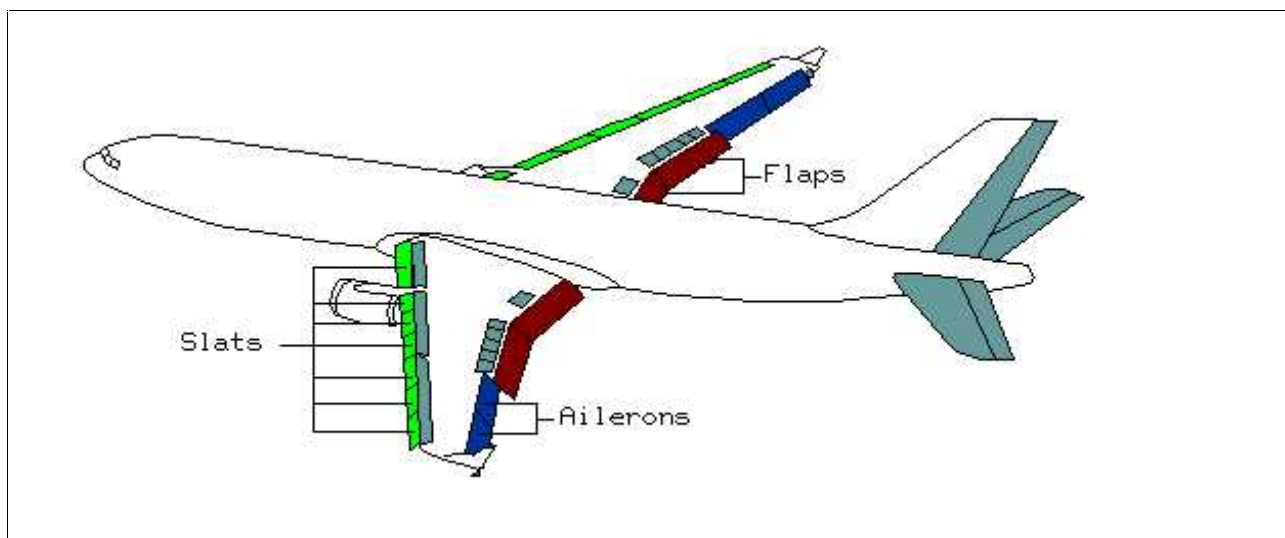


Fig.III.2 : les surfaces d'hypersustentation.

- **Spoiler sol et aérofrein** :(Speed brake & Ground spoiler)

La fonction aérofreins et spoilers sol est assurée par tous les spoilers (6).

La fonction d'aérofreins (freinage aérodynamique) est activée pour diminuer la vitesse en augmentant la traînée et cela sans détruire la portance.

La fonction spoilers sol est activée pour détruire la portance lors du touchée au sol pendant l'atterrissage, et cela afin de plaquer l'avion au sol sans risque de gauchissement ou pour annuler le décollage, suite à des raisons non favorable.

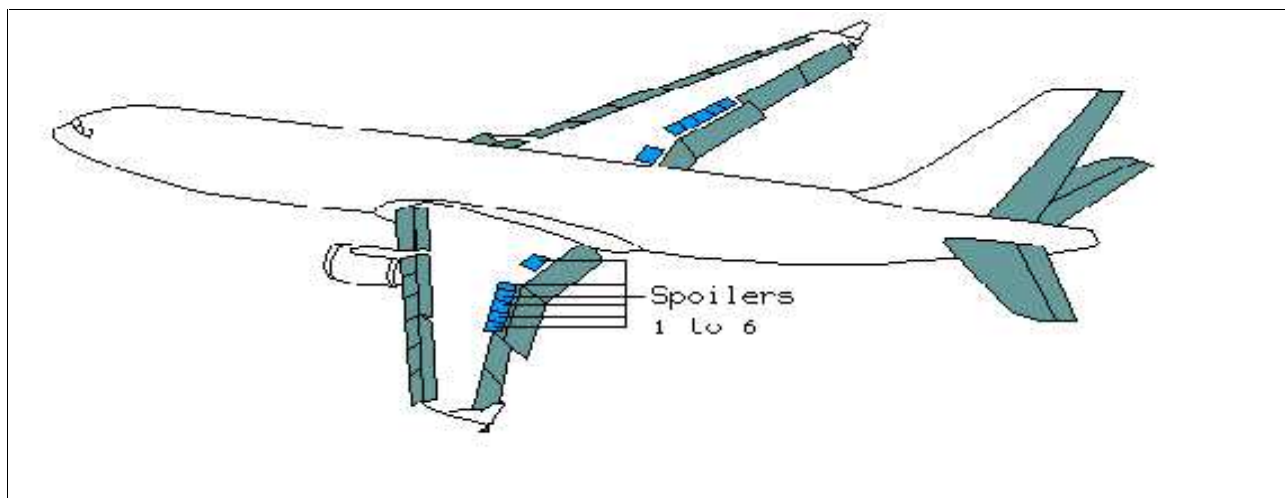


Fig.III.3 : surfaces de la fonction aérofrein.

- **Aileron droop** :

La fonction « aileron droop » est assurée par tous les ailerons.

Le débattement de ces ailerons est en position bas quand les volets sont on position Sortie pour obtenir une hypersustentation sur les parties des ailes qui ne sont pas équipée de volets.

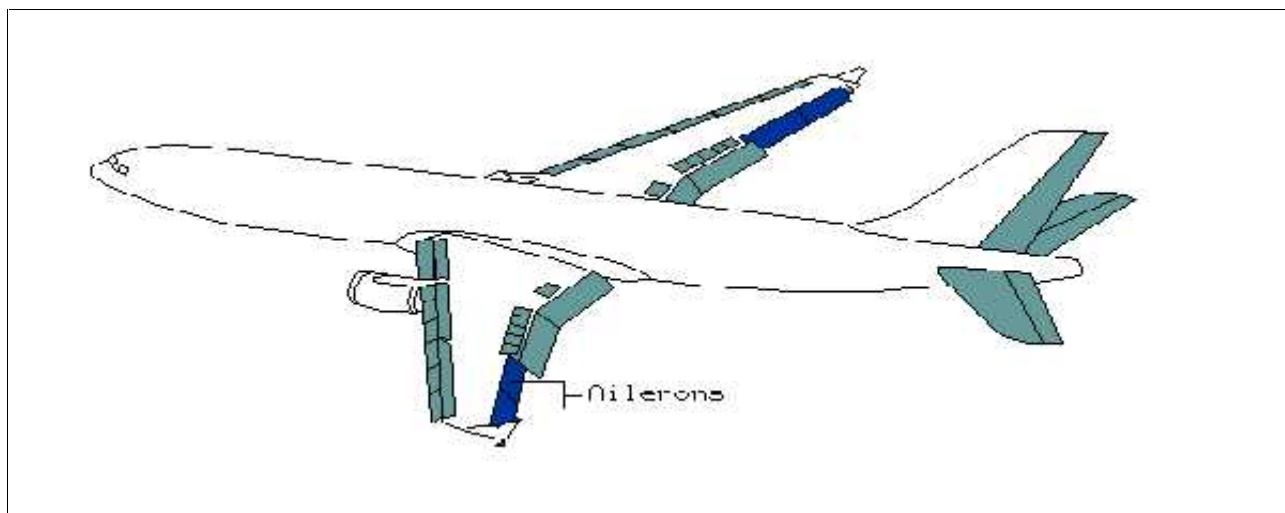


Fig.III.4 : Ailerons abaissée.

- **MLA** : (Maneuver Load Alleviation)

La fonction « MLA » est assurée par deux ailerons et trois spoilers pour chaque aile. Le débattement de ces surfaces se fait vers le haut.

Le rôle de réducteur du charge de manœuvre « MLA » est de réduire les charges appliquées sur la structure de l'aile durant l'exécution des manœuvres.

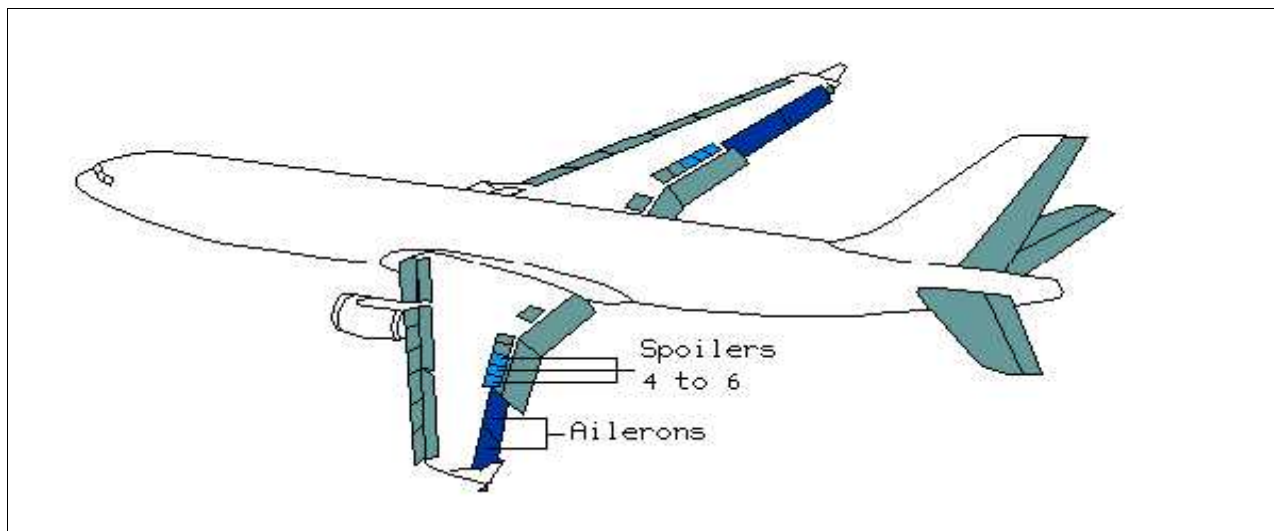


Fig.III.5 : surfaces de la fonction MLA.

III.2-SYSTEMES DE CONTROLE ET D'INDICATION :

III.2.1- Les systèmes de contrôles :

Pour actionner les systèmes de commandes de vol, Le pilote et le copilote disposent des éléments suivants :

- **Mini manche latéral** (Side sticks) :

On trouve un mini manche latéral de chaque côté du poste de pilotage, il est utilisé manuellement pour commander l'avion sur l'axe tangage et roulis.

Il commande les surfaces par l'intermédiaire, calculateur des commandes de vol. Ce manche contient deux interrupteurs, un pour déconnecter le pilote automatique ou pour avoir la Priorité de pilotage et l'autre pour la radio.

Pour certaines procédures de maintenance, il est nécessaire de positionner le manche avec un pin dans la position neutre du tangage et roulis.



Fig.III.6 : Mini manche latéral.

- **Levier aérofrein :**

Le levier aérofrein permet de commander la position des surfaces des aérofreins, et aussi pour la présélection manuelle des spoilers sol.

Pour actionner la position des surfaces aérofrein, le levier doit être poussé vers le bas et placé dans la position voulue.

Pour armer les spoilers sol, le levier doit être tiré vers le haut.

Quand le levier est armé, tous les spoilers sont automatiquement sortis, lors de la touchée au sol.

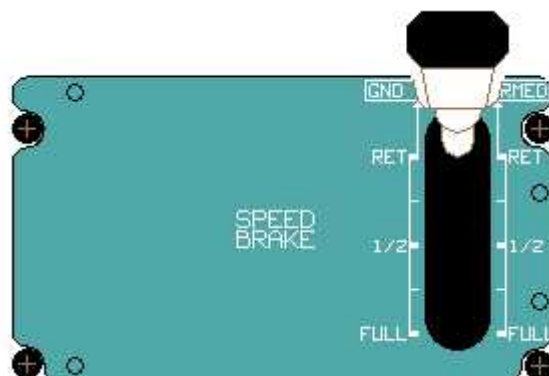


Fig.III.7 : Levier aérofreins.

- **Roues de compensation du stabilisateur horizontal (THS) :**

La commande mécanique du stabilisateur est assurée par les deux roues de trim. Cette Commande mécanique est prioritaire avant la commande électrique.

La commande mécanique doit être utilisée quand le trime automatique tangage (trim auto pitch) est en défaut.

La position du stabilisateur est indiquée en degré sur une échelle adjacente pour chaque roulette.

Lors de l'atterrissage, les jambes des trains d'atterrissage sont comprimées, et si l'indicateur de la pente (attitude tangage) est incapable de donner une valeur, les roues de stabilisateur retournent au milieu de la bande verte.

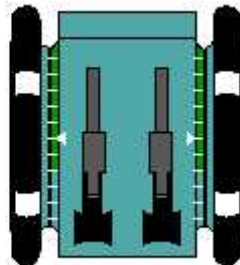


Fig.III.8 : Roues de stabilisateur.

- **Palonnier:**

On trouve deux paires de pédales dans le poste de pilotage. Actionnée par les pieds du pilote, qui commande le déplacement de la gouverne de direction mécaniquement.

Ces pédales ont un dispositif d'ajustement individuel, pour le réglage suivant la morphologie du pilote.



Fig.III.9 : Palonnier.

- **Compensateur de direction :**

Il est situé sur le pylône de poste de pilotage sous forme d'un boîtier à sélecteur de plusieurs positions.

Pour mettre le compensateur de direction à la position zéro, le bouton RESET doit être poussé.

On trime avec la gouverne de direction à droite ou à gauche, cette sélection est transmise au vérin par les intermédiaires calculateurs FCSC.

L'indicateur de compensateur de direction affiche dans la page ECAM la position de la gouverne à gauche ou à droite à une valeur de 0 au 29.9°.

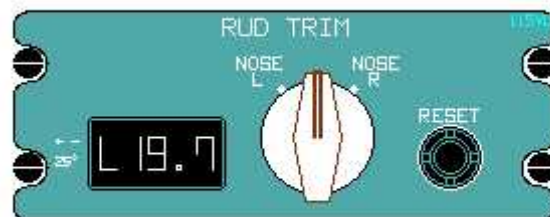


Fig.III.10 : Compensateur de direction.

- **Levier de commande volets bord d'attaque et bord de fuite :**

Levier de commande volets se trouve au poste de pilotage. Il est actionné par le pilote pour commander les volets bord d'attaque et bord de fuite.

Ce levier transmet la demande mécanique sous forme d'un signal électrique vers les calculateurs qui contrôlent les volets.

La commande des volets bord d'attaque et bord de fuite se fait simultanément et en même temps. Le levier doit être tiré pour la détente après la sélection de n'importe quelle position. On trouve cinq positions correspondant aux positions des surfaces de vol. (voir tableau Fig.III.12).

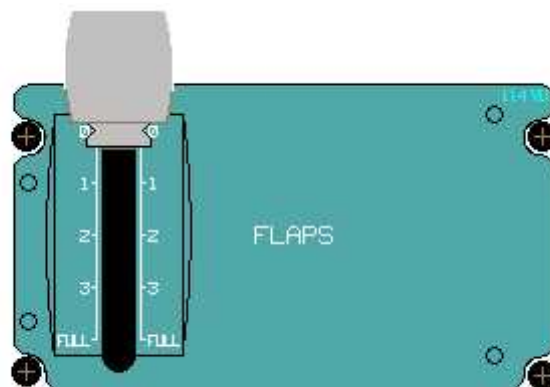


Fig.III.11 : Levier volets.

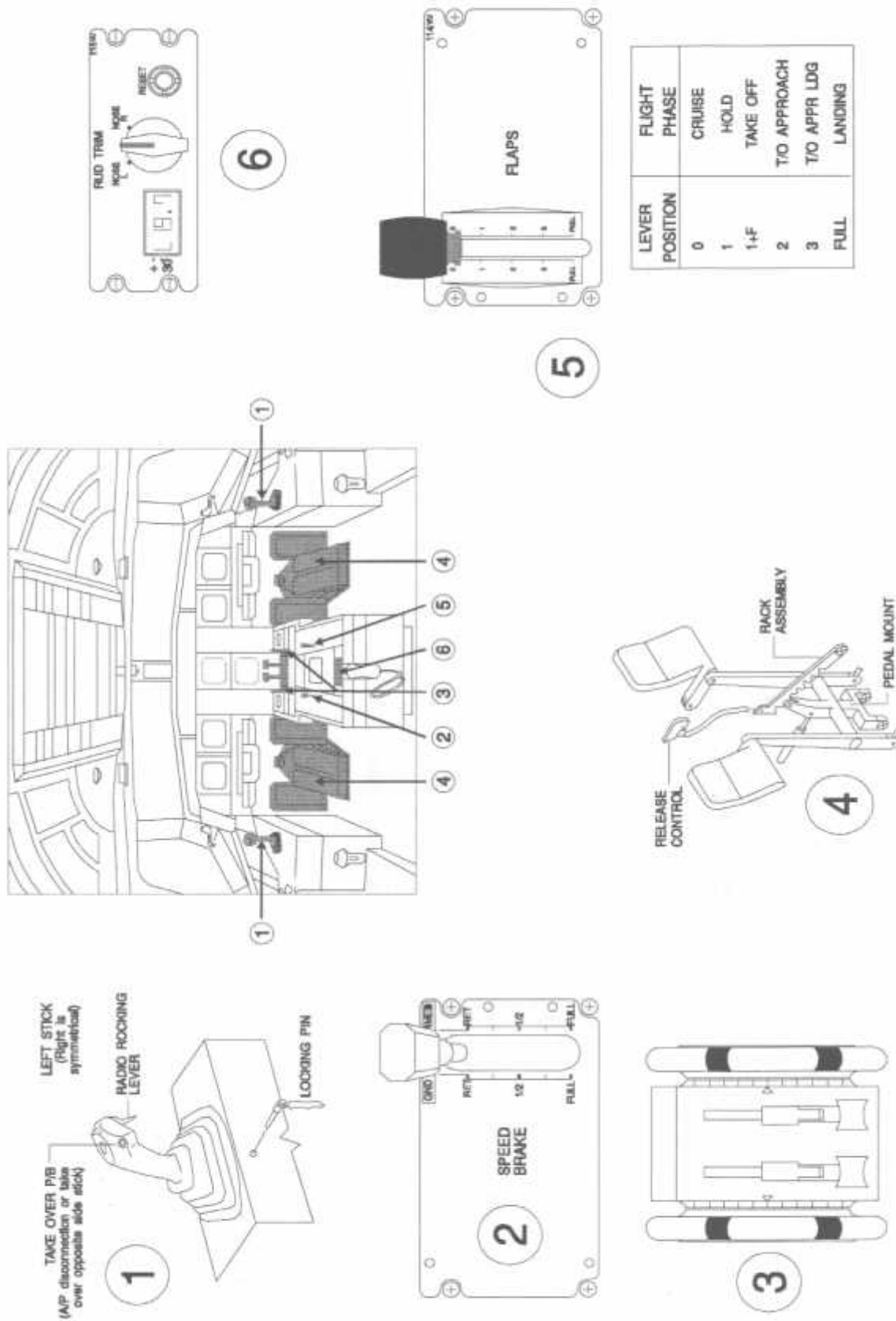


Fig.III.12 : Les systèmes de contrôles.

III.2.2-Les systèmes d'indications :

Les systèmes de commandes de vol utilisent trois pages ECAM, qui affichent les positions des surfaces de commandes de vol, sur des écrans cathodiques d'affichage fixe avec la couleur blanche.

Une pages pour les commandes de vol, une page WHEEL ECAM pour l'indication des surfaces primaire,et une autre pour l'indication des volets bord d'attaque et bord de fuite.

On trouve différentes indications des surfaces de commandes sur la page, dans les cas normal et anormal.

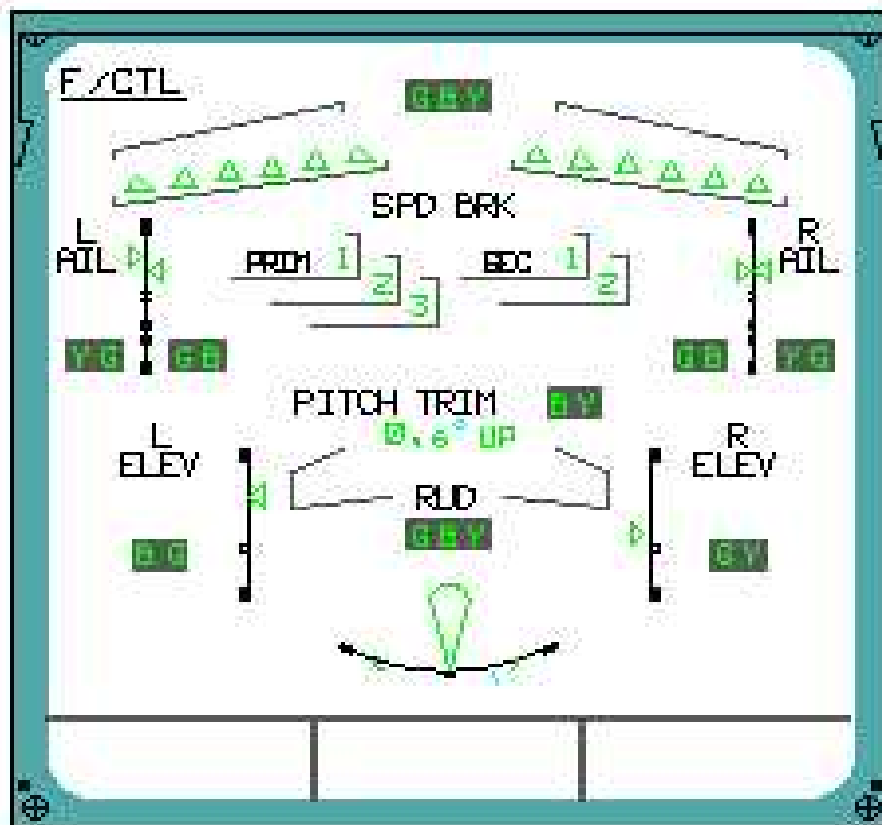





Fig.III.13 : Page ECAM des commandes de vol.






1. Position et indication des spoilers sur la page ECAM :

- Le système hydraulique :

Le système hydraulique dans le cas normal est allumé en vert.

-  L'affichage normal en vert.
-  Ambre : quand les calculateurs des commandes de vol détectent une baisse pression dans le système hydraulique.
-  Caché : quand l'information n'est pas disponible par FCDC.

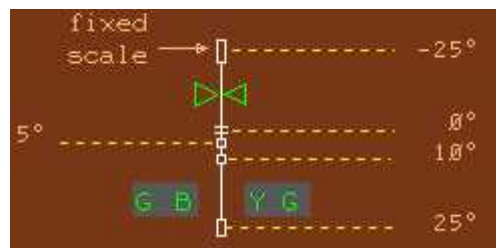
- Position des surfaces :

-  Cas normal : en vert le spoiler sortie.
-  Ambre : spoilers sortie avec un défaut sur le système hydraulique ou électrique.
-  Cas normal, en vert : le spoiler entré.
-  Ambre : spoiler numéro 3 entré avec défaut.
-  Ambre : quand il n'y a pas d'information par FCDC.

L'indication de la position des spoilers dans la page ECAM WHEEL est Identique a la page ECAM des commande de vol précédente.

2. Position et indication des ailerons dans la page ECAM :

La position des ailerons est indiquée en vert sur une graduation blanche.



- Le système hydraulique :

L'alimentation hydraulique de la servocommande ailerons est affichée :



Vert : pression hydraulique normale.



Ambre : pression du système hydraulique anormal.



Ligne ambre : un défaut électrique est détecté dans la servocommande.

- Position des surfaces:



Position actuelle de l'aileron, cette indication peut se déplacer Proportionnellement avec le débattement du vérin, (-50° +/- 2, +50° +/- 2).



Ambre : quand les deux servocommandes sont en défaut électrique ou hydraulique.



Quand l'information de position n'est pas donnée par FCDC.

3. Position et indication des calculateurs sur la page ECAM :



L'indication normale des calculateurs est de couleur verte.

Le nombre en vert et la case en gris : le calculateur est dans le cas normal.

Le nombre et la case ambre : calculateur en défaut.

Le nombre remplacé par un X ambre : l'information de position n'est pas disponible par le FCDC.

4. Position et indication du stabilisateur (pitch trim) sur la page ECAM :

Le système de pression hydraulique est identique, que celui des spoilers.



En couleur blanche : quand le stabilisateur est en mode normal.



Ambre : quand la commande du stabilisateur THS est coincée.



Vert : le stabilisateur est en position haut.



Vert : le stabilisateur est en position bas.



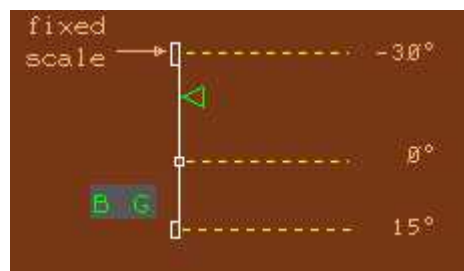
Ambre : quand les circuits hydrauliques bleu et jaune sont en Basse pression.



Quand l'information de position du stabilisateur n'est pas reçu depuis le FCDC.

5. Position et indication de la gouverne de profondeur sur la page ECAM :

La position de la gouverne de profondeur est indiquée en vert sur une graduation blanche.



• Le système hydraulique :

La pression hydraulique de la servocommande gouverne de profondeur est affichée :



Vert : pression hydraulique normale.



Ambre : pression du système hydraulique anormal.



Ligne ambre : un défaut électrique est détecté dans la servocommande.

• Position des surfaces :



Position actuelle de l'aileron, cette indication peut se déplacer Proportionnellement avec le débattement du vérin, (-30° +/- 2°, + 15 +/- 2°).



Ambre : quand les deux servocommandes sont en défaut électrique ou hydraulique.

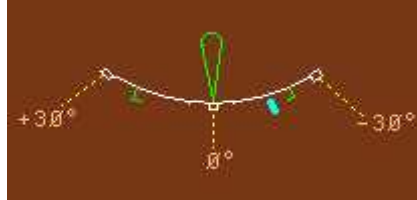


Quand l'information de position n'est pas donnée par FCDC.

6. **Positon et indication de la gouverne de direction sur la page ECAM :**

L'indication normale de la gouverne de direction sur ECAM est affichée en vert.

L'indication de pression du système hydraulique est identique avec celle des spoilers.



Vert : dans les condition normale.



Ambre : baisse pression dans les trois systèmes hydraulique.



Quand l'information de position de la gouverne de direction n'est pas reçu depuis FCDC.

7. **Les panneaux de commandes de vol :**

• **Le bouton poussoir du calculateur :**

Le bouton poussoir du calculateur sert à alimenter, couper l'alimentation, et remettre à zéro les calculateurs de commandes de vol primaire FCPC, et les calculateurs de commandes de vol secondaire FCSC.

OFF/R : En couleur blanche : quand le calculateur qui correspond n'est pas activé.

FAULT : Deviens ambre : quand un défaut est détecté.

FAULT s'étain en sélectionnons OFF.

PRIM : Calculateurs de commandes de vol primaire FCPC.

SEC : Calculateurs de commandes de vol secondaire FCSC.

OFF : En couleur blanche : en cas d'une faute ou turbulence.

L'interrupteur du bouton poussoir sera sélectionner dans la position OFF.

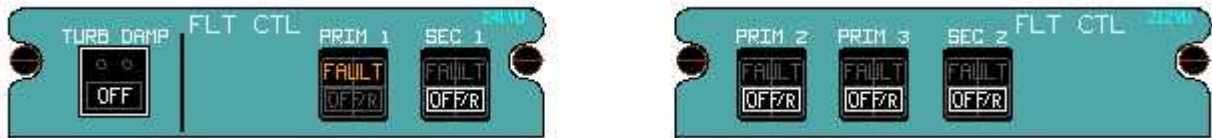


Fig.III.14 : Les panneaux des calculateurs.

- La priorité du mini manche :

Ces panneaux indiquent la priorité du mini manche, entre le pilote et le copilote. Cela sous forme de flèches lumineuses.

La flèche rouge s'affiche en face du pilote qui perd la priorité.

CAPT ou F/O : Vert en face du pilote qui prend la priorité, si l'autre mini manche n'est pas dans la position neutre.



Fig.III.15 : priorité du mini manche.

III.3- PHILOSOPHIE DES COMMANDES DE VOL A330-200 :

III.3.1-Introduction :

C'est une nouvelle philosophie qui s'appelle « FLY BY WIRE PHILOSOPHIE » adoptée par les constructeurs, elle a été évaluée avec le temps.

Cette philosophie a pour avantage selon le constructeur :

- Une amélioration dans la redondance.
- Une bonne maniabilité.
- De meilleures performances.

Toutes les surfaces des commandes de vol sont actionnées hydrauliquement et contrôlées électriquement.

De plus, le stabilisateur et la gouverne de direction ont une commande mécanique « BACK UP » en cas d'une panne électrique.

III.3.2-Principe du système classique :

Dans le système classique on peut remarquer :

Une liaison mécanique entre la commande et la gouverne, assurée par des biellettes, des câbles, et éventuellement assistance de compensateurs d'évolution.

Une liaison hydraulique qui comprend des câbles, des biellettes, des servocommandes et éventuellement assistance de compensateurs d'évolution.

On propose comme exemple la commande de direction.

Les palonniers entraînent en rotation un arbre de conjugaison. Le mouvement est ensuite renvoyé par câbles à un régulateur de tension situé dans le cône de queue.

Le régulateur de tension transmet donc le mouvement des palonniers à la gouverne de direction par l'intermédiaire d'une biellette.

Généralement la gouverne sera équipée de tab de compensation.

Pour la liaison hydraulique on trouve une servocommande qui est capable de reproduire un signal d'entrée qui utilise une énergie de servitude hydraulique, pour effectuer tout ou partie du travail nécessaire au déplacement de la gouverne ou au maintien de son braquage.

Cette servocommande est installée entre la commande pilote et la gouverne.

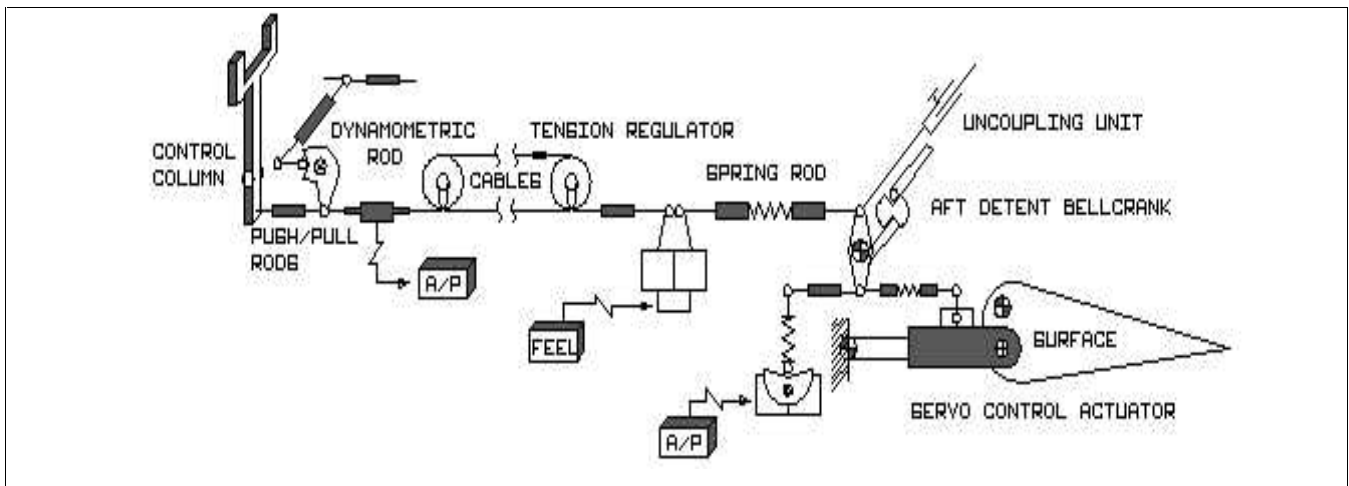


Fig.III.17 : Le système classique.

III.3.3-Principe du système de commandes de vol adopté par le constructeur :

Il est envisagé actuellement de généraliser les systèmes purement électrique et de supprimer toute liaison mécanique entre les commandes et les servocommandes électro-hydraulique. Cette conception beaucoup plus simple et légère, offre des possibilités de contrôle très variées.

Le constructeur de l'Airbus 330-200 a adopté cette nouvelle technologie. Cet avion a permis de confirmer la fiabilité des composants électriques et électroniques.

Les intérêts majeurs des commandes électriques sont la précision et la rapidité.

Les signaux de commande sont traités dans des calculateurs électroniques qui reçoivent des informations qui sont fonction des paramètres de vol. L'avion est stabilisé artificiellement car les ordres envoyés par les calculateurs vont s'opposer à tout mouvement de l'avion, qui l'éloignerait de sa position d'équilibre stable.

La contre partie de cette nouvelle technologie est la nécessité de prévoir la redondance, la surveillance, la séparation des chaînes de commande électriques, la partition des gouvernes et l'automatisme des commutations en cas de panne.

De plus une commande mécanique reste en attente en cas de perte totale de la génération électrique.

Il y a une réponse de l'avion qui sera de retour vers les calculateurs, pour savoir la configuration de l'avion en vol, et pour arrêter le signal électrique envoyé par les calculateurs.

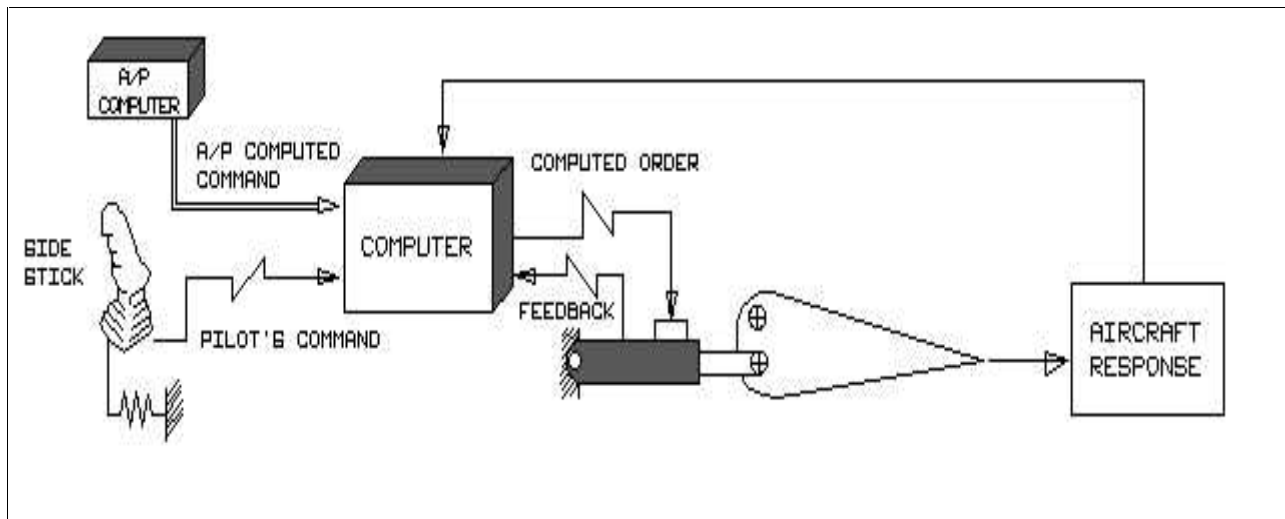


Fig.III.18 : La nouvelle philosophie.

III.3.4-Comparative des deux systèmes :

Dans cette nouvelle génération, les organes de pilotage classique sont remplacés comme suite :

- Le volant est remplacé par un mini manche.
- La chaîne de liaison mécanique est remplacée par des fils ou des câbles électriques et des calculateurs.
Les calculateurs contrôlent les servocommandes.
- La commande de pilote automatique, est transmise directement aux calculateurs.
- Le système de sensation artificiel est remplacé par un ressort de centrage du mini manche.
- L'action de retour d'asservissement mécanique de la servocommande classique, est remplacée par un retour d'asservissement électrique vers les calculateurs.
- La fonction CWS (Control Wheel Steering) est assurée par les calculateurs, qui utilisent la réponse de l'avion pour atteindre l'altitude demandée et la maintenir.

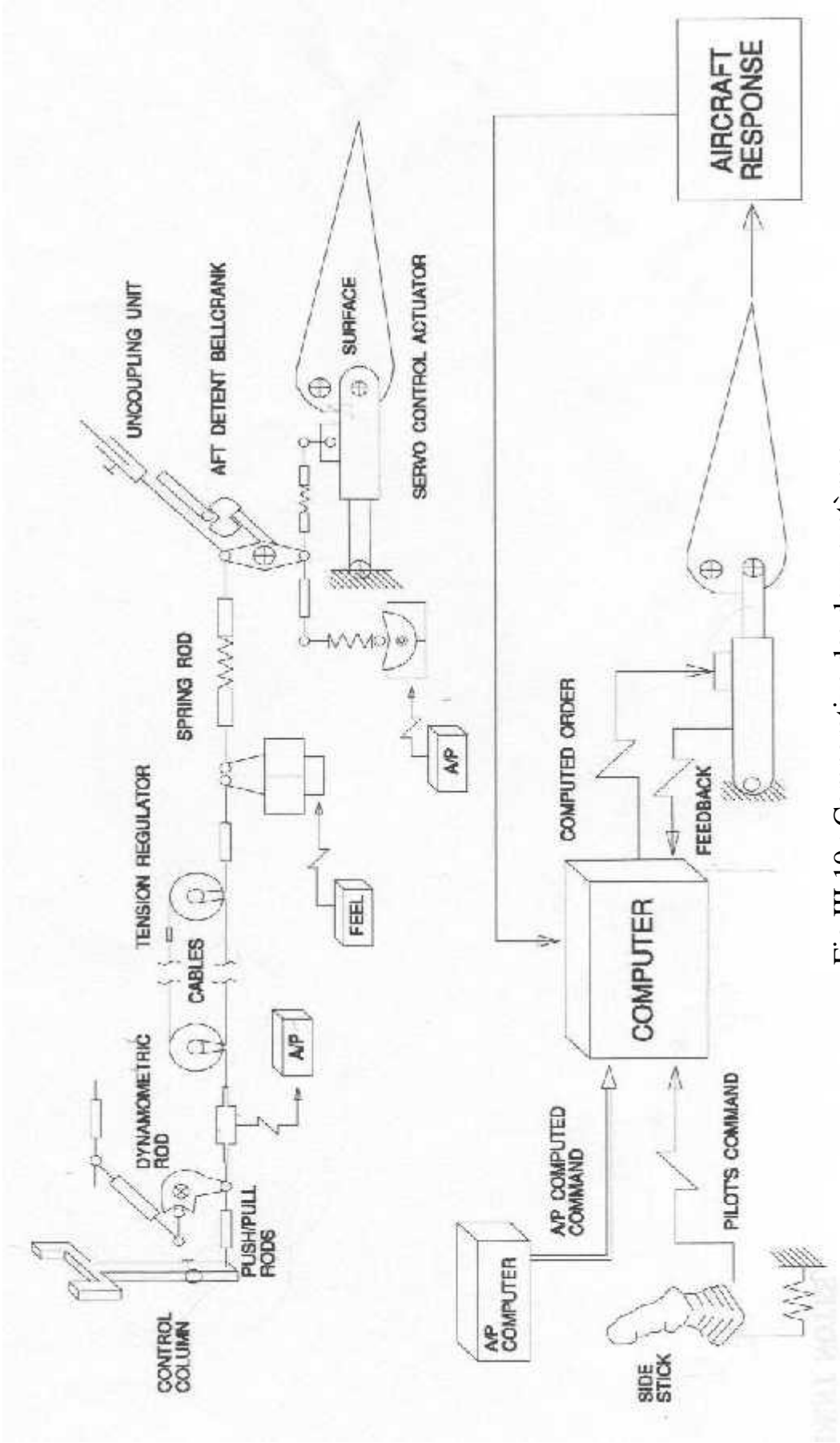


Fig.III.19 : Comparative des deux systèmes.

IV.1-DESPOSITION GENERALE DES CALCULATEURS :

Le contrôle de l'A330-200 durant toute la phase de vol est entièrement géré par les calculateurs.

Ces calculateurs sont disposés de la manière suivante : (Fig.IV.1)

- 03 FCPC (Flight Control Primary Computer).
- 02 FCSC (Flight Control Secondary Computer).
- 02 FCDC (Flight Control Data Concentrator).

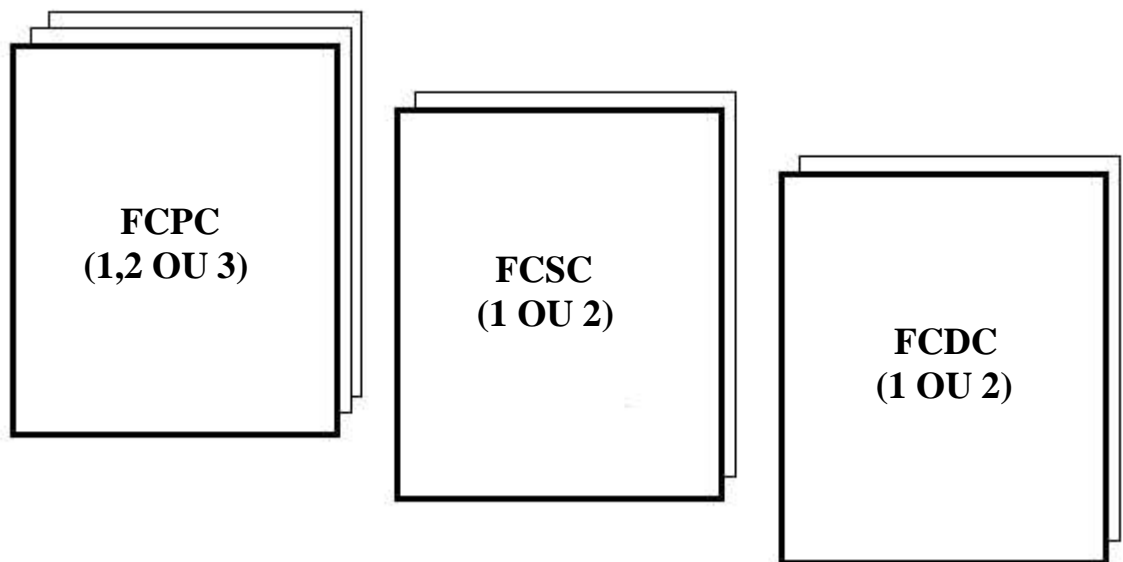


Fig.IV.1: Disposition des calculateurs.

Ces calculateurs donnent des ordres de débattement des gouvernes suivant les lois préétablies à partir de l'action du pilote ou du système de pilotage automatique.

Tous les calculateurs sont situés dans la soute électronique de l'avion (Fig.IV.2).

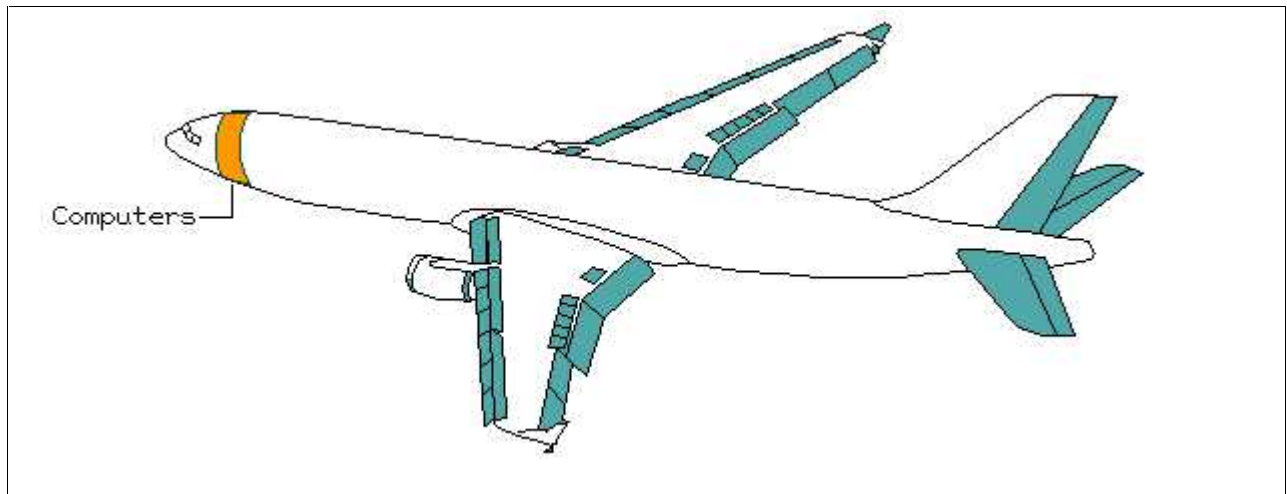


Fig.IV.2 : Emplacement des calculateurs dans l'avion.

Le rôle de ces calculateurs, est le contrôle permanent et la surveillance des systèmes de commandes de vol. Ils enregistrent et mémorisent aussi les anomalies pour les opérations de maintenance.

Seul, un ordinateur « FCPC1 » actionne les gouvernes pendant que les autres sont en position « Stand by ». Mais tous les calculateurs fonctionnent en permanence pour s'assurer de la continuité.

Le FCPC1 est le calculateur principal (MASTER).

Tous les calculateurs calculent les ordres de déflexion des surfaces, mais ils utilisent les ordres depuis le calculateur principale « MASTER » pour contrôler les servocommandes associées aux calculateurs.

En cas de panne d'un ordinateur, l'autre prend le relais suivant la logique (Fig.IV.3).

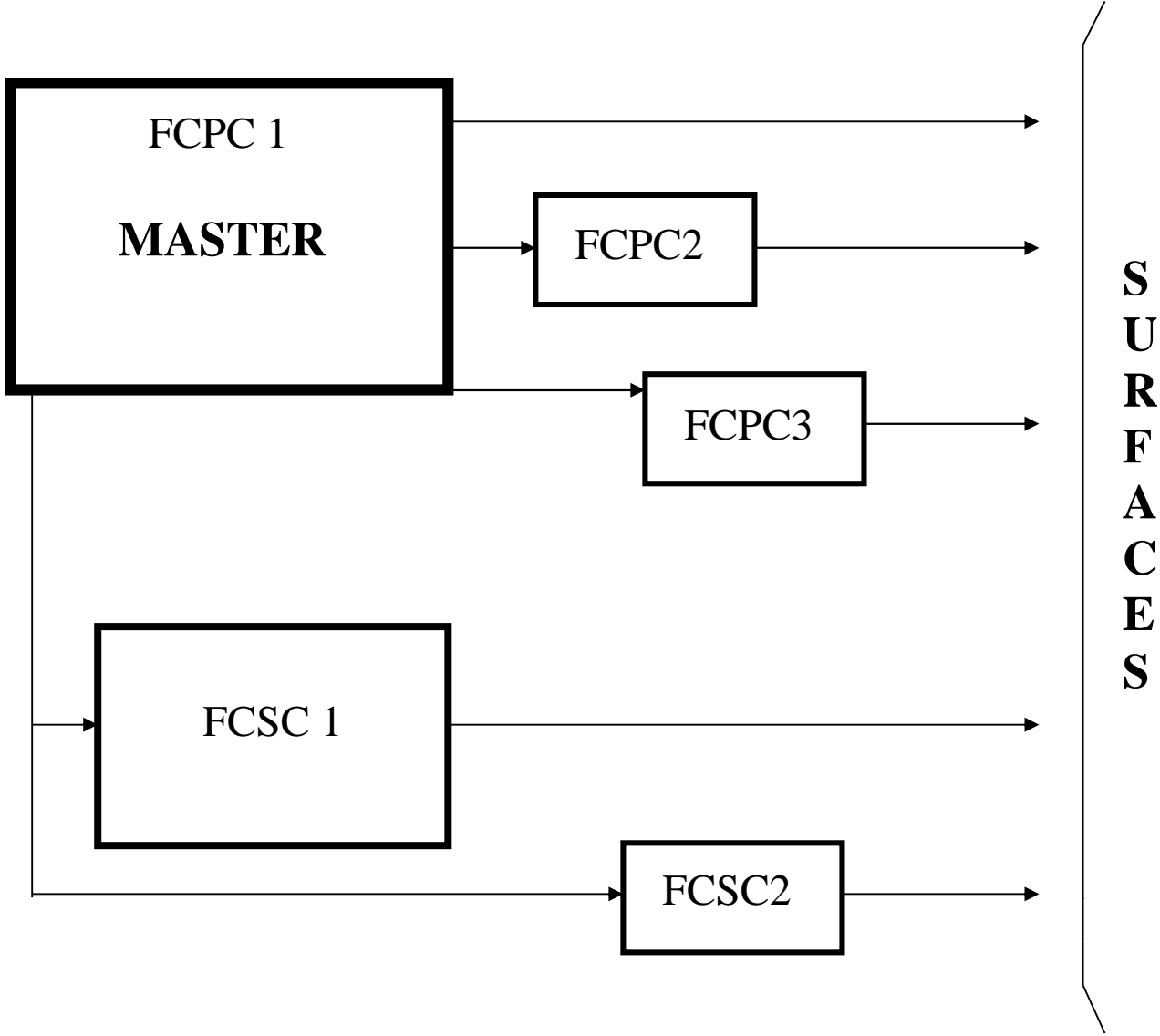


Fig.IV.3 : Philosophie des calculateurs.

IV.2- FONCTIONNEMENT DES CALCULATEURS : (Computers)

IV.2.1- FCPC :

Ce calculateur calcule les points suivants :

- Loi de commande.
- Contrôle et surveillance de la « boucle ».
- Engagement des lois de commande.
- Surveillance interne du calculateur et indication des anomalies (fautes).
- Validation des données d'entrée.
- Calcul des caractéristiques des vitesses.

IV.2.2- FCSC :

Identique au FCPC mais ne calcule pas, les caractéristiques des vitesses.

IV.2.3- FCDC :

Ce calculateur concentre toutes les données reçues et avertissent le pilote de toute anomalie affectant le système de commande de vol.

Il permet aussi d'assister aux opérations de maintenance pour la vérification des systèmes et les dépannages.

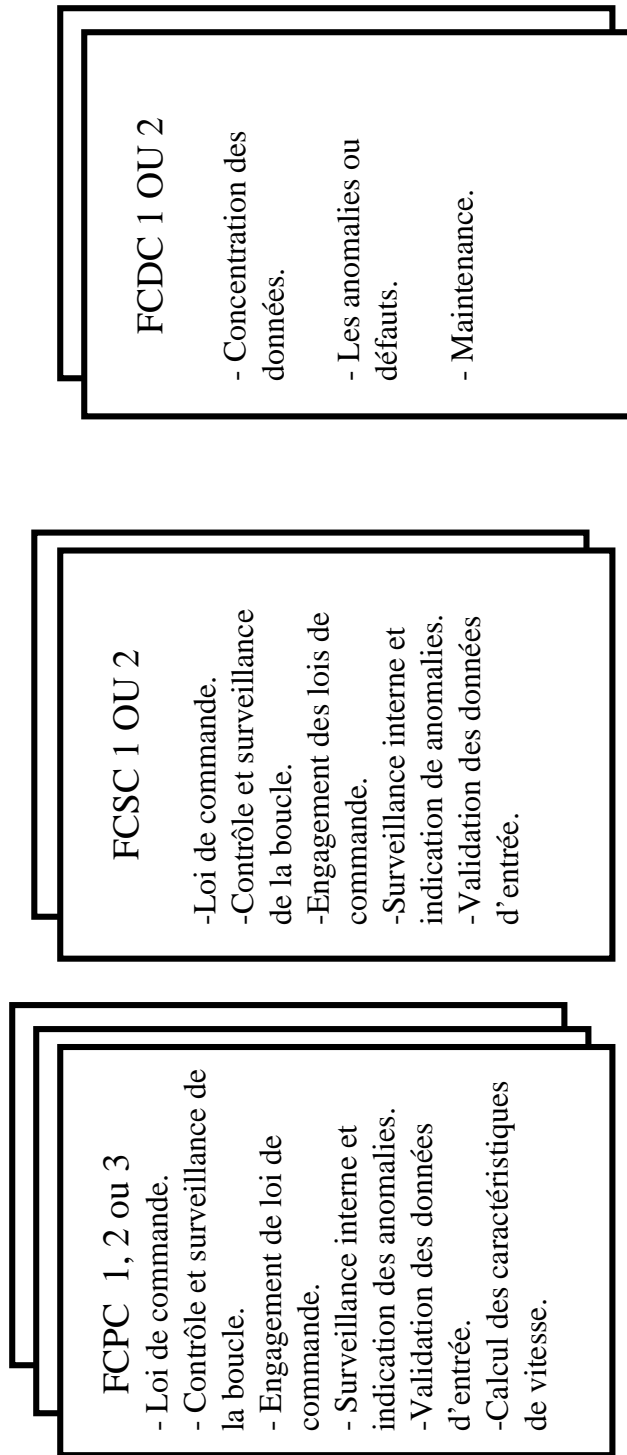


Fig.IV.4- Fonctionnement de chaque calculateur.

IV.3- MODES DE CALCUL :

IV.3.1- Principe de base :

Le pilote donne des ordres de débattement des gouvernes à partir du mini manche latéral. Les informations sont transmises aux calculateurs qui calculent le débattement des gouvernes optimum. La réponse de la configuration de l'avion est obtenu par plusieurs « feed back » (boucle) jusqu'à la réponse désirée par les calculateurs. (Fig.IV.5)

La loi de calcul est dite « Normal » pour assurer la protection entière de l'enveloppe de vol de l'avion.

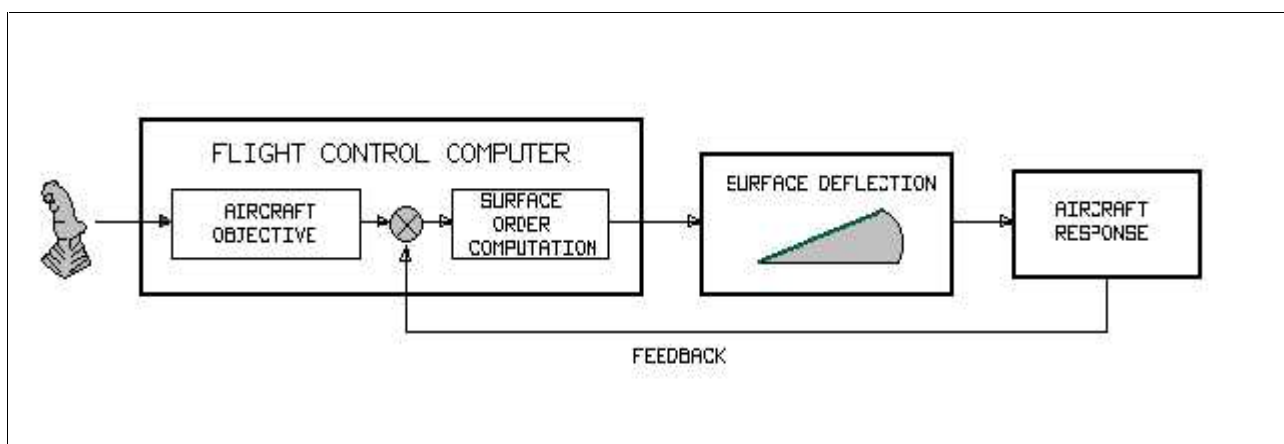


Fig.IV.5 : Principe de base.

IV.3.2- Modes de vol : (Fig.IV.6)

Il existe 03 modes de vol appelés:

- Mode « SOL » (ground mode).
- Mode « VOL » (flight mode).
- Mode « ARRONDI » (flare mode).

1- Le mode SOL :

Durant le mode « SOL », la relation entre le débattement des gouvernes (ailerons et profondeur) est « directe » suivant le débattement du mini manche latéral c'est-à-dire : aucune fonction de calcul. La gouverne de direction est contrôlée mécaniquement par les pédales du palonnier. Le mode « SOL » est activé après le mode « arrondi » quand les atterrisseurs principaux sont compressés avec une confirmation de l'assiette de l'avion.

2- Le mode VOL :

Dans le mode « VOL » les lois normales de calcul sont :

- Loi Nz (Nz Law) pour le contrôle du tangage et la protection du facteur de charge.
- Loi latérale normale (Latéral Normal Law) pour le contrôle latéral incluant la protection de l'assiette de l'avion (bank angle)
- Protection des autres paramètres tels : survitesse (high speed), angle d'attitude de tangage () et angle de décrochage

Le mode « VOL » est activé quand les atterrisseurs principaux sont en extension avec la confirmation de l'assiette de l'avion.

3- Le mode ARRONDI :

Le mode « ARRONDI » permet la protection des paramètres tels loi normal latéral et l'angle de décrochage et pour le contrôle de l'arrondi conventionnel.

Ce mode est activé, après le mode « Vol » à partir d'une certaine altitude.

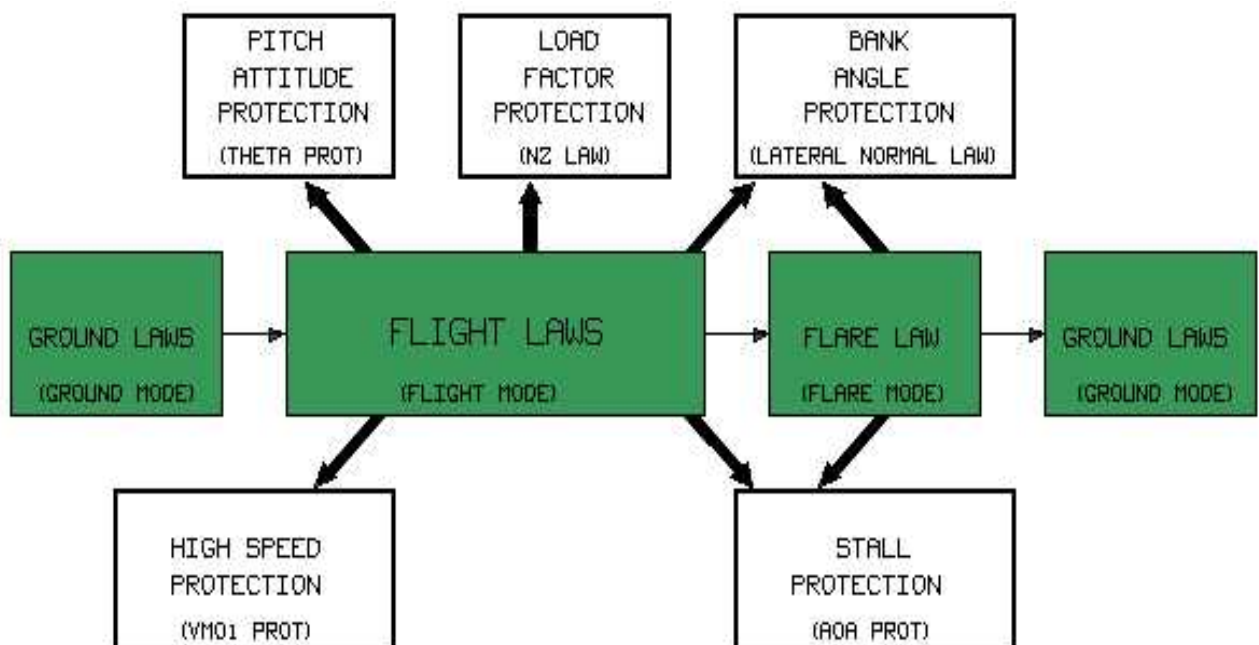


Fig.IV.6 : Les modes de vol et les protections.

IV.3.3- Reconfiguration des lois de calcul : (Fig.VI.7)

Le reconfiguration des lois est divisée en 02 familles :

- Loi dite « alternée »
- Loi dite « directe »

a) Lois « alternées » :

Il n'y a pas une perte de protection dans la loi normale.

Après un signale d'anomalie, Le transfert de la loi de calcul « normal » a « alternée » est automatique. Elle dépend du nombre et de la nature des anomalies.

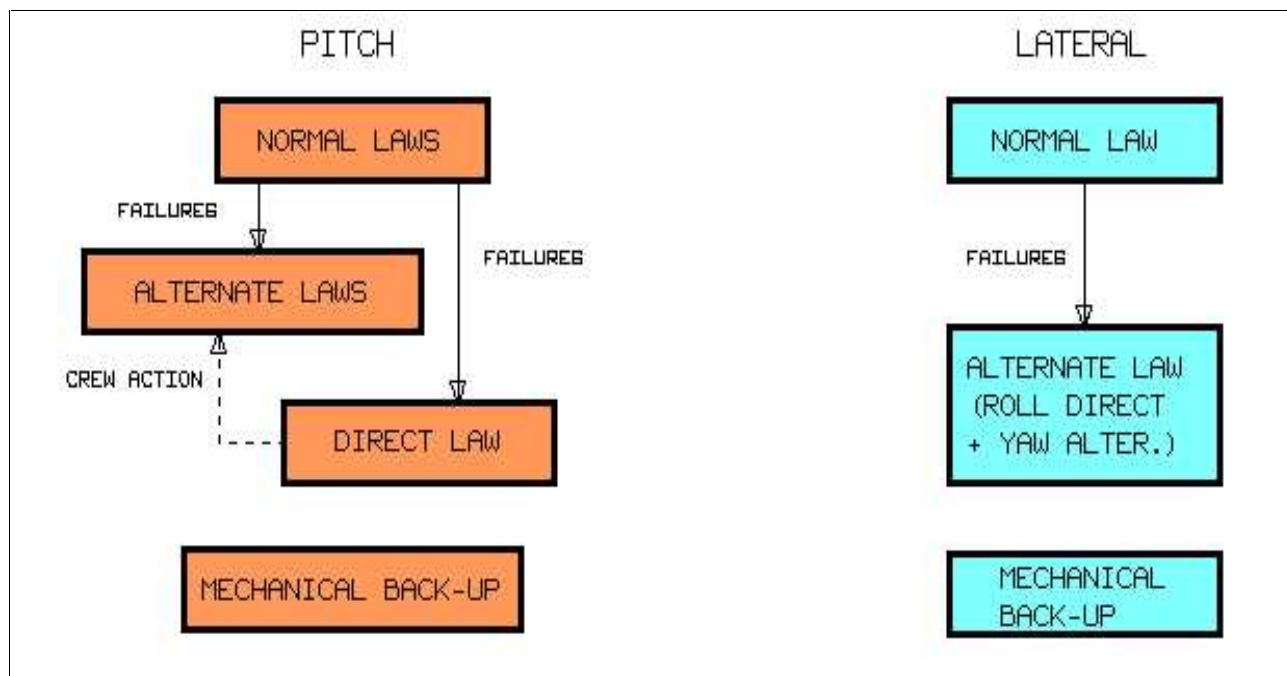


Fig.IV.7 : Reconfiguration des lois de calcul.

Exemples de dégradation des lois alternées :

- **Alternée 1** : Perte de la protection de l'attitude de tangage, la protection de la survitesse et de l'angle de décrochage est assurée.
- **Alternée 1A** : en plus de l'alternée 1 la perte de protection de l'angle de décrochage.
- **Alternée 2** : Perte de la protection de l'attitude de tangage. La survitesse et le décrochage sont assurés. Mais le contrôle latéral est perdu. Elle est donc obtenue par la loi latérale alternée par le contrôle du roulis direct et le lacet alterné.

- **Alternée 2A** : en plus de l'alternée 2 la perte de protection de l'angle de décrochage.
- **Alternée 2B** : la protection l'angle d'attitude de tangage, l'assiette de l'avion, la survitesse et l'angle de décrochage sont perdu, et la loi normale latérale est remplacée par la loi alternée latérale.

b) Lois « directes » :

Quand toutes les protections sont perdues, le mode « VOL » et le mode « ARRONDI », le contrôle du tangage et du roulis sont directe à partir du mini manche latéral. Aucun calcul de protection n'est assuré. Seul le calcul de la loi alternée pour le contrôle du lacet. Dans ce cas, on a aucun « feed back » de l'avion. La réponse de l'avion est contrôlée par le pilote.

Dans les lois directes le principe de base change. (Voir Fig.IV.8).

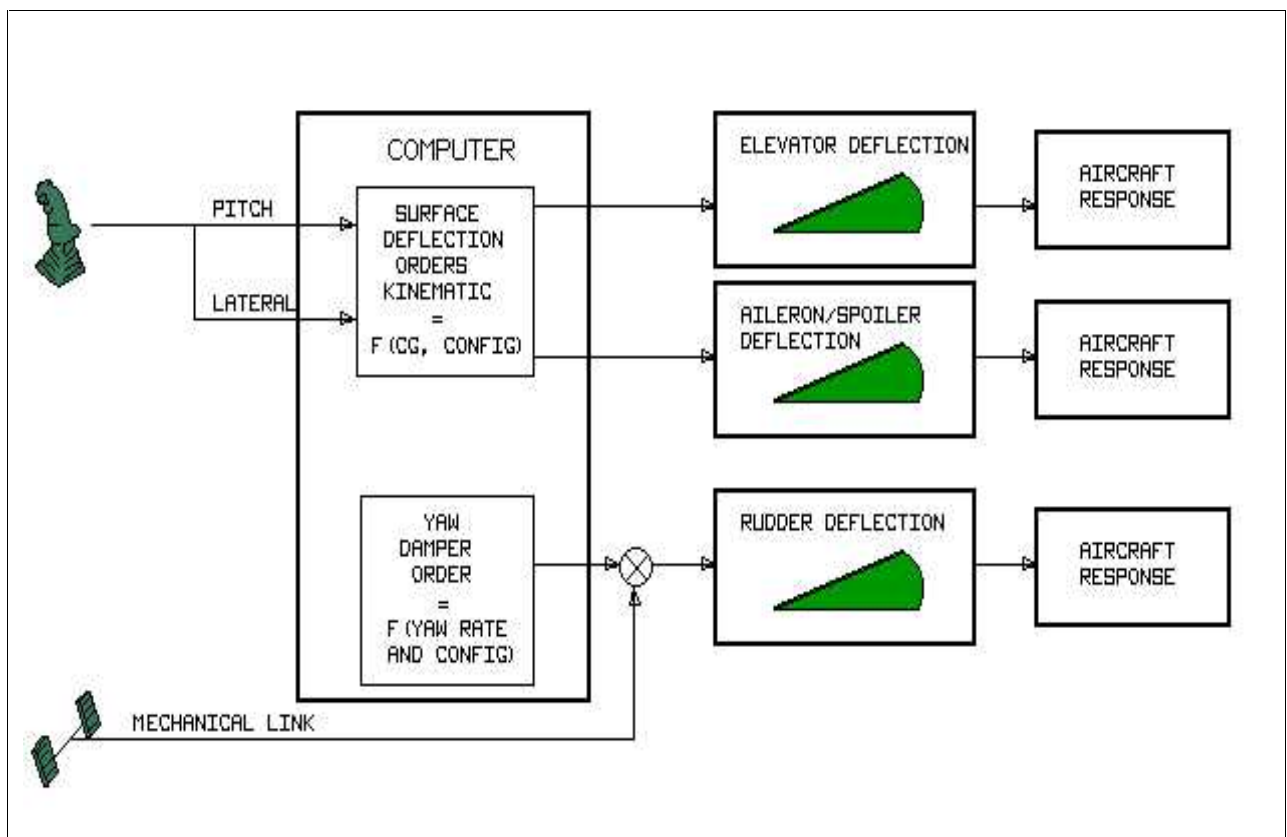


Fig.IV.8 : Principe de base des lois directes.

IV.3.4- Mechanical Back Up :

Le contrôle longitudinal de l'avion est obtenu « mécaniquement » par la roue du compensateur longitudinal (trim wheel) au niveau du cockpit, sans débattement des gouvernes de profondeur, uniquement avec le débattement du stabilisateur horizontal.

Le contrôle latéral est obtenu à partir des pédales du palonnier. Le mini manche latéral n'a aucune action.

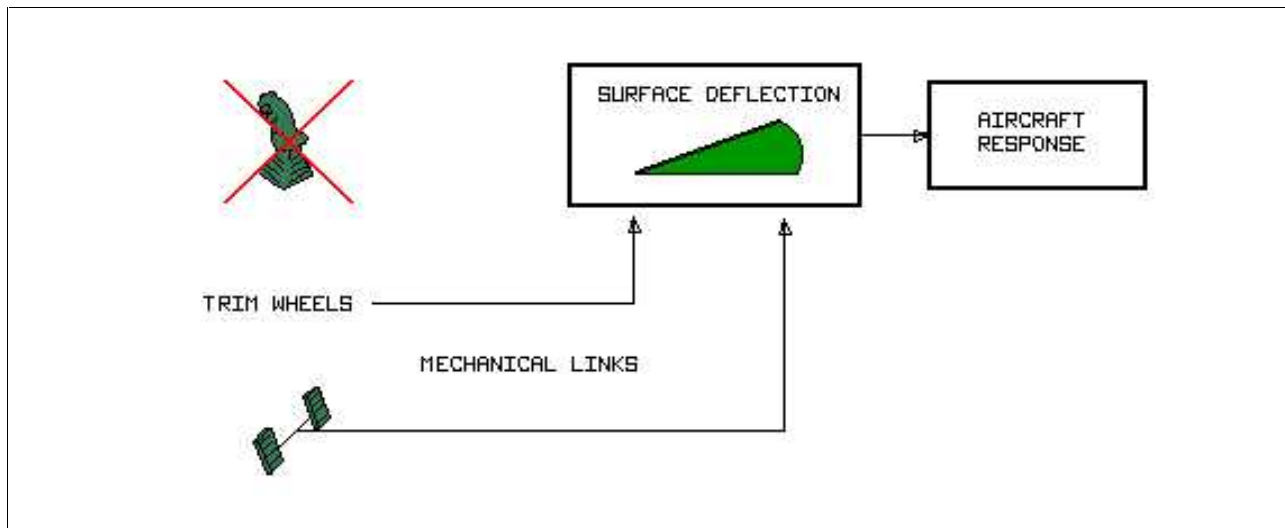


Fig.IV.9 : Le système de secoure mécanique.

IV.4- EXECUTION DES LOIS DE CONTROLE : (Fig.IV.10)

Les lois normales sont exécutées, seulement dans les calculateurs FCPC.

Les FCSC ne peuvent calculer que les lois alternés du lacet et les lois directes du tangage et roulis.

Pour calculer ces lois, les calculateurs demandent diverses entrées, transmises par les systèmes de commandes de vol ou par d'autres systèmes.

Les calculateurs FCPC et FCSC ont besoin de plusieurs informations fournies par les systèmes suivants :

SFCC : qui donne la position des volets.

LGCU : qui donne la position des trains d'atterrissage.

ADIRU : qui donne les informations concernant la vitesse, la pression, la température, l'altitude, ainsi que la position de l'avion.

FMGEC : qui donne les informations de l'enveloppe de vol, comme la gestion de vol.

Accéléromètres : qui calcul « g » et indique la commande aérofreins.

L'ordre des pédales (gouverne de direction), **l'ordre du mini manche**, et **le gyromètre de lacet**.

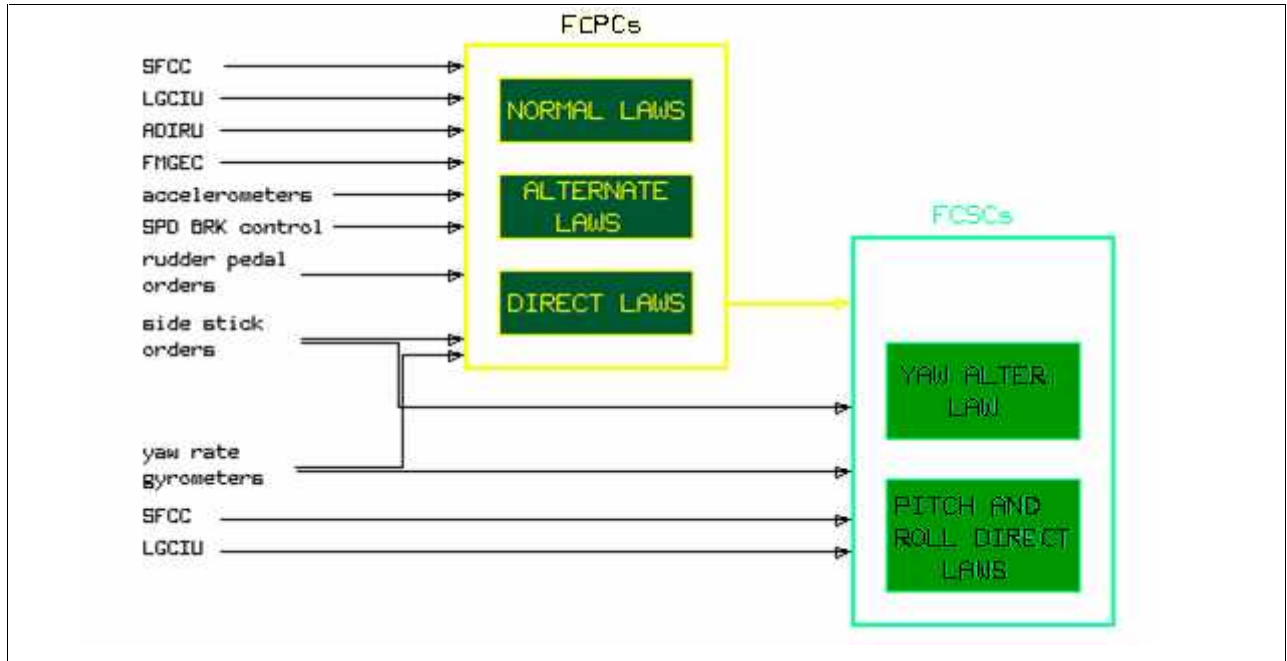


Fig.IV.10 : Les lois de contrôle.

V.1-GENERALITES SUR LE SYSTEME HYDRAULIQUE DE A330-200 :

Toutes les surfaces de vol sont actionnées hydrauliquement par les servocommandes et contrôlées électriquement par les calculateurs.

L'avion A330-200 dispose de 03 systèmes hydrauliques indépendants désignés par « VERT » (green), « BLEU » (blue) et « JAUNE » (yellow).

La pression hydraulique est obtenue à la valeur de 3000 PSI (200bars environ) par les moteurs hydrauliques. Ceux ci sont entraînés, par l'intermédiaire d'engrenage, par les 02 turbofans en marche pour l'obtention de la pression.

Le circuit hydraulique « VERT » est produit par les moteurs hydrauliques des turbos fans 1 et 2.

Le circuit hydraulique « BLEU » par le moteur hydraulique du turbo fan 1.

Le circuit hydraulique « JAUNE » par le moteur hydraulique du turbo fan 2.

Les moteurs hydrauliques entraînés électriquement sont placés en parallèles aux moteurs ci dessus. Ils peuvent être actionnés manuellement ou automatiquement (VERT et JAUNE) en cas de panne d'un turbo fan. Ces pompes sont alimentés en 115V et triphasés.

Le fonctionnement et la surveillance du système hydraulique sont assurés par le calculateur HSMU (Hydraulic System Monitoring Unit).

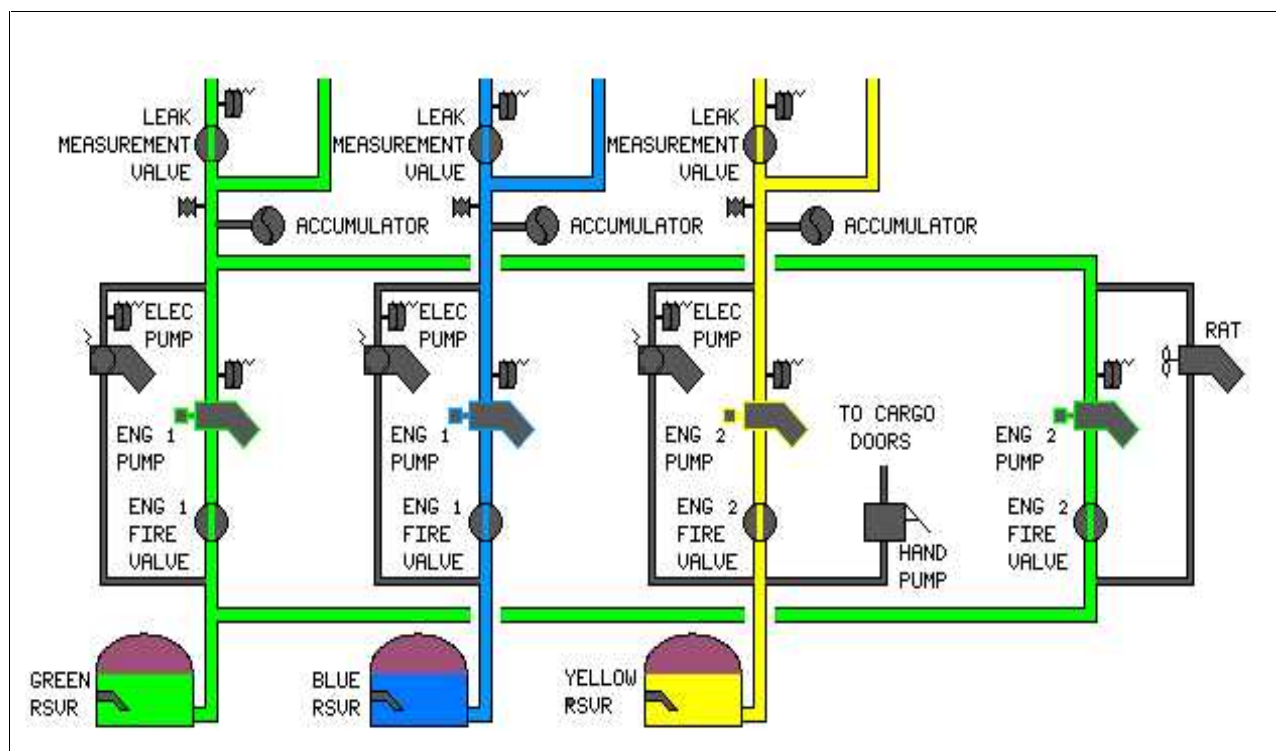


Fig.V.1 : Le système hydraulique de l'A 330-200.

V.2- SYSTEME DE COMMANDE DE VOL ELECTRIQUE :

V.2.1- Les surfaces de vol :

Toutes les surfaces de commandes de vol sont opérées hydrauliquement par des servocommandes, qui reçoivent des signaux électriques des calculateurs.

La gouverne de direction et le THS peuvent aussi être actionné mécaniquement.

Dans le cas d'une panne électrique le BYDU (Back-up Yaw Damper Unit) fournit l'amortissement dans la gouverne de direction.

V.2.2- Les servocommandes :

Toutes les servocommandes sont alimentées hydrauliquement par une des trois circuits hydrauliques (G, B, Y). Sauf le vérin de compensation de la gouverne de direction TRIM, l'unité de limiteur de course de la gouverne de direction, l'unité de limiteur de course palonniers, et les servomoteurs du THS qui sont entraînée électriquement.

Il y a deux servocommande pour chaque ailerons, chaque gouverne de profondeurs, et pour la fonction de l'amortisseur de lacet (Yaw Damper). On mode normale une servocommande actionne la surface. Et dans la priorité des servocommandes, une sera en mode active et la deuxième en mode amortie.

V.2.3- Les calculateurs :

La relation entre les calculateurs et les servocommandes est indiquée dans le schéma ci-dessous. Les servocommandes des ailerons intérieurs, des gouvernes de profondeur, et de l'amortisseur de lacet sont connectées avec deux calculateurs un FCPC et un FCSC.

Dans la configuration normale les calculateurs assurent le contrôle de la boucle d'asservissement. En cas d'une panne électrique ou d'une perte des circuits hydrauliques, la configuration de priorité est indiquée dans le schéma suivant.

V.2.4- L'avantage du contrôle électrique :

L'avantage du contrôle électrique est :

- D'éliminé l'encombrement des instrument.
- La qualité et la fiabilité de manœuvre sollicité par des commandes très simples comme le mini manche (Side Stick).

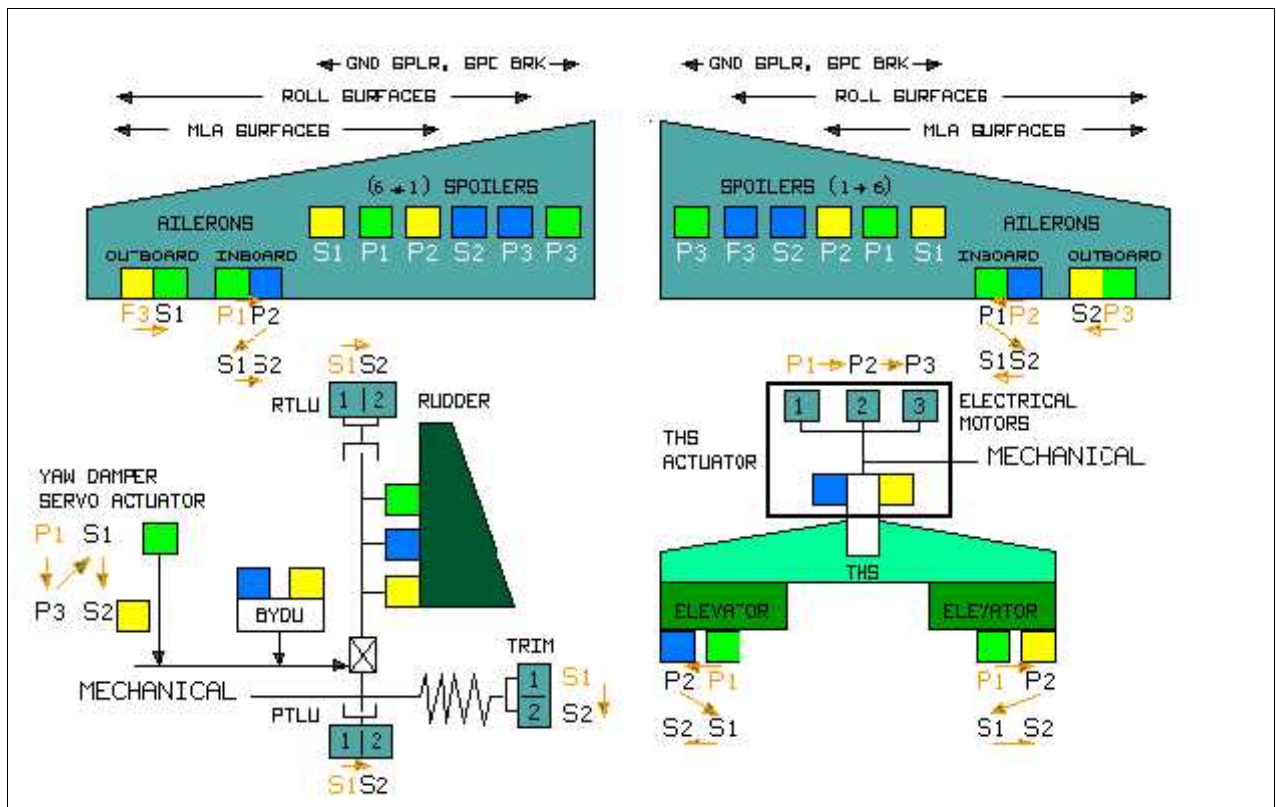


Fig.V.2 : Gestion électrique des Systèmes de commandes de vol.

P : le calculateur de commande de vol primaire FCPC.

S : le calculateur de commande de vol secondaire FCSC.

V.3-LES COMMANDES DE VOL PRIMAIRE :

V.3.1- Fonctionnement normal du tangage :(Pitch)

A- Fonction manuelle :

Les gouvernes de profondeur sont actionnées hydrauliquement par les 02 servocommandes (VERT et BLEU) côté gauche et 02 servocommandes (VERT et JAUNE) côté droit.

Le mouvement du stabilisateur horizontal THS (Trim Horizontal Stabilizer) est effectué par une vis sans fin, 02 moteurs hydrauliques du circuit (BLEU et JAUNE) et 03 moteurs électriques.

En agissant sur le mini manche latéral, le calculateur FCPC 1 calcul suivant la « loi normal » les paramètres du tangage et actionnent les servocommandes du circuit VERT.

Le THS est contrôlé par le FCPC 1 à travers le moteur électrique 1.

❖ La compensation automatique est figée suivants :

- Radioaltimètre au dessous de 100 ft (environ 30 m).
- Protection de survitesse.
- Facteur de charge Nz inf à 0.5 g.

Mais limitée quand :

- Protection de décrochage.
- Facteur de charge sup. à 1.3g.
- Assiette de l'avion sup. à 33°.

En mode « VOL » toutes les protections sont effectives (facteur de charge, survitesse, angle de décrochage, angle de tangage) et en mode « ARRONDI » seulement la protection de l'angle de décrochage).

B- Mode automatique :

Dans ce mode de pilotage automatique, le mini manche latéral est dans sa position neutre et immobilisé par des systèmes de solénoïdes.

Le désengagement du pilotage automatique se fait à la demande du calculateur FCPC, quand les protections sur vitesse et angle d'attaque sont activées.

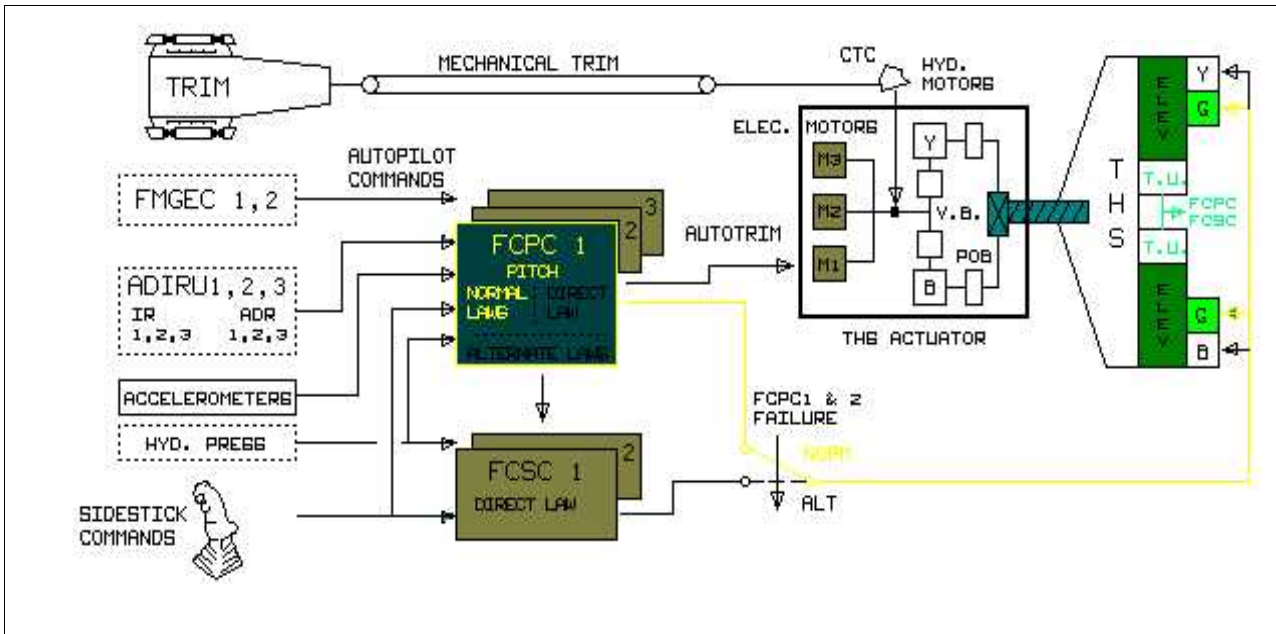


Fig.V.3 : Fonctionnement normal du tangage.

V.3.2- Fonctionnement anormal du tangage :

A- Anomalies des calculateurs :

a)- **FCPC 1 en panne :**

Dans ce cas, le FCPC 2 prend le relais de calcul des lois normales et actionne les servocommandes des gouvernes de profondeur du circuit hydraulique (BLEU) pour le côté gauche et (JAUNE) pour le côté droit. Le contrôle du THS s'effectue par le moteur électrique 2.

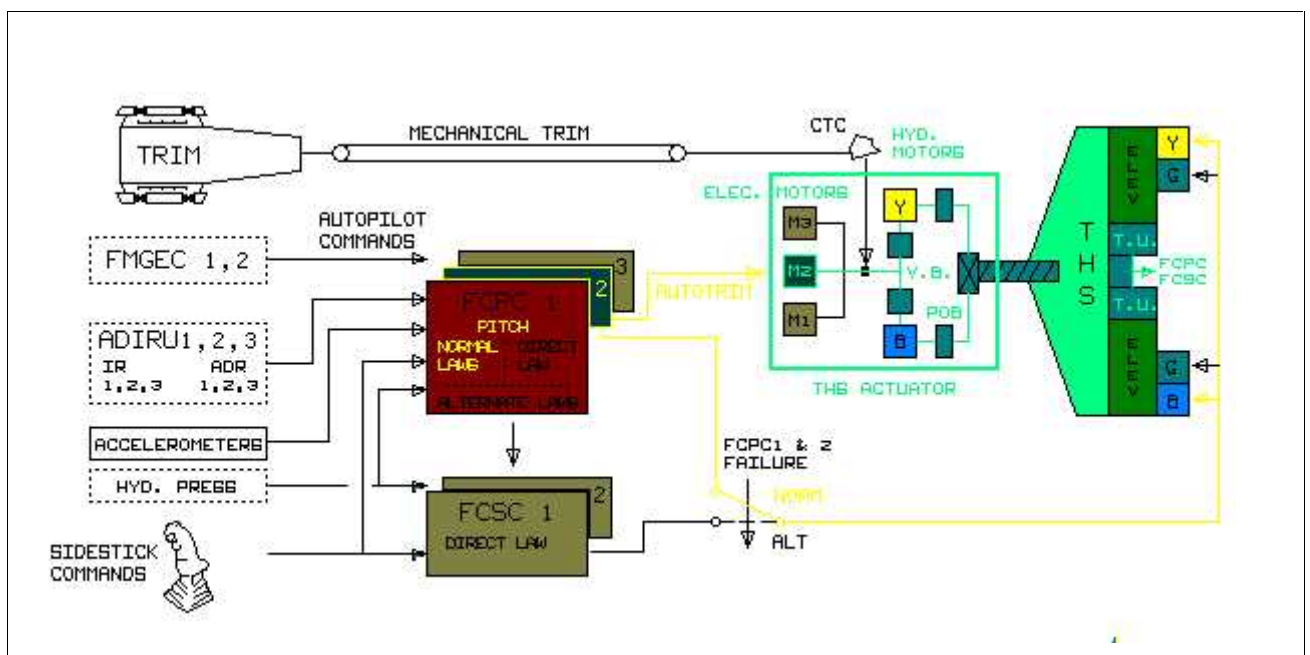


Fig.V.4 : Fonctionnement anormal « anomalie du FCPC1 ».

b)- FCPC 1 et 2 en panne :

Le FCPC 3 calcule les lois normales. Mais les ordres de débattement des gouvernes de profondeur des circuits hydrauliques « VERT » sont contrôlés par le calculateur FCSC 1.

Le contrôle du THS est effectué par le moteur électrique 3.

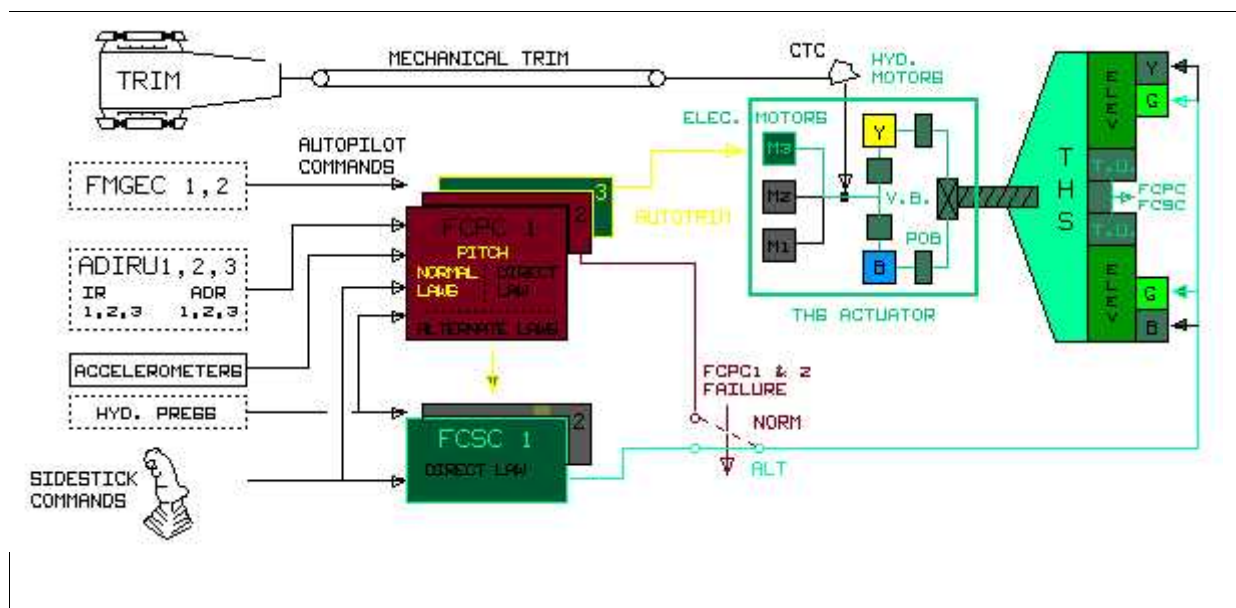


Fig.V.5 : Cas d'anomalie du FCPC1 et FCPC2.

c)- FCPC 1, 2, 3 en pannes :

Aucune action de contrôle des 03 moteurs électriques du THS.

Il est seulement contrôlé mécaniquement, par la roue de compensation au niveau du cockpit.

Le FCSC 1 calculera suivant la loi « directe » le débattement des gouvernes de profondeur du circuit hydraulique « VERT » gauche et droit.

A noter, la commutation automatique du switch « NORMAL » ira vers « ALTERNET ».

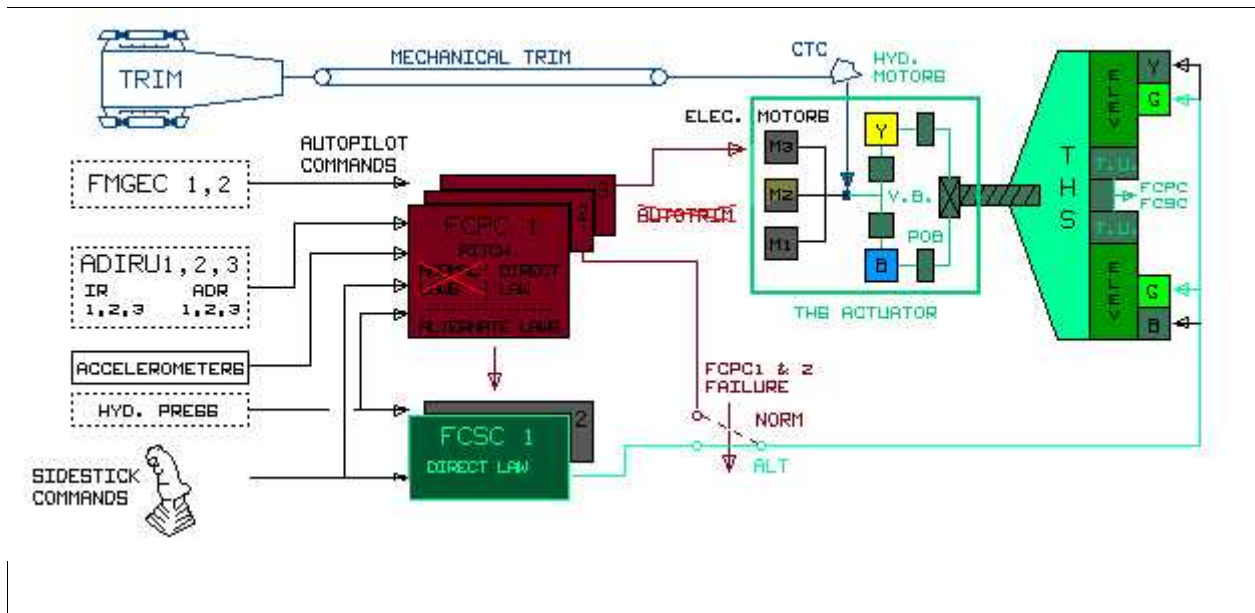


Fig.V.6 : Les calculateurs FCPC 1, 2, 3 en panne.

B- Anomalies des servocommandes :

Dans le cas de défauts d'une servocommande (d'origine hydraulique ou électrique), le FCPC ayant la priorité de contrôle sur les 02 servocommandes (gauche et droit) est désengagée ainsi que sur le moteur électrique du THS.

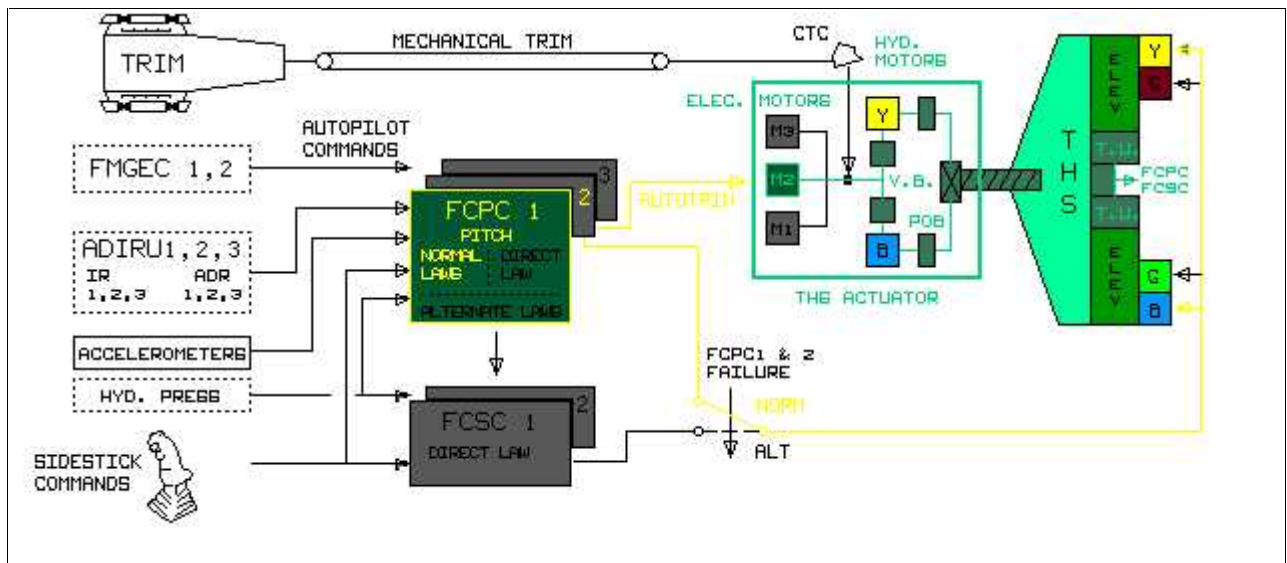


Fig.V.7 : Cas d'anomalie des servocommandes.

C- Lois alternés :

Les lois de calculs en « alternés » avec les protections réduites sont activées dans les calculateurs du FCPC en cas de perte:

- Des 02 circuits hydrauliques BLEU et JAUNE ou 03 moteurs électriques du THS.
- Une gouverne de profondeur dont les pertes du circuits hydrauliques BLEU et VERT ou JAUNE et VERT
- De la position des volets ou de la pédale
- Des données de références inertielles ou de paramètres d'air.

Donc la protection de l'angle d'attaque perdue est remplacée par la stabilité statique et la protection de survitesse remplacée par la stabilité à haute vitesse.

V.3.3-Fonctionnement normal latéral : (axe de roulis)

A- Fonction manuel :

02 ailerons (interne + externe) sont disposés de chaque côté de l'aile.

Le calculateur FCPC1 contrôle la servocommande hydraulique du circuit VERT coté gauche de l'aileron interne et le calculateur FCPC 2 la servocommande hydraulique du circuit BLEU de l'aileron interne du coté droit.

Le circuit BLEU de l'aileron interne coté gauche et le circuit VERT de l'aileron coté droit sont en position « damping ».

Pour les ailerons externes pour le contrôle des servocommandes hydrauliques voir (Fig.V.7)

Pour le contrôle des spoilers, on a selon la fig.V.7 : le FCPC qui agit sur les spoilers 2, 4, 5 gauche et droit et le FCSC qui agit sur les spoilers 3 et 6 gauche et droit.

La commande du roulis a priorité sur les aérofreins et les ailerons en position « droop » pour l'action de l'hypersustentation.

B- Mode pilotage automatique :

Le mini manche latéral est immobilisé par des systèmes de solénoïdes en position neutre. Le désengagement du pilote automatique s'effectue à la demande du FCPC quand l'angle d'assiette (bank angle) atteint les limites.

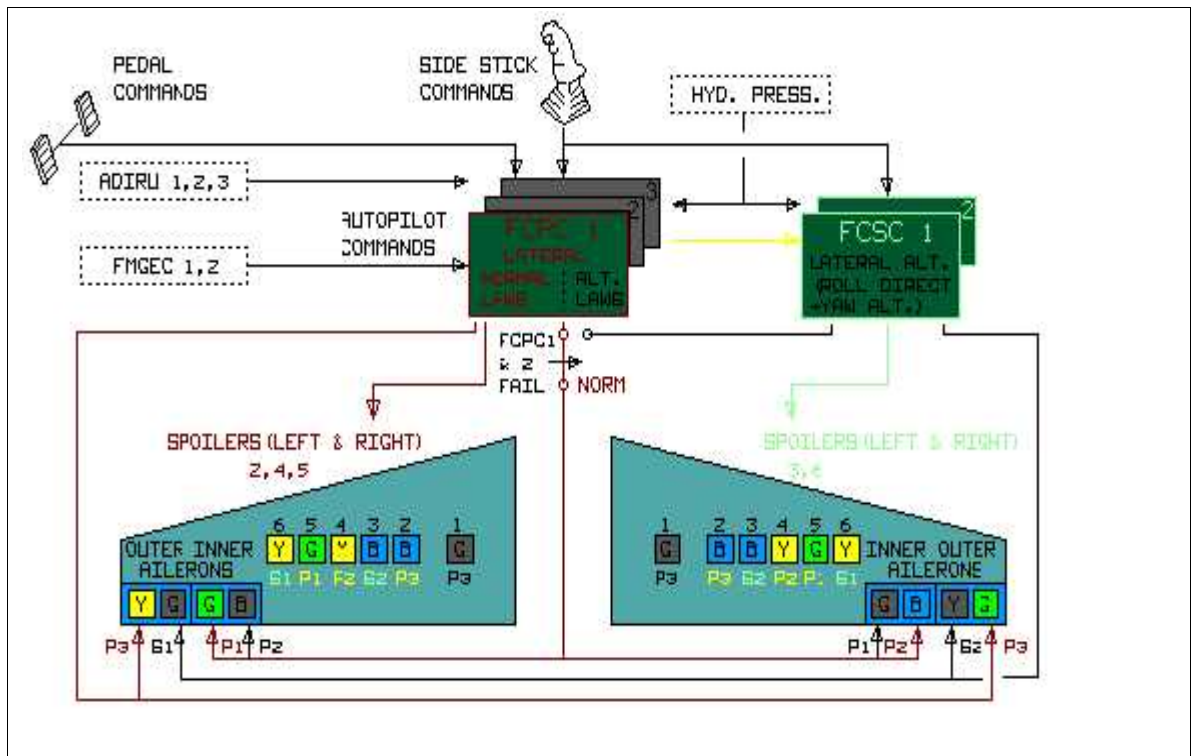


Fig.V.8 : Fonctionnement normal latéral (axe roulis).

C- Lois de protection :

En mode VOL et ARRONDI, la protection de l'assiette est activée, en incluant les lois normales du latéral. Par une action sur le mini manche latéral pour le roulis, le pilote commande le roulis avec un minimum de glissement.

D- La fonction d'allègement des charges de manœuvres :

Cette fonction est activée (MLA Maneuver Load Alleviation) quand le pilote commande via le mini manche latéral un facteur de charge dépassant 2g en configuration « lisse » sur les ailerons et les spoilers 4, 5, 6.

V.3.4-Fonctionnement normal latéral :(axe de lacet)

A- Fonction manuel :

Le FCPC 1 contrôle l'actuateur du circuit VERT de l'amortisseur de lacet, c'est un mode actif. Celui du secours, circuit hydraulique JAUNE, est en mode « Stand By » (Back Up Yaw Damper Unit).

02 moteurs électriques sont disponibles (01 actif et l'autre en stand by) pour chacun :

- Le compensateur de lacet (Rudder Trim Actuator).
- Limitation de débattement de la gouverne de direction (Rudder Travel Limitation Unit).
- Limitation de débattement des pédales du palonnier (Pedal Travel Limitation Unit).

A- Fonctionnement en pilotage automatique :

Le dispositif de sensation artificiel est bloqué par des solénoïdes.

Le pilotage automatique est désengagé par la manœuvre des pédales.

C- Lois de protection :

En loi « Normal », sur le mini manche latéral, le pilote contrôle le taux de roulis avec un minimum de glissades.

Avec les pédales, le pilote commande l'assiette de l'avion et la glissade.

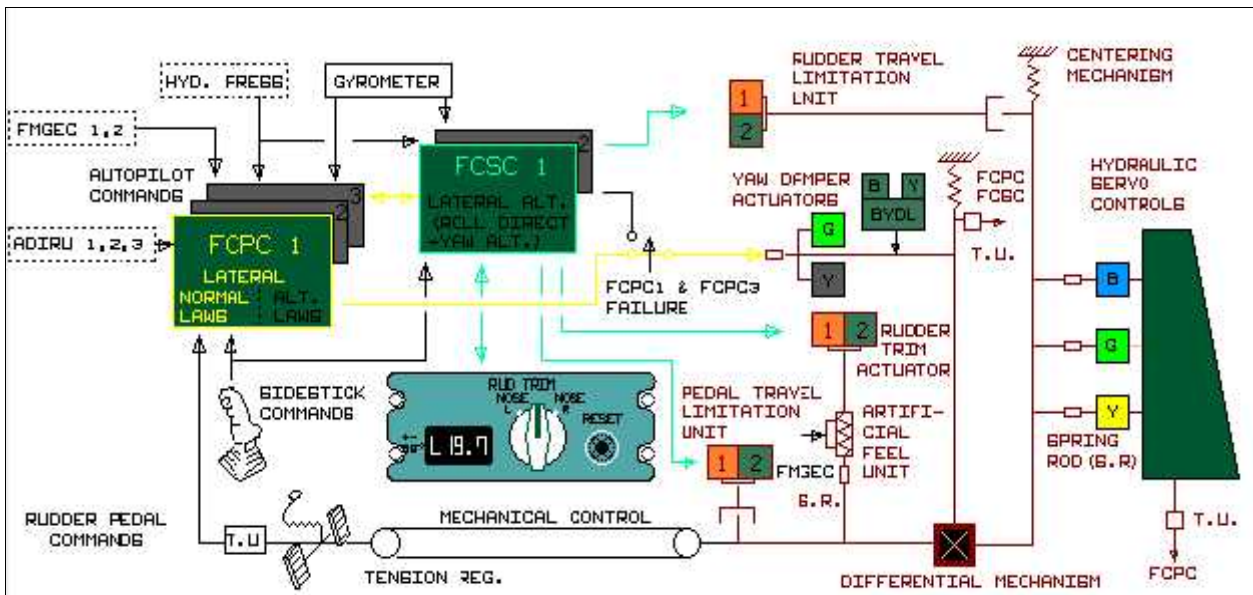


Fig.V.9 : Fonctionnement normal latéral (axe lacet).

V.3.5- Le fonctionnement anormal du latéral :

Nous rappelons, en fonction normale :

Le FCPC 1 contrôle les spoilers 2, 4, 6, les ailerons externes et les ailerons internes suivant la (Fig.V.7).

Le FCSC 1 agit sur les :

- RTLU
- Yaw Damper VERT
- TRIM

A- Anomalies des calculateurs :

a)- FCPC1 en panne :

Le FCPC2 calcule alors les ordres de débattement en loi « normal » et les transmet aux autres calculateurs pour le « feed back ».

Il agit aussi sur les spoilers 2 et 4.

Le FCSC 1 agit sur le compensateur de lacet (rudder trim) et le TLU (Travel Limitation Unit).

De même sur les spoilers 3 et 6. A noter que le spoiler 5 est « perdu ».

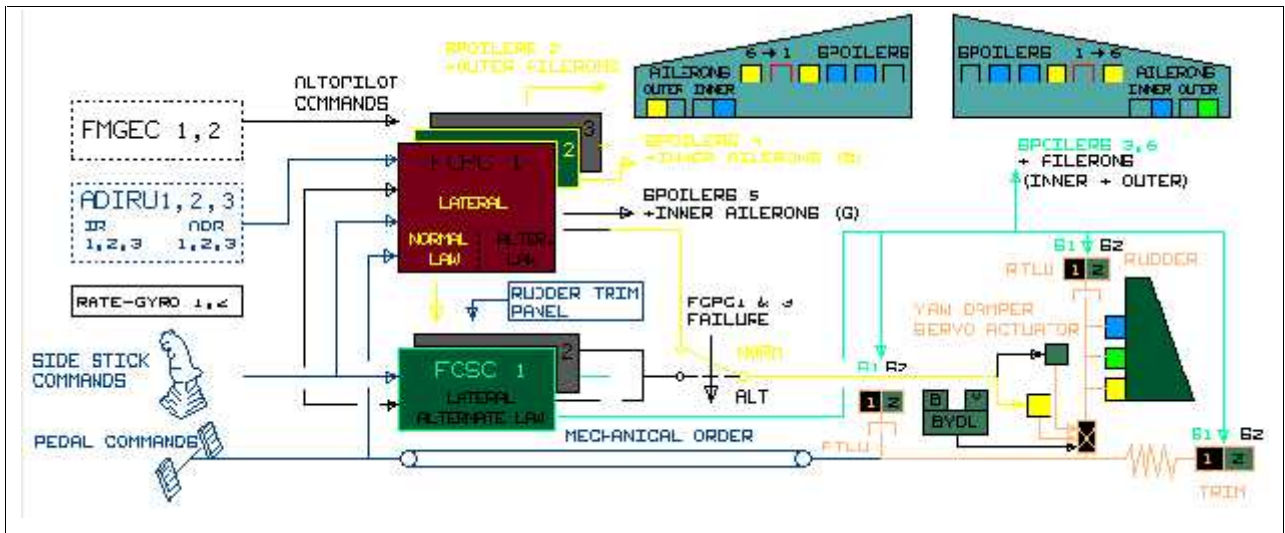


Fig.V.10 : Cas d'anomalie FCPC1 en panne.

b)- FCPC 1 et 2 en pannes :

Le FCPC3 entre en action en normal pour le calcul des lois.

c)- FCPC1, 2 et 3 en pannes :

Dans ce cas, le commutateur de position passe de la position normale à la position alternée automatiquement. Le FCSC 1 calcule les lois en mode alterné et transmet les données au FCSC2.

Le FCPC1 actionne sur le compensateur de lacet et le TLU. On a seulement les spoilers 3 et 6, l'aileron interne et externe du coté droit et l'aileron externe et interne du coté gauche.

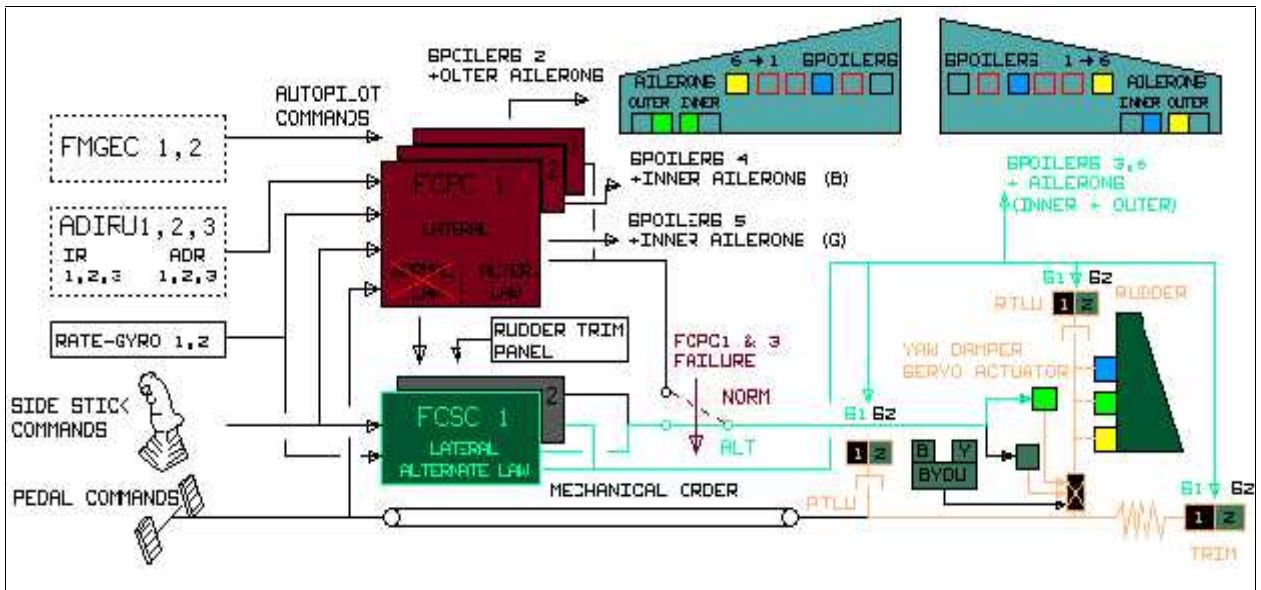


Fig.V.11 : Cas FCPC1, 2 et 3 en panne.

d)- Seul FCSC 2 en marche :

Le FCSC2 calcule les ordres latéraux en lois alternées et les transmet au calculateur FCSC1. Les spoilers 3 et les ailerons internes et externes en marche. L'aileron externe gauche n'est plus en action.

e)-Panne totale des calculateurs :

Le contrôle latéral de l'avion est accompli mécaniquement par les pédales. L'amortisseur de lacet de secours entre en action (Back Up Yaw Damper Unit) et calcule les lois d'amortissement.

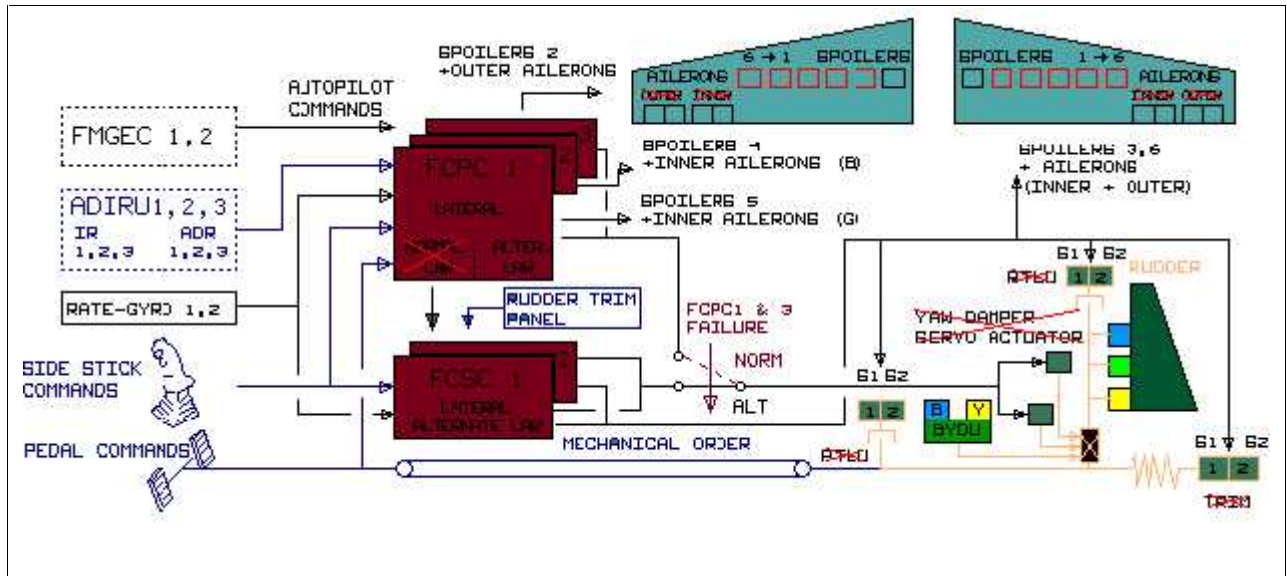


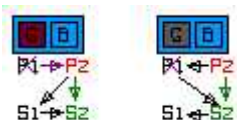
Fig.V.12 : Panne totale des calculateurs.

B- Anomalies des servocommandes :

En cas de défaillance d'une servocommande (électrique ou hydraulique) l'autre servocommande prend le relais suivant un schémas ci-dessous.

En cas de perte des 02 servocommandes de l'amortisseur de lacet (Yaw Damper Servo Actuator), le Back Up Yaw Damper Unit est activé et calcule les lois d'amortissement.

Exemple1 : perte de la servocommande verte G gauche des ailerons internes.



Exemple 2 : perte de la servocommande verte G droite des ailerons extérieurs.



C- Loi alternée :

Elle est activé dans les FCPC et les FCSC en cas de perte des :

- 02 Informations de référence inertielle ADIRU.
- Ou de tous les servocommande des spoilers et les ailerons internes.
- Ou la position des pédales.

En mode de calcul loi alterné seulement les spoilers 4 à 6 sont utilisés pour le contrôle du roulis afin de ne pas avoir un taux de roulis élevé.

Les spoilers 2 et 3 ne sont pas utilisés sauf en cas de perte du circuit hydraulique VERT, perte de tous les FCPC ou perte d'amortisseur de lacet.

La fonction MLA est perdue dans la loi « directe ».

V.4- LES COMMANDES DE VOL SECONDAIRES :

V.4.1- Présentation du système :

Le contrôle des volets de bord d'attaque et de bords de fuite est assuré par les 02 calculateurs identiques SFCC (Slat / Flap Control Computer).

A la demande du levier de commande au cockpit, le calculateur SFCC envoie les signaux aux unités de control (PCU Power Control Unit) pour exciter les blocks valves.

Les moteurs hydrauliques actionnent les transmissions à travers des boîtiers différentiels.

- Hydraulique VERT pour le bord d'attaque gauche.
- Hydraulique BLEU pour le bord d'attaque droit.
- Hydraulique JAUNE pour le bord de fuite gauche.
- Hydraulique VERT pour le bord de fuite droit.

Les arbres de torsion (shaft torque) et les boîtiers d'engrenages transmettent mécaniquement aux actionneurs des volets pour leur mouvement.

Des freins sont placés aux extrémités des ailes qui bloquent et verrouillent le mécanisme en cas de détection de défauts.

V.4.2- Commande des volets :

En déplaçant le levier de commande des volets au cockpit, un détecteur au dessous du levier transforme le signal mécanique en signal électrique qui sera transmis au 02 calculateurs SFCC1 et SFCC2.

Suivant la position du levier, chaque circuit du calculateur excite le moteur correspondant du PCU (Power Control Unit).

Le SFCC inhibe la rétraction des volets de la position 1 à 0 et/ou à faible vitesse.

L'arbre de sortie du moteur de chaque PCU est accouplé à travers des engrenages différentiels pour entraîner mécaniquement les bords de bord d'attaque et les volets de bord de fuite.

Si un moteur est défectueux d'origine hydraulique ou électrique du SFCC correspondant, l'autre moteur prend le relais d'entraînement mais avec une sortie de moitié.

L'instrument IPPU envoie le signal de donnée de la position des volets bord d'attaque et bord de fuite pour l'afficher dans la page ECAM au niveau de cockpit.

L'FPPU fournit le signal de position des volets est transmis au calculateurs SFCC1 et SFCC2.

L'instrumentation APPU, placé à l'extrémité des ailes, fournit la position actuelle des volets et cela enfin de la transmission du système.

CHAPITRE : V FONCTIONNEMENT DES SYSTEMES DE COMMANDES DE VOL

On trouve deux capteurs (flap sensors) dans chaque coté d'ail, qui mesure la différence du mouvement des volets intérieurs et extérieurs.

L'asymétrie est détectée par la différence des signaux des 02 APPU (Assymetry Pick Position Unit).

Runaway : est détecté par la comparaison des signaux APPU et FPPU.

La survitesse est détectée quand la survitesse sur 01 ou plusieurs PPU se produisant en cas de hautes charges aérodynamiques.

Les freins (Wing Tip Brake) arrêtent et bloquent le mouvement des volets si l'asymétrie ou le runaway ou la survitesse est détecté. Le déblocage s'effectue au sol après les opérations de maintenance et remis à zéro.

Des détecteurs de volets (02) placés sur chaque aile mesure la différence de mouvement excessif des volets interne et externe de chaque aile.

Si une déconnexion est détectée entre les volets, le frein est appliqué pour bloquer le mouvement. Aucune autre opération ne s'effectue jusqu'au dépannage au sol.

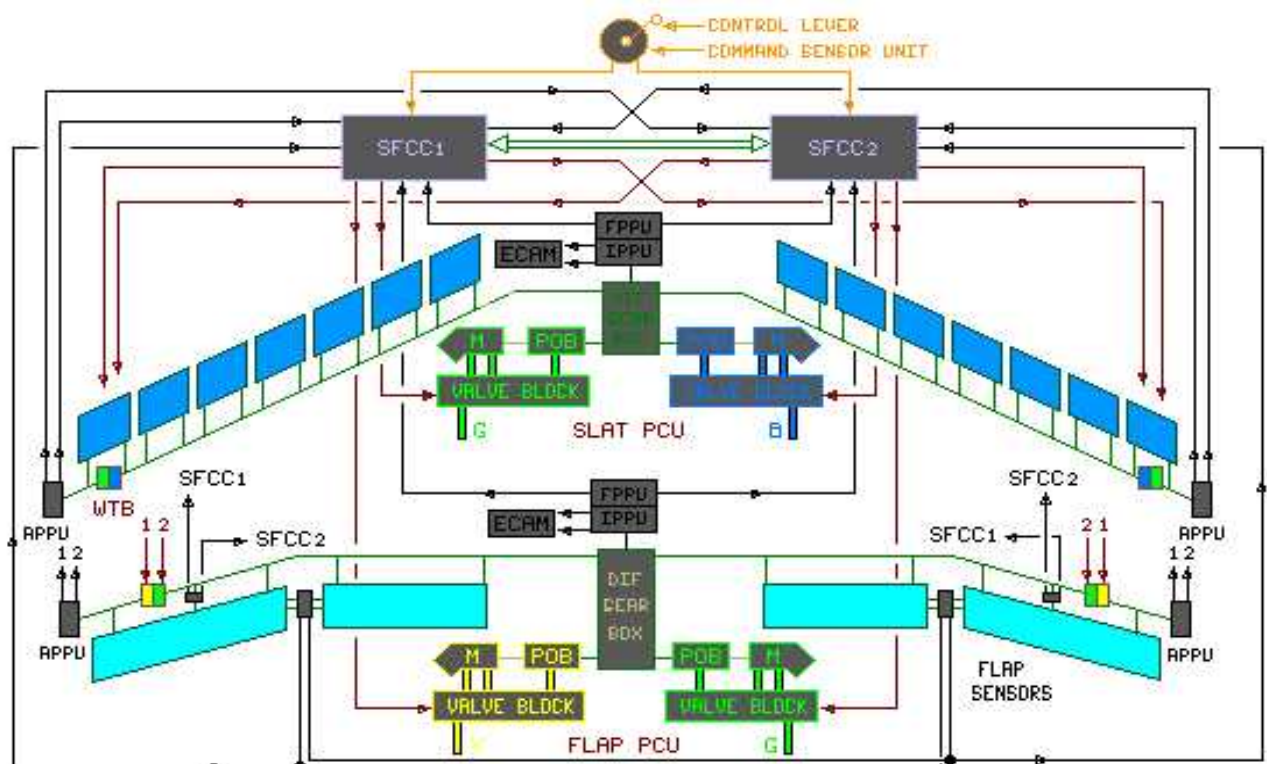


Fig.V.13 : Système de commandes de vol secondaire.

V.5- FONCTIONNEMENT DES MINI MANCHES LATERAUX :

V.5.1- Définition :

Le mini manche latéral est utilisé pour la commande tangage et roulis et cela, à travers les calculateurs FCPC et FCSC.

Le mini manche est constitué de deux interrupteurs.

Le premier, est un bouton poussoir utilisé pour le désengagement du pilote automatique et la priorité de commande, le second est utilisé pour la radio.

Les deux minis manches latéraux sont similaires. Quand le mini manche n'est pas utilisé, le retour à la position neutre est assuré par un ressort de charge.

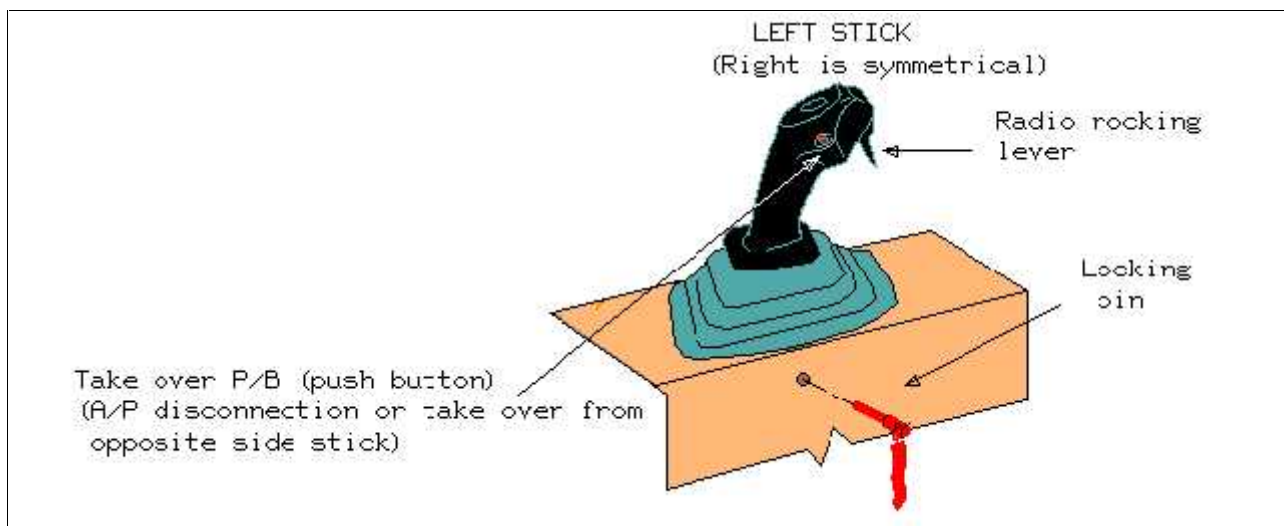


Fig.V.14 : Le mini manche.

V.5.2- Engagement et désengagement du pilote automatique :

Lorsque le pilote automatique est engagé, les minis manches latéraux ne seront pas utilisés. Quand le bouton poussoir du mini manche est active (appuyé) le pilote automatique est désengagé.

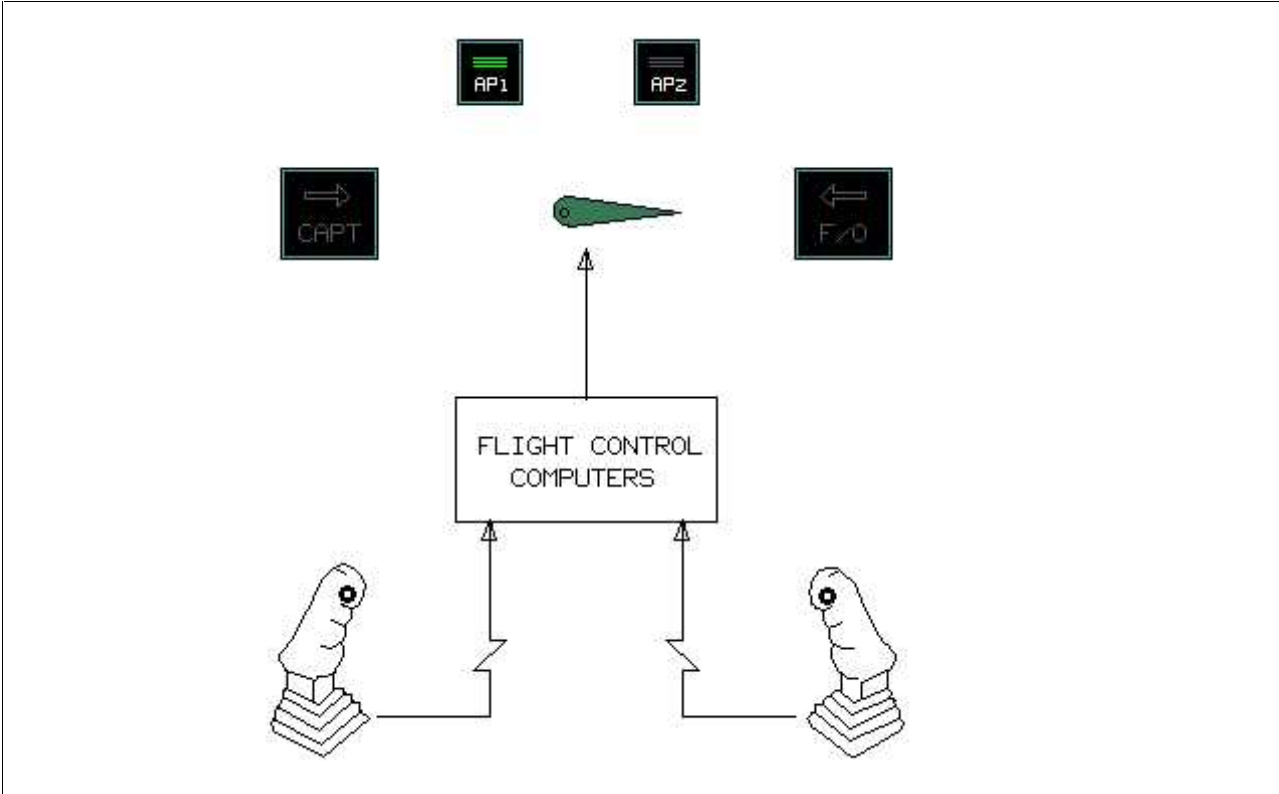


Fig.V.15 : Engagement du pilote automatique.

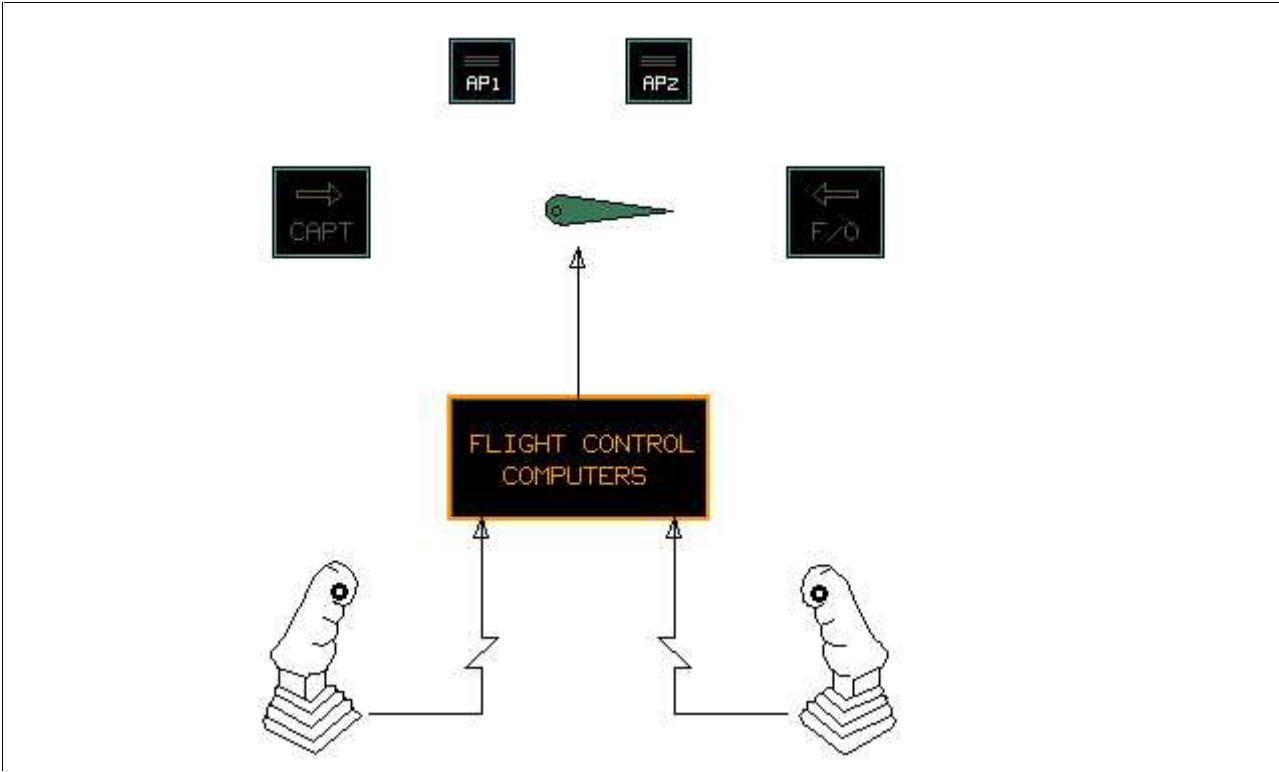


Fig.V.16 : Désengagement du pilote automatique.

V.5.3- La priorité logique :

La priorité logique est assurée par les calculateurs FCPC et FCSC.

Quand le mini manche du pilote est déplacé, par exemple, un signal électrique relative a l'angle de débattement sera envoyer au calculateurs.

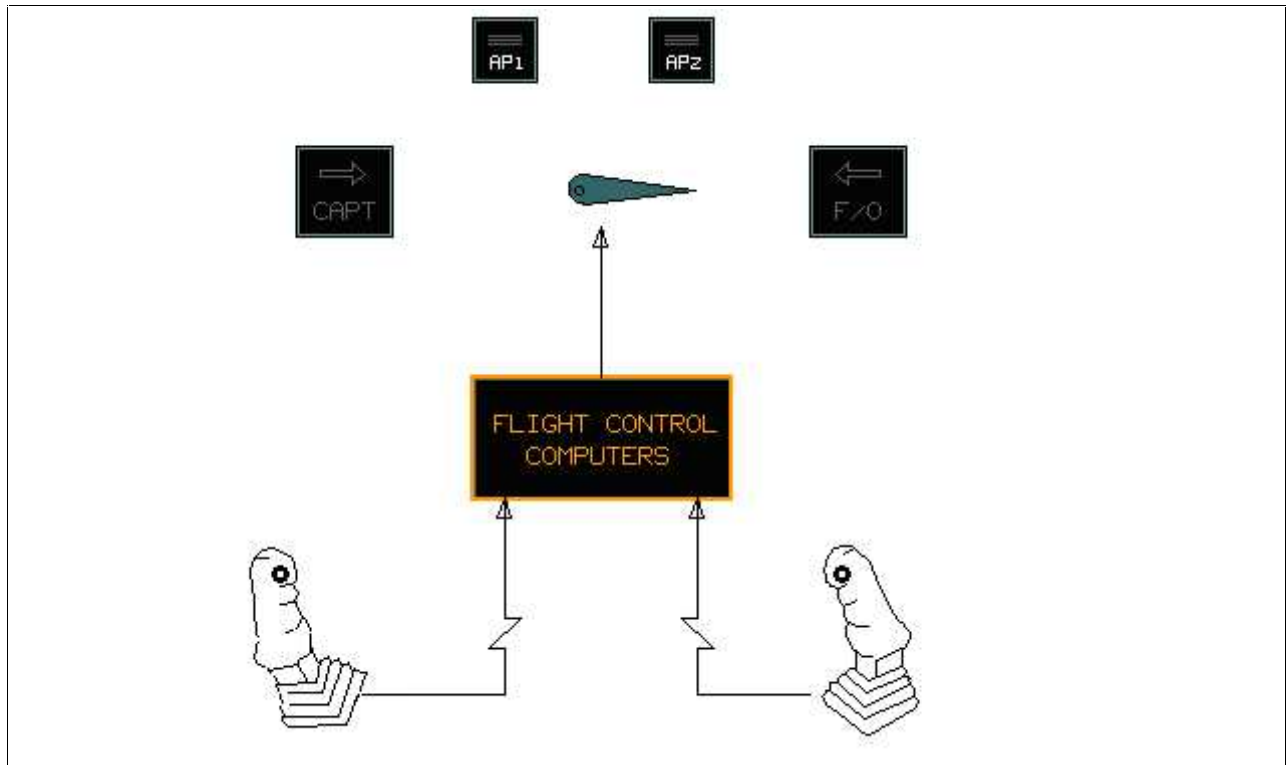


Fig.V.17 : Exemple de la priorité logique.

- ❖ Quand les deux minis manches sont déplacés en même temps dans le même sens, le signale est algébriquement additionné.

Exemple : Déplacement du mini manche pilote est de 3°.

Déplacement du mini manche copilote est de 3°.

Le débattement de la surface de vol est de 6°.

- ❖ Si les deux minis manches sont déplacés dans le sens opposé, le débattement résultant est la différence entre les deux positions des minis manches.

Exemple :

Le mini manche pilote se déplace de 3°.

Le mini manche copilote de déplace de 3° dans le sens opposé.

Le débattement est égale a 0.

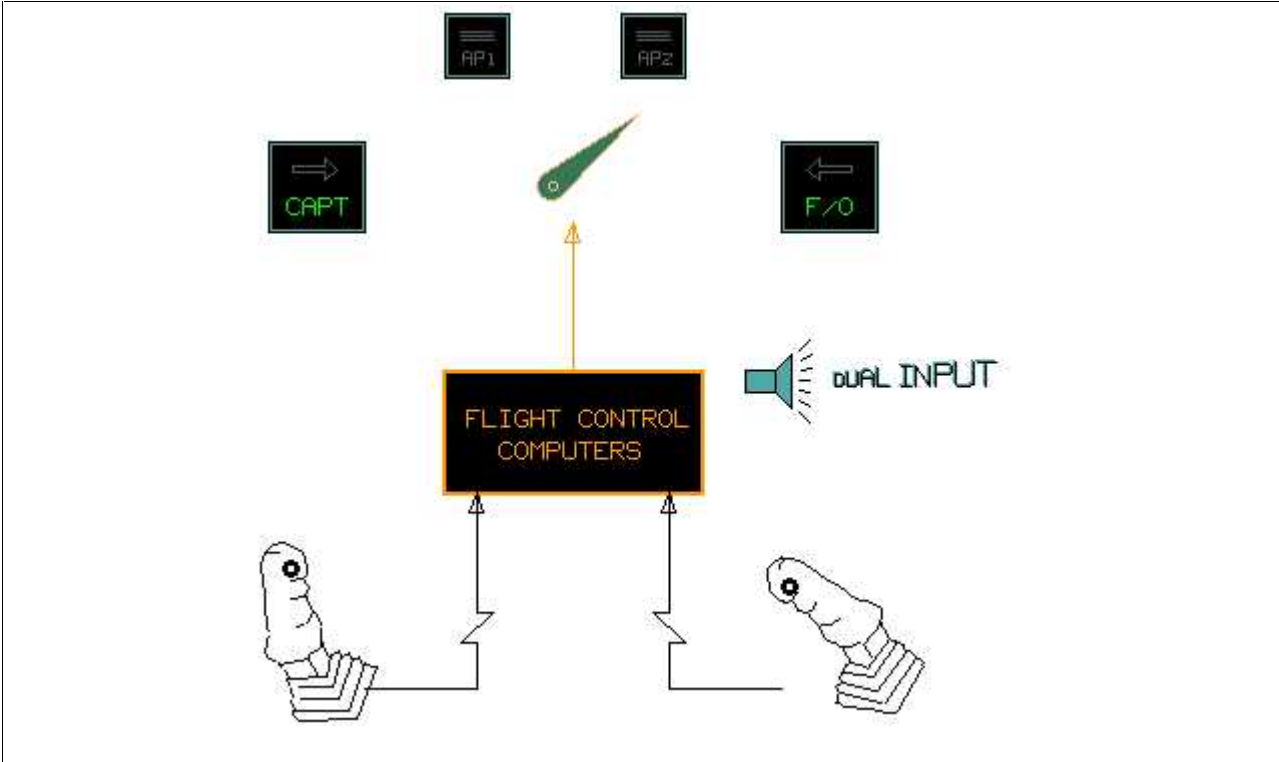


Fig.V.18 : Les deux minis manche déplacé dans le même sens.

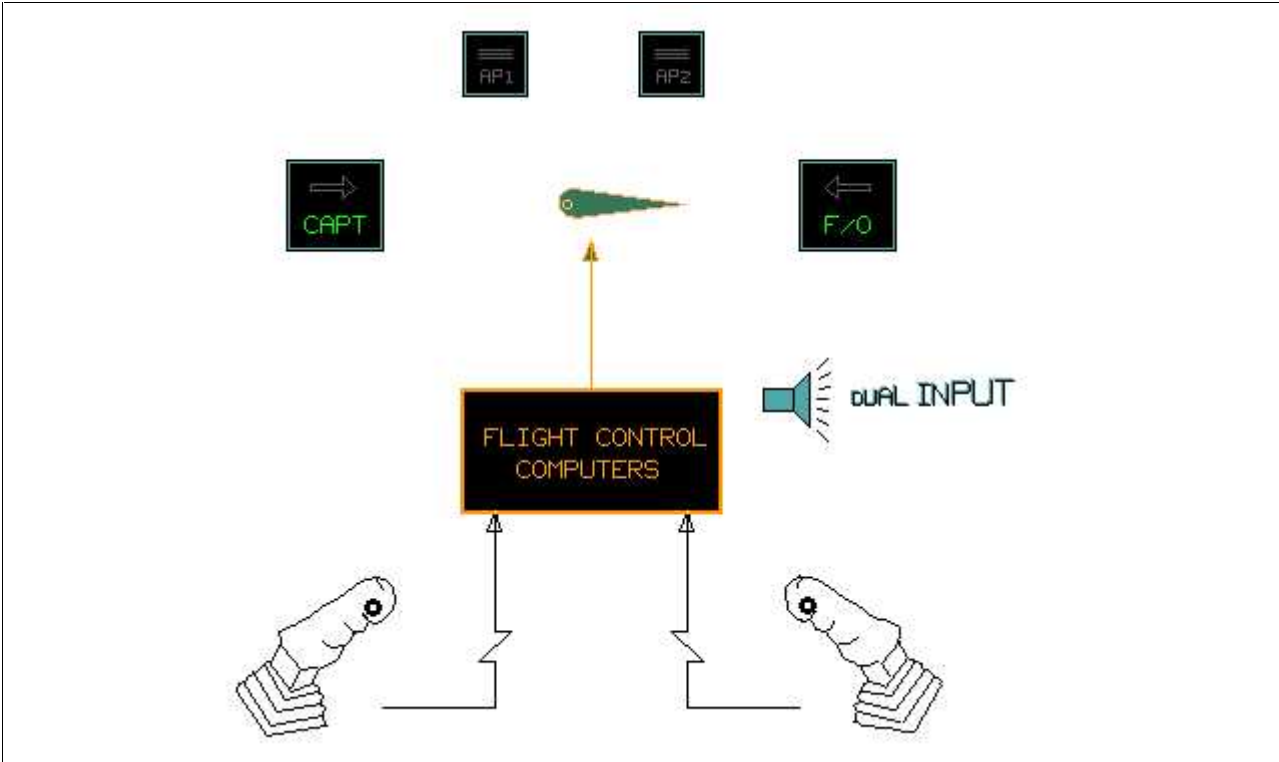


Fig.V.19 : Les deux minis manche déplacé en sens inverse.

Quand le bouton poussoir du mini manche de pilote est activé, l'autre mini manche est désactivé.

Le voyant rouge survient sur le front du tableau de bord pilote, ou le mini manche est désactivé et accompagné par un audio appelé (PRIORITY LEFT OR RIGHT). Quant au voyant vert, il survient sur le tableau de bord ou le mini manche est en commande.

Lorsque le voyant vert disparaîtra, le mini manche se mettra en position neutre.

On peut désactiver la commande du mini manche, en relâchant le bouton poussoir « take over pushboton ». Lorsque le voyant rouge disparaîtra, les deux minis manches deviennent actifs.

Si le pilote reste appuyé sur le bouton poussoir 30 secondes, la priorité sera maintenue après avoir relâché le bouton poussoir.

V.6- Commande du levier aérofreins :

Le levier aérofrein est utilisé pour la commande des spoilers sol et vol par l'intermédiaire des calculateurs FCPC et FCSC.

Le levier est sélectionné sur trois graduations RET, 1/2, FULL.

Pour la sélection de la position aérofrein le levier doit être appuyé et placé sur la position voulue.

Pour armer les aérofreins lors de l'atterrissage, le levier doit être tiré et placé sur RET.

Quand le levier est armé et les reverses moteurs actionnés, tous les spoilers se mettent sur sortie automatique lors du touché au sol.

S'en suit un gauchissement lors de l'atterrissage, ou en cas d'avortement du décollage.

Une alarme CONFIGURATION AEROFREIN est générée si les aérofreins sont sur sortie et les moteurs ne sont pas au ralenti.

Le fonctionnement speed brake (spolier) et ground spoiler (aérofrein) du n°1 au n°6 est assuré par l'action du pilote sur le levier aérofrein au vol et au sol à travers les computers FCPC 1,2,3.

Le fonctionnement roulis est prioritaire avant la fonction aérofrein. La surface symétrique est rétractée jusqu'à ce que la différence entre les deux surface soit égale à un ordre roulis.

Si le fonctionnement de la protection de l'angle d'attaque ou le « MLA » est activé avec les aérofreins sortis, ils sont automatiquement rétractés par l'annonce des ECAM MESSAGE.

La loi alternative et directe, n'intervient pas à la fonction aérofreins.

Le moment de descente par rapport à l'axe tangage associé avec les aérofreins sur sortie ou rétracté est compensé par la loi pitch control.

Quand l'une des surfaces n'est pas fonctionnelle sur une aile, l'autre surface symétrique est désactivée à l'exception des spoilers 4 et 6, qui restent actifs pour le contrôle roulis uniquement.

La position du levier est RET, 1/2, FULL.

Les aérofreins sol son activés lorsque le levier aérofrein est sur la position ARME.

La position ARME se fait lorsque le levier est soulevé vers le haut.

Le fonctionnement des aérofreins « ground spoilers » est automatique, lorsque la condition logique détermine la compression d'extension de l'amortisseur portance et la déflexion est envoyé au spoilers de 1 au 6

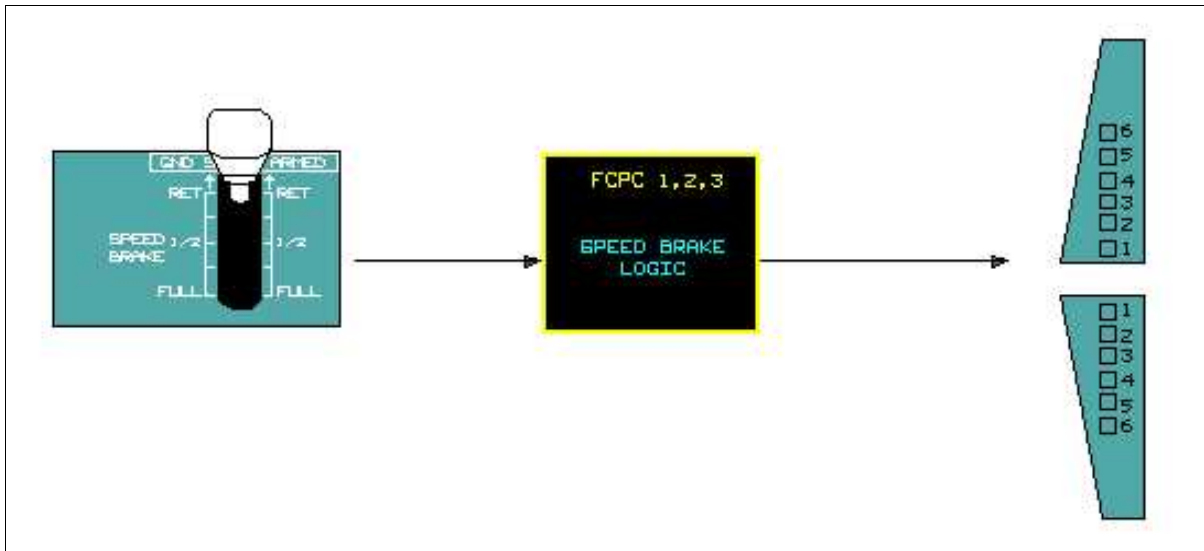


Fig.V.20 : La fonction aérofreins.

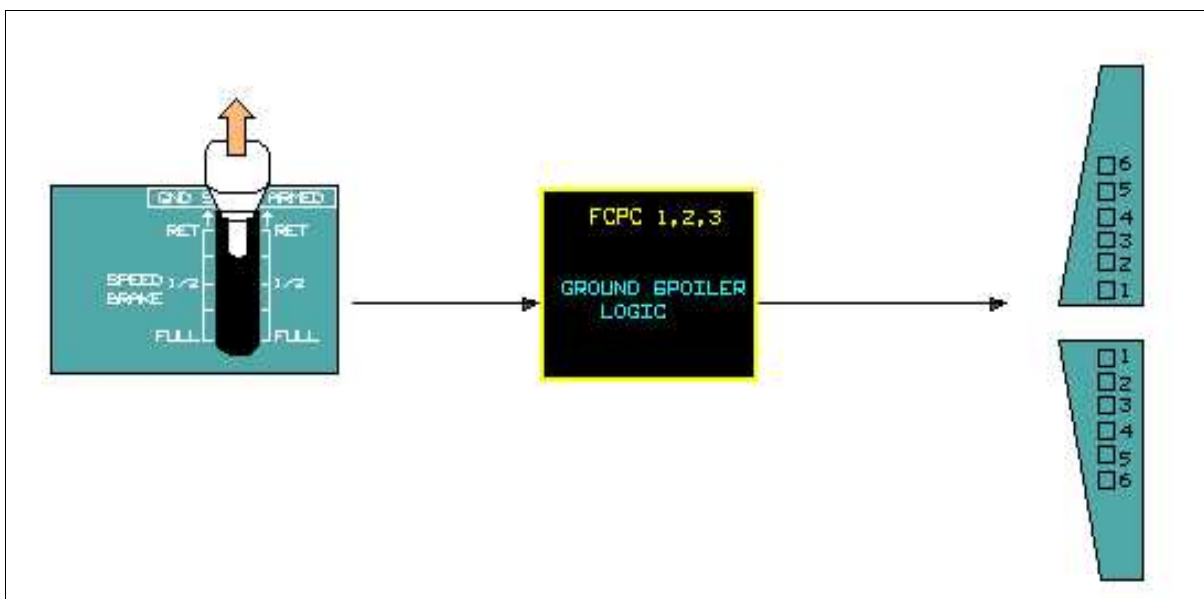


Fig.V.21 : La fonction spoilers sol.

V.7- Commande de levier volets :

La commande de la fonction volet bord d'attaque et bord de fuite utilise le même levier. Ce levier est situé sur le pylône central du cockpit.

Le déplacement du levier volets entraîne par rotation l'arbre d'unité de détection de commande « commande sensor unit » ou celui transmet la commande mécanique au signal d'entrée pour les SFCC.

Le levier volets est sélectionné sur cinq position : 0 / 1 / 1+F / 2 / 3 / FULL.

La position des volets est indiquée sur la page ECAM.

Les différentes positions du levier volets aux phases de vol sont comme suit :

Position 0 : pour la croisière.

Position 1 : pour le maintien.

Au sol, les volets sont sortis, et en vol on trouve uniquement les volets bord d'attaque sortis et cela, au delà de la vitesse 200KT.

Position 1+F : pour le décollage. Les volets sortis au dessous de la vitesse 200KT.

Position 2 : pour t/o décollage et l'approche décollage.

Position 3 : pour le décollage et l'approche atterrissage.

Position FULL : pour l'atterrissage.

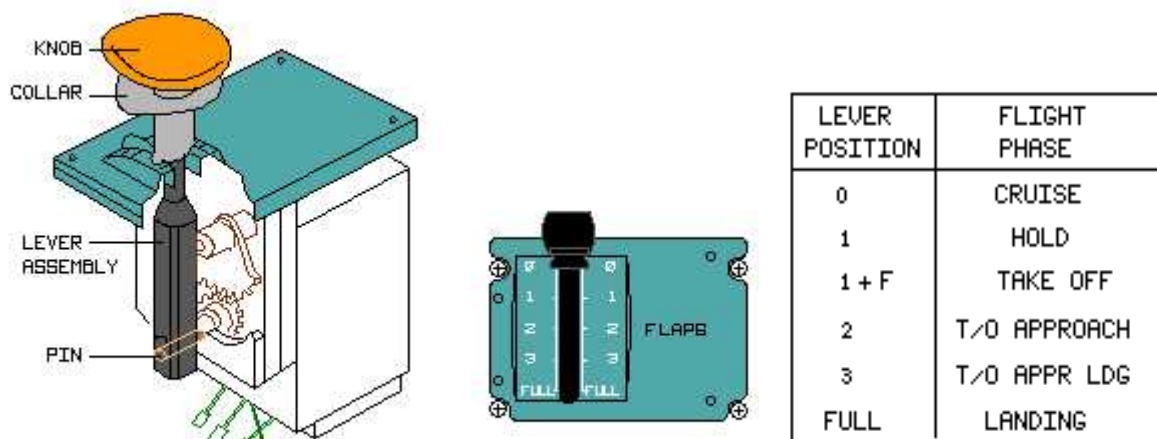


Fig.V.22 : Le levier volets et ces positions.

VI.1- LES COMPOSANTS DU SYSTEME DE TANGAGE :

VI.1.1- Le stabilisateur horizontal (THS) :

a)- Définition :

Dans l'avion, on trouve un stabilisateur horizontal qui à deux gouverne de profondeurs, pour le contrôle du tangage.

Le système d'opération hydromécanique du THS est contrôlé électriquement par FCPC et aussi mécaniquement.

b)-Description :

Le THS est attaché à l'arrière du fuselage et permet la compensation du tangage. Les pilotes peuvent commander l'opération du THS électriquement par la commande du compensateur automatique du tangage.

1- L'action hydraulique :

Le THS est actionné par une vis sans fin propulser par deux moteurs hydraulique. Les moteurs hydraulique des servoloops (boucles d'asservissement) sont contrôler chacun électriquement ou hydrauliquement. Le contrôle électrique exécute la fonction autotrim (auto compensateur) du tangage normal et des lois alternés. Le contrôle mécanique exécute la commande de compensation normale de la loi directe de tangage.

2-La commande mécanique du THS :

Le THS a un système de commande mécanique, qui a la fonction (standby systeme) du circuit de secours (en attente).

Le pilote peut utiliser les deux roues de compensation, qui sont installée au centre du cockpit (poste de pilotage) pour opérer le THS mécaniquement.

Un câble qui transmet la commande mécanique des roues de compensation aux arbres d'entrer mécanique du vérin du THS.

Le vérin du THS déplace se dernier. Ce vérin est une unité électrohydraulique, qui transforme la commande mécanique ou électrique en mouvement mécanique.

Un fluide hydraulique pressurisé est utilisé pour actionner le système d'engrenage, et ce mécanisme déplace la vis sans fin qui est attaché au THS.

L'action hydraulique est contrôlée par un vérin de compensation du tangage PTA (Pitch Trim Actuator).

Le PTA à trois moteurs avec des contrôleurs, qui sont des modules électroniques digitaux DEM (Digital Electronic Modules).

Le DME a deux fonctions :

- Contrôle la pression du PTA.
- Contrôle et gère l'association entre les moteurs et les engrenages.

La position du THS est indiquée mécaniquement et électroniquement.

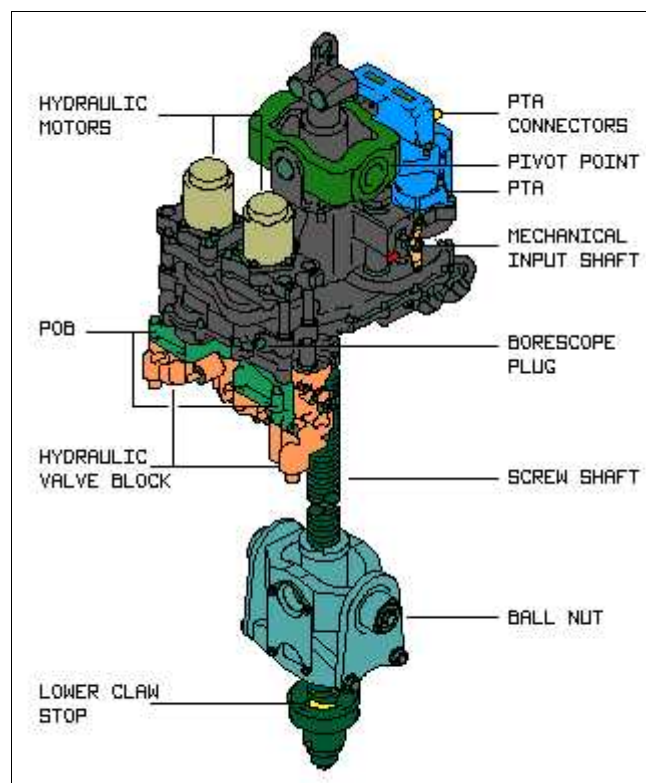


Fig.VI.1 : Le vérin a vis sans fin.

c)-Opération normale :

Le FCPC1 transmet un ordre électrique au DEM (module électrique digital), moteur 1.

Le DEM actionne le moteur 1 qui conduit le contrôle des valves.

Des que la force hydraulique est appliqué au POB du moteur hydraulique, le POB est lâché ou détendu.

Le contrôle valve s'ouvre et permet au fluide hydraulique d'aller dans le moteur hydraulique.

VI.1.2- La gouverne de profondeur :**a)- Définition :**

Deux gouvernes de profondeur sont montées dans le stabilisateur horizontal THS, en conjonction avec le THS, elle répond à la commande tangage.

b)-Système descriptive :

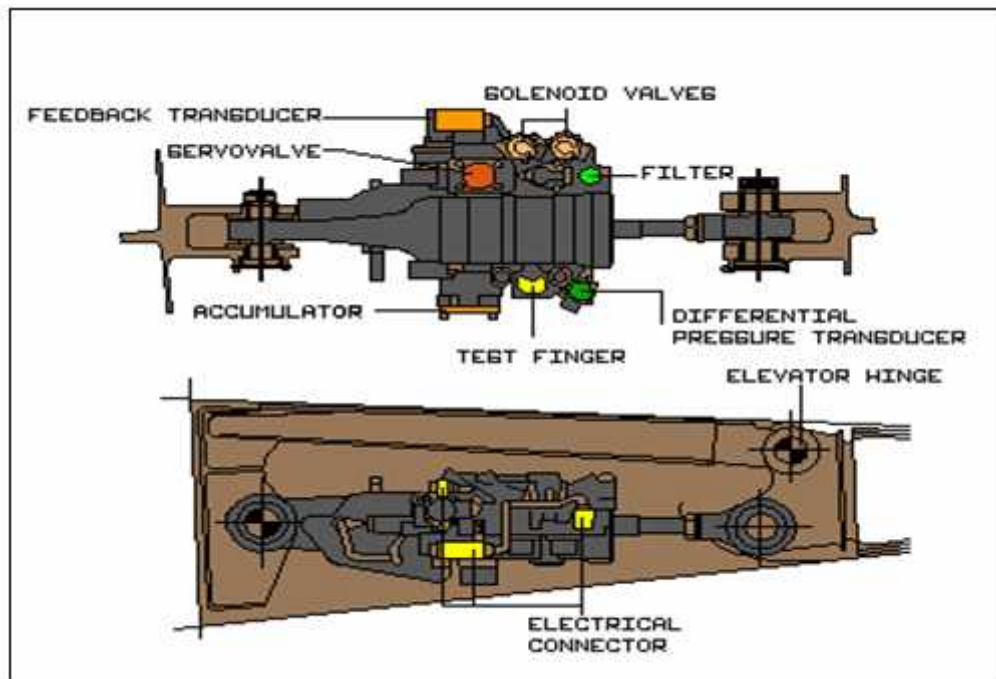
Deux servocommandes électrohydraulique qui actionne chaque gouverne de profondeur, on trouve un transducteur de position monté adjacent avec les servocommandes, et qui envoi la position de la gouverne au FCPC et FCSC

Dans le mode manuel, la commande de la gouverne de profondeur former par le mini manche, qui envoi des signaux électrique au FCPC et FCSC

Ces calculateurs envoi de leur tour les ordres au servocommandes et ça en fonction des différente loi de contrôle.

Au sol, quand le système hydraulique n'est pas pressurisé, la position normale des gouvernes de profondeurs, sera a baissée en bas.

On trouve dans chaque gouverne de profondeur une unité de transmission TU (Transducer Unit), qui transmet la position de la gouverne au calculateurs FCPC et FCSC.



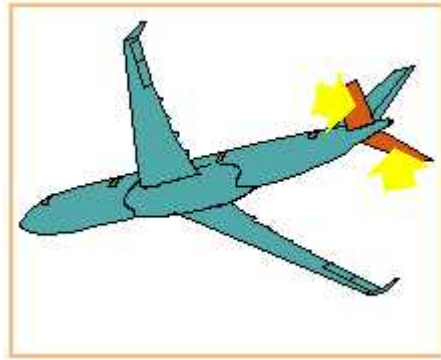


Fig.VI.2 : La servocommande de la gouverne de profondeur et sont emplacement dans l'avion.

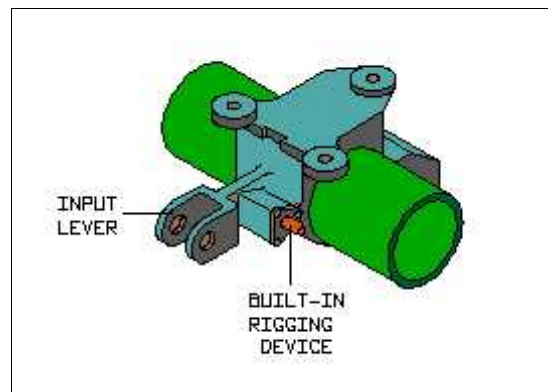


Fig.VI.3 : Unité de transmission.

VI.2- LES COMPOSANTS DU SYSTEME DE ROULIS :

VI.2.1-Les ailerons :

a)- Définition :

Les ailerons et les spoilers permettent à exécuter les fonctions qui suivent :

La commande de roulis (les ailerons intérieurs et extérieurs et les spoilers de deux a six) ;
associer avec le gouverne de direction, les ailerons et les spoilers permettent de répondre automatiquement à la coordination roulis / lacet durant le virage

MLA (l'aileron extérieur et intérieur et les spoilers de 4 a 6).

Aileron Droop : l'aileron extérieur et intérieur.

b)- Description :

Deux ailerons extérieurs et intérieurs sont situés dans chaque aile.

Des électrohydraulique servocommandes qui mettre en action chaque ailerons

Dans le mode manuel de la commande roulis, le contrôle des ailerons est exécuté par la mini manche, qui envoie des signaux électriques au FCPC et FCSC.

Les calculateurs transmettent de leur tour les ordres de la commande aux servocommandes, et ça dépend des différentes lois de contrôle.

Une survitesse ($v > 190 \text{ kts}$), l'aileron extérieur sera fixé à la position zéro.

Dans le mode pilote automatique en cas de certaines fautes, les ailerons intérieurs seront utilisés à 300 kts.

Quand la RAT est sortie, les ailerons extérieurs ne seront pas utilisés.

c)- **Systeme hydraulique :**

L'action électrohydraulique des ailerons est exécutée par deux électrohydrauliques servocommandes dans chaque surface.

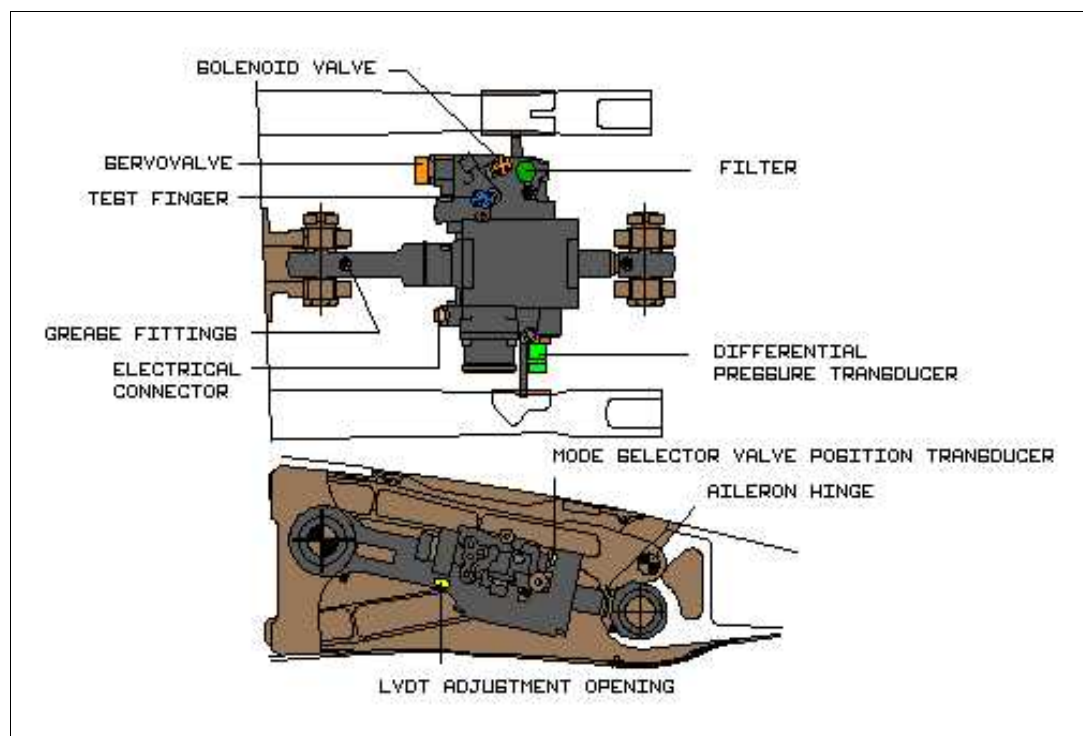
Chaque aileron est équipé par un contrôle électrique identique fixé au corps des servocommandes.

Chaque servocommande est connectée :

Avec deux calculateurs (un FCPC et un FCSC), pour l'aileron intérieur.

Avec un calculateur (un FCPC ou un FCSC), pour l'aileron extérieur.

Au mode active, chaque aileron est actionné par une servocommande, au moment que l'autre sera dans le mode amorti.



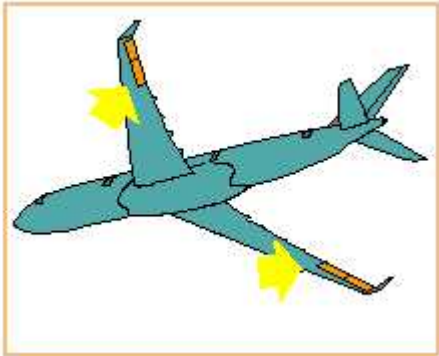


Fig.VI.4 : La servocommande de l'aileron intérieur et sont emplacement dans l'avion.

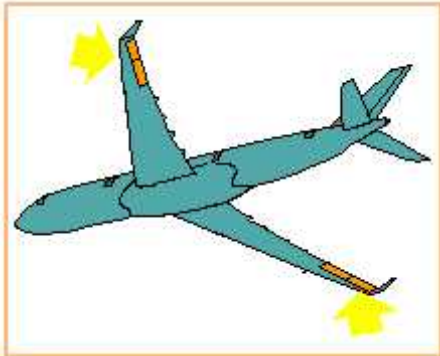
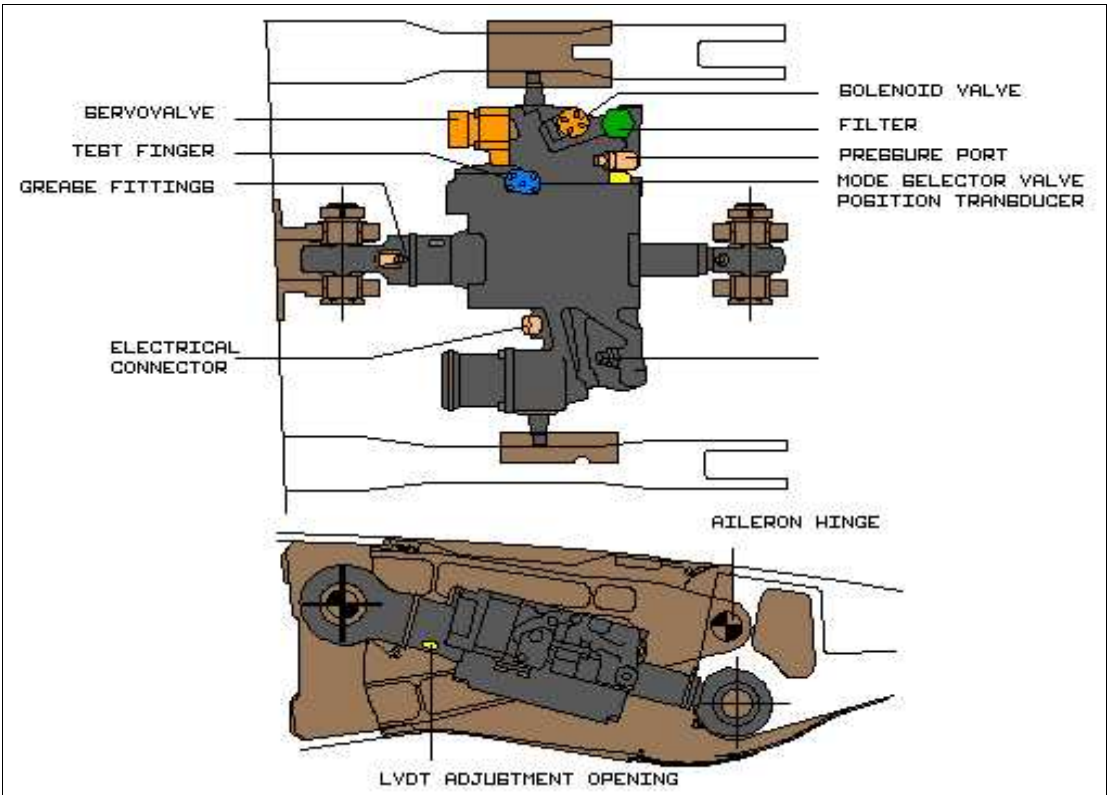


Fig.VI.5 : La servocommande de l'aileron extérieur et sont emplacement dans l'avion.

VI.2.2- Les spoilers :**a)- Définition :**

Six spoilers sont installés à la face supérieure de la surface de chaque aile.

Ils sont utilisés dans des différentes configurations, pour :

Le contrôle du roulis (spoilers de 2 à 6 et les ailerons).

Les fonctions aérofreins et spoilers sol (spoilers de 1 à 6).

La fonction MLA (spoilers de 4 à 6 et les ailerons).

b)- Description :

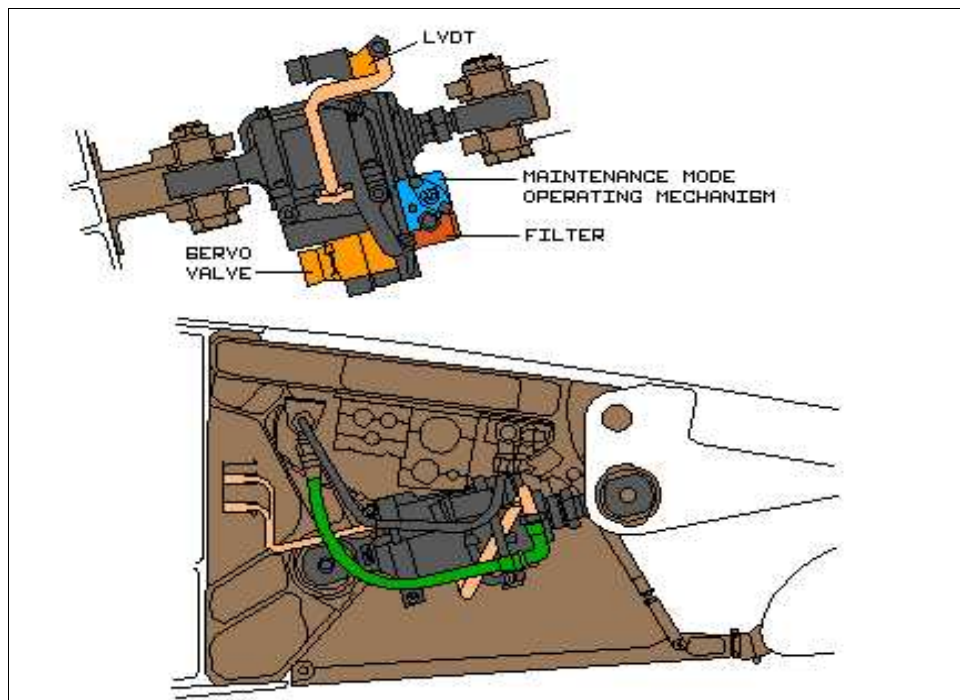
Le levier de commande aérofreins transmet des signaux électriques aux calculateurs primaires FCPC.

Le FCPC envoie les signaux aux calculateurs secondaires FCSC, et ces derniers envoient de leurs côtés les signaux aux servocommandes des spoilers. La même chose pour la fonction spoilers sol.

Le débattement des spoilers se fait automatiquement par les servocommandes.

Un FCPC ou un FCSC contrôle chaque servocommande.

Le FCDC envoie des informations pour l'affichage de la position des spoilers, dans une page ECAM dans un écran au niveau du poste de pilotage.



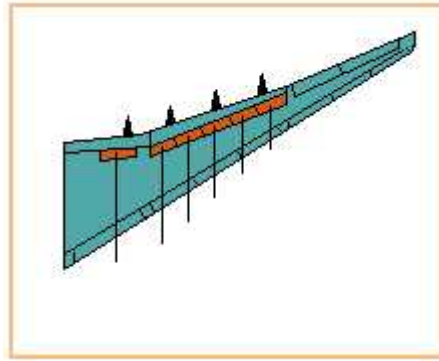


Fig.VI.6 : La servocommande des spoilers et sont emplacement au niveau d'aile.

VI.3- LES COMPOSANTS DU SYSTEME DE LACET :

VI.3.1- La gouverne de direction :

a)-Définition :

La gouverne de direction contrôle principalement la commande lacet de l'avion.

En association avec les ailerons et les spoilers, elle répond automatiquement à la coordination roulis /lacet durant le virage.

Elle est utilisée aussi à la direction de l'avion au sol.

En cas d'une perte totale des conditions normale, la gouverne de direction permet le contrôle de lacet de l'avion avec un système de secours électrique back-up.

b)-Description :

Dans le mode manuel, la gouverne de direction est commandée par les pédales ou la mini manche.

En association avec le transducteur de position qui envoi des signaux électrique au FCPC et FCSC, et au module de contrôle du système de secoure. Les calculateurs envoi les ordres de la commande au servocommandes, et ça dépend des différent lois de contrôles.

Trois servocommandes électrohydrauliques activé simultanément, qui mettent en action la gouverne de direction.

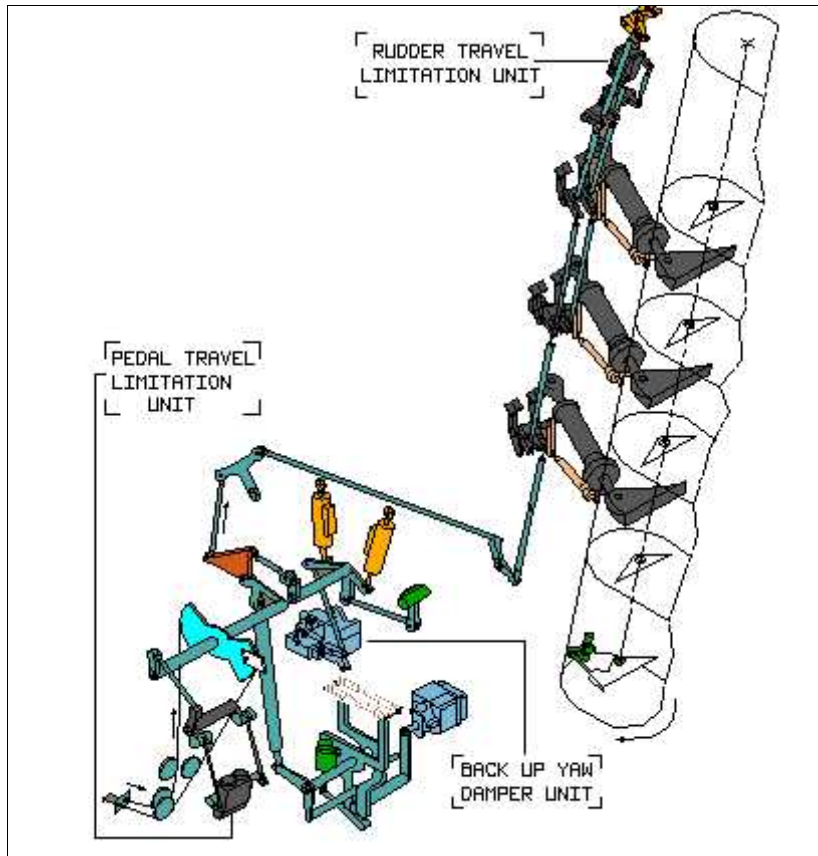


Fig.VI.7 : les principaux éléments de la gouverne de direction.

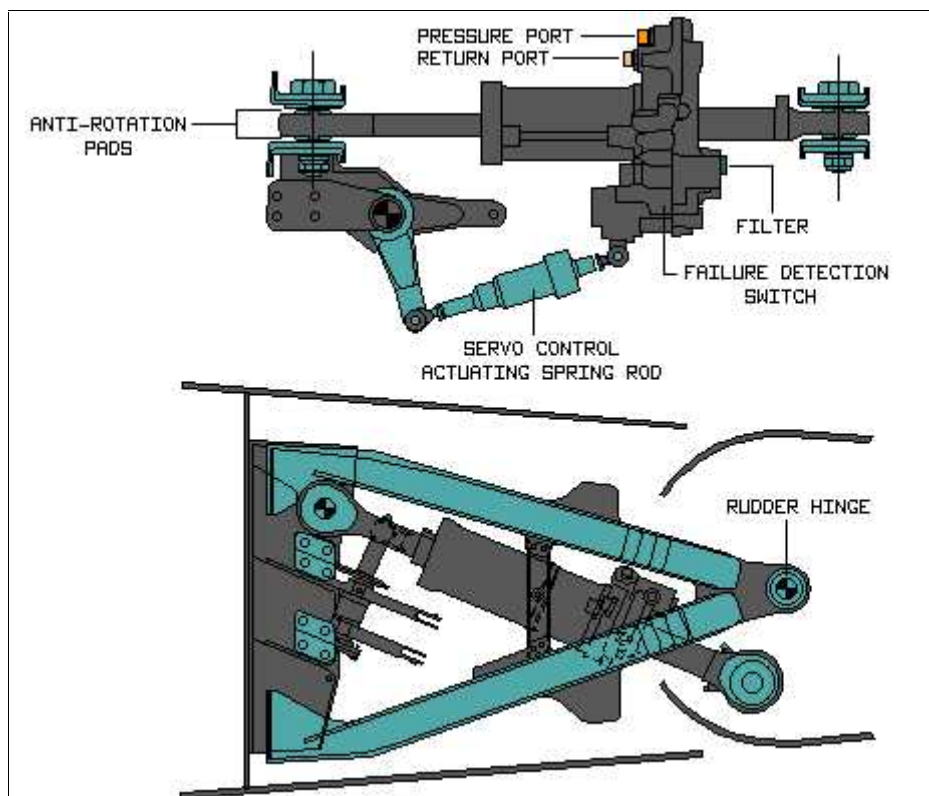


Fig.VI.8 : La servocommande de la gouverne de direction.

VI.4- LES COMPOSANT DES VOLETS :

VI.4.1-Volet bord de fuit :

a)-Généralité :

L'avion à des volets bord d'attaque et bord de fuite pour la commande d'hypersustentation.

Deux volets sont installée dans des railles, dans le bord de fuite de chaque ail, le volet bord de fuite intérieur et le volet bord de fuite extérieur.

L'actionnements des volets bord de fuite est hydromécanique.

Le PCU (Power Control Unit) est une unité hydraulique qui fournit la force nécessaire pour le débattement des volets dans chaque ail.

Le système d'entraînement mécanique transmet la force au vérin rotatoire, qui déplace le volet au bord de fuite.

Deux calculateurs identique SFCC1 et SFCC2 (Slats/Flaps control computers) contrôle les volets de bord de fuite.

L'IPPU (Instrumentation Position Pick-off Unit) est un instrument installé dans le PCU, qui envoie des signaux au EIS (Electronique Instrument Système), qui de leur tour identifie la position des volets.

Les différents composants qui actionnent les volets sont indiqués dans les figures qui suivent.

b)-Description :

On trouve des chariot qui sont installé dans les railles qui maintient les volets. Ces railles sont attachées au longerons installé au dessous du caisson de l'aile.

Chaque volet intérieur es t supporté sur deux railles.

Chaque volet extérieur est supporté sur trois railles.

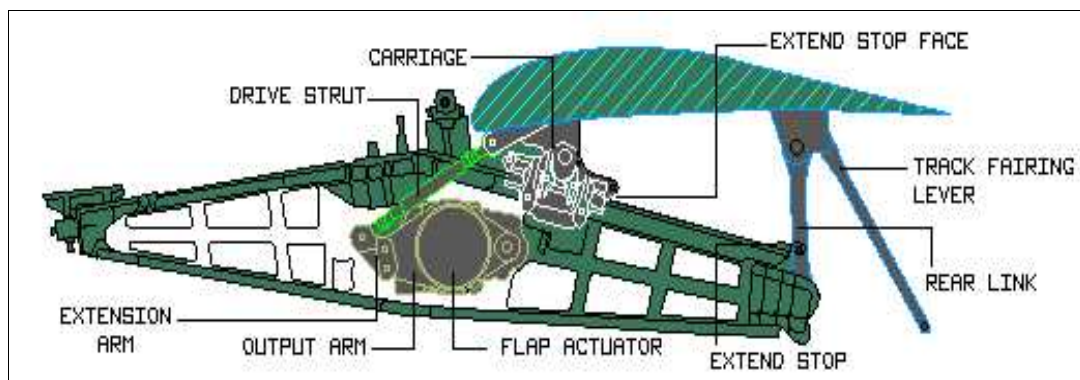


Fig.VI.9 : Volet bord de fuite entré.

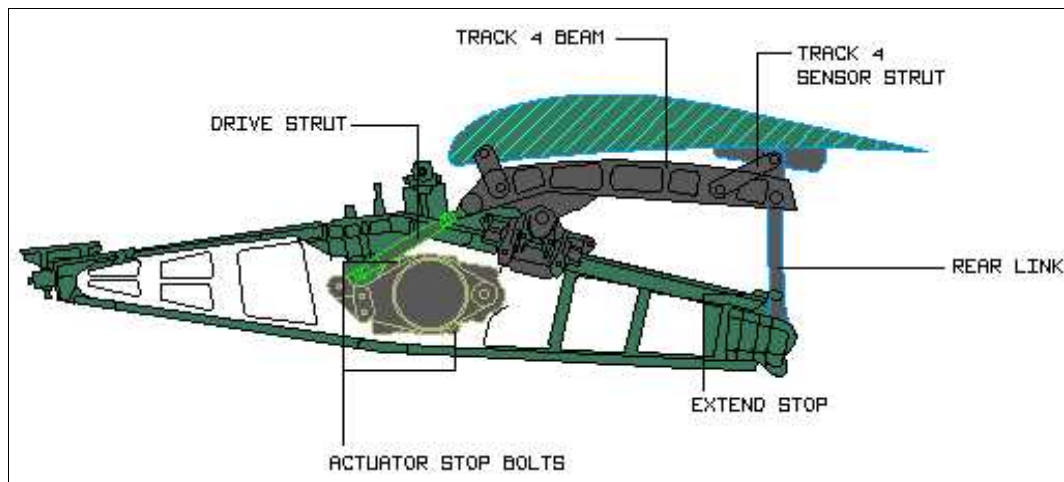


Fig.VI.10 : Volet bord de fuite position sortie.

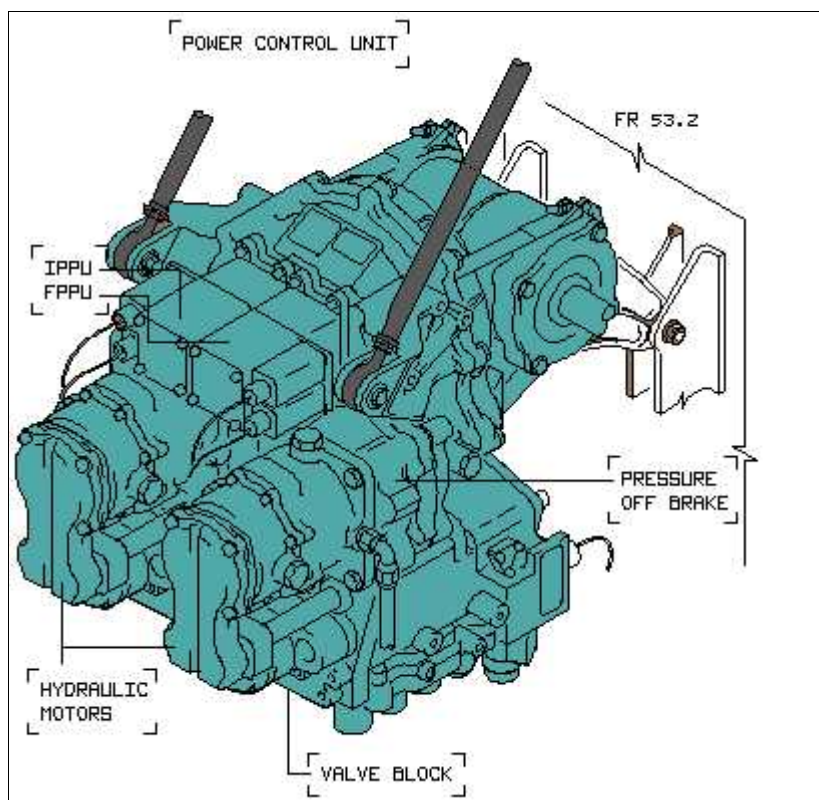


Fig.VI.11 : Le PCU de volet bord de fuite.

VI.4.2- Volet bord d'attaque :**a)- Définition :**

Sept volets situés dans le bord d'attaque de chaque aile, ce sont les volets de bord d'attaque.

L'instrument de position L'APPU, surveille le mouvement de la transmission mécanique.

Il suit aussi l'opération et la position des volets bord d'attaque et bord de fuite.

L' FWD (Engin Warning Display) est un instrument qui se trouve dans le cockpit, il affiche en vol la position des volets bord d'attaque et bord de fuite en mémé temps.

b)- Description :

Comme dans les volets bord de fuite, l'IPPU est attaché au PCU. Il transmet la position des volets. Et la boîte de transmission intermédiaire transmet le mouvement depuis l'arbre de sortie de la boîte à engrenage différentielle au IPPU.

On trouve deux type de servocommandes type A et type B.

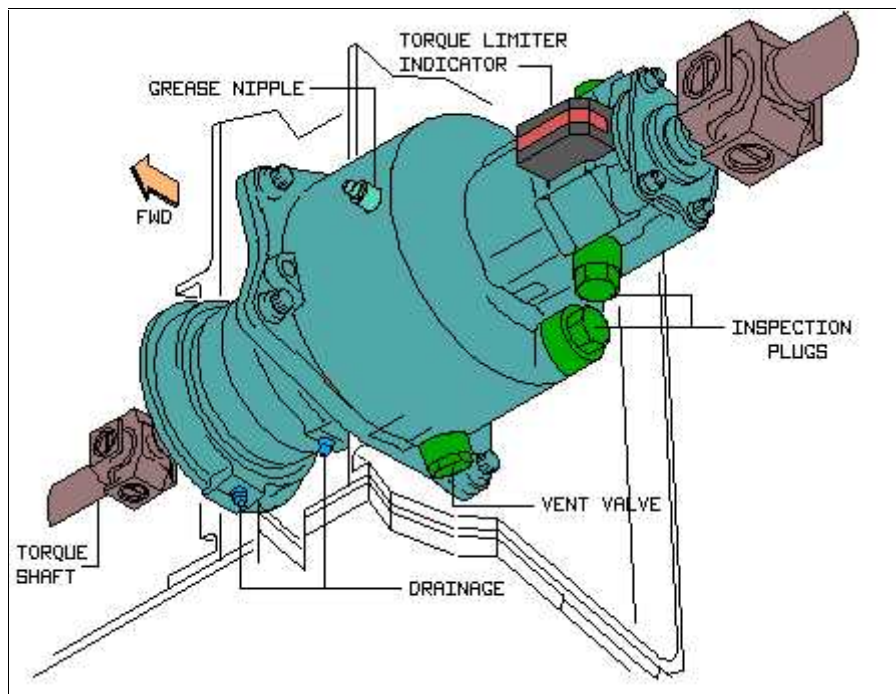


Fig.VI.12 : Servocommande type A.

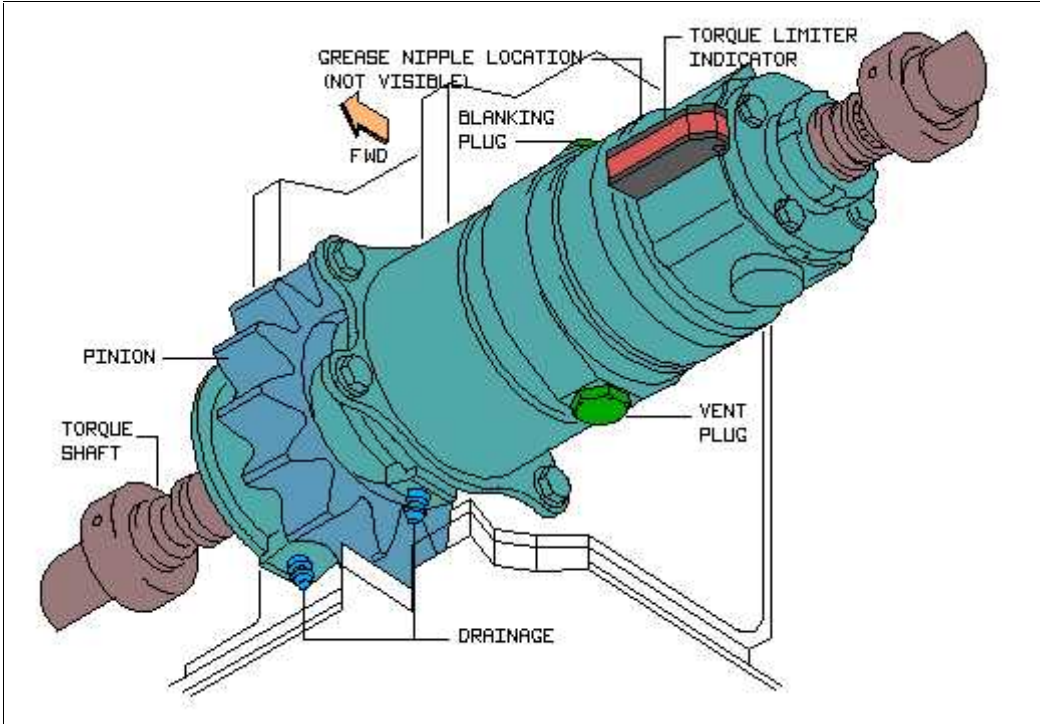


Fig.VI.13 : Servocommande type B.

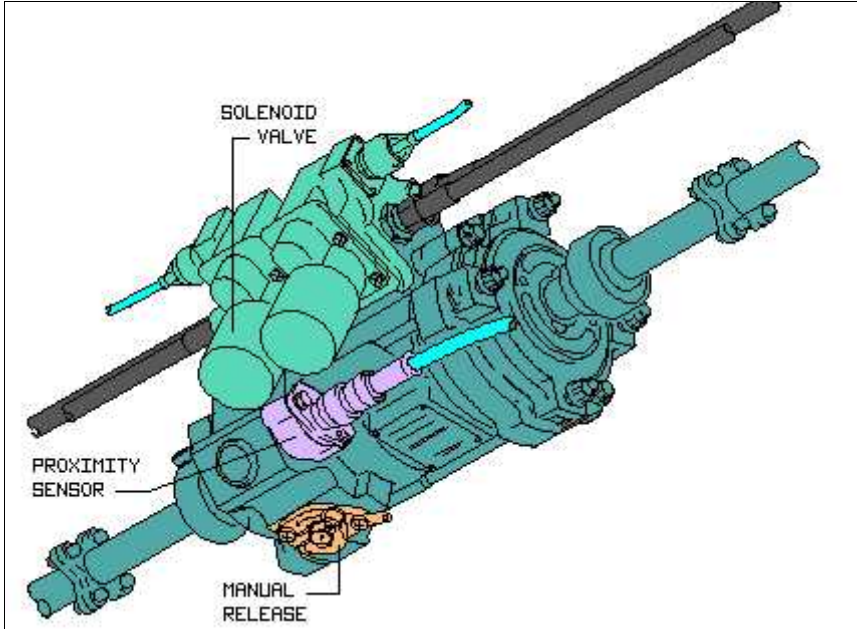


Fig.VI.14 : Le WTB.

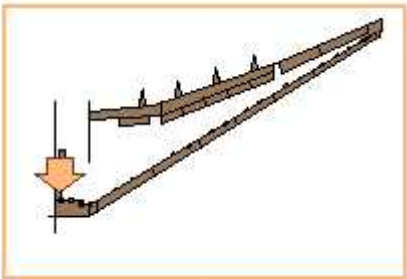
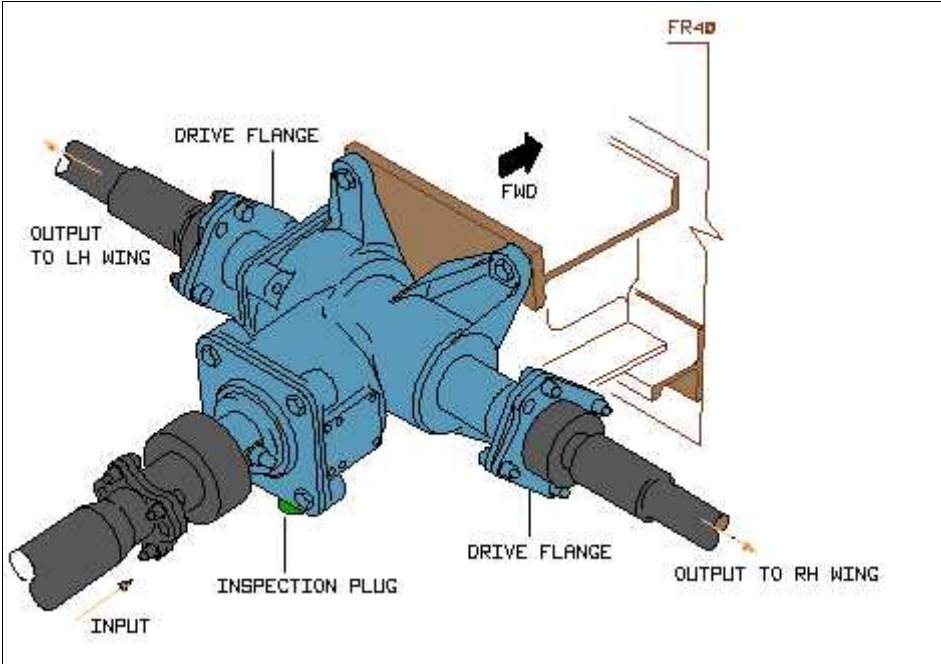


Fig.VI.15 : Composant de transmission boite a engrenage forme T.

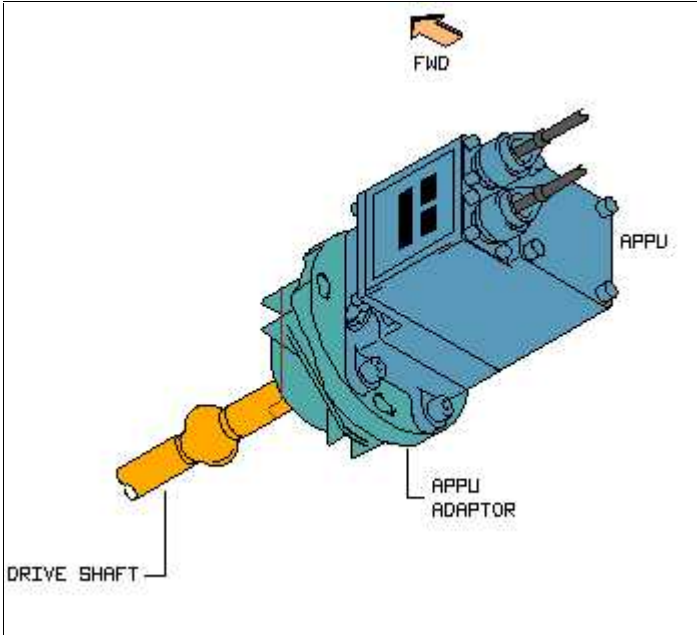


Fig.VI.16 : L' APPU.

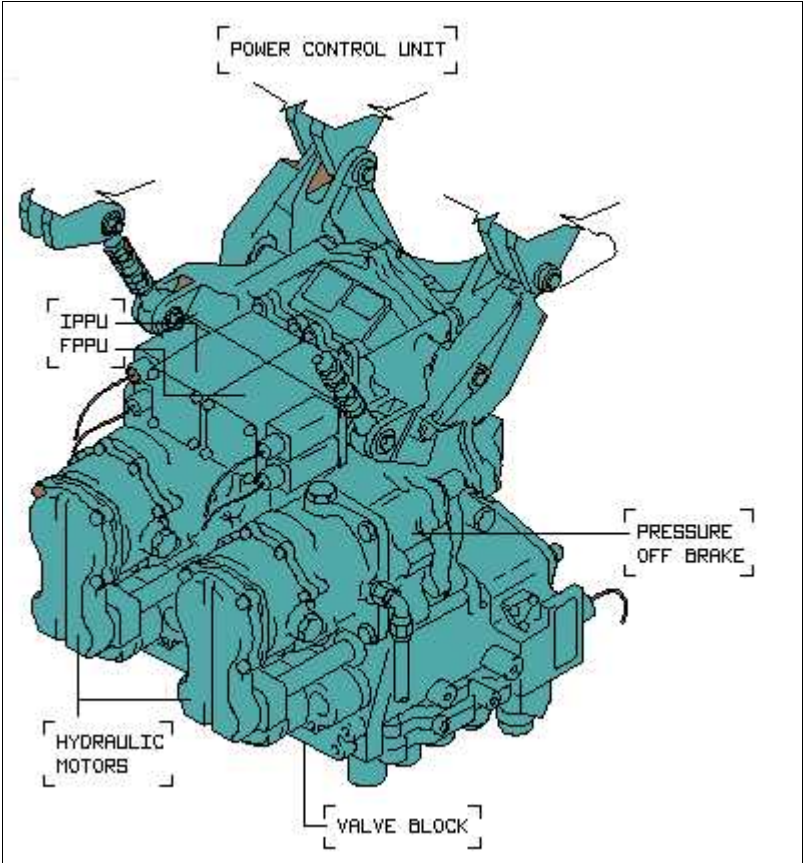


Fig.VI.17 : Le PCU de volet bord d'attaque.

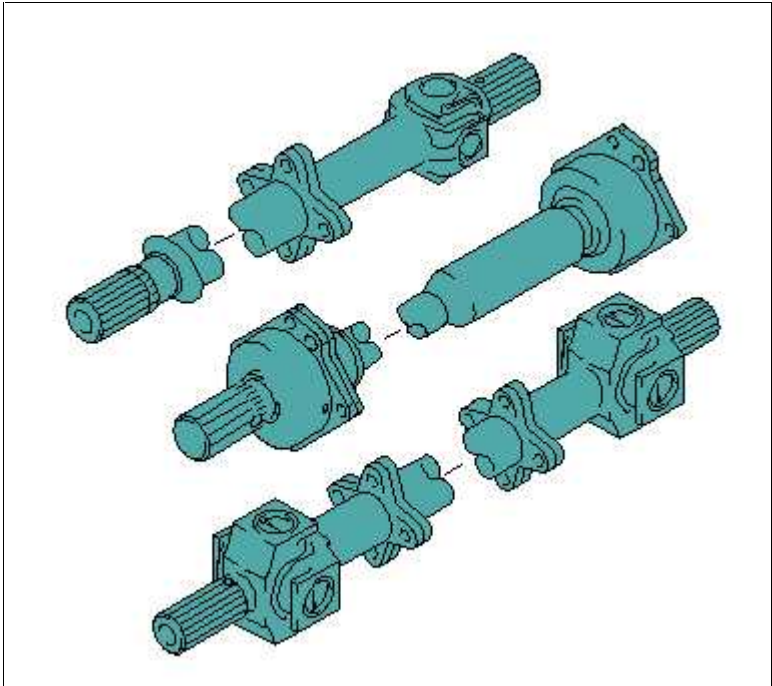


Fig.VI.18 : L'arbre de conjugaison.

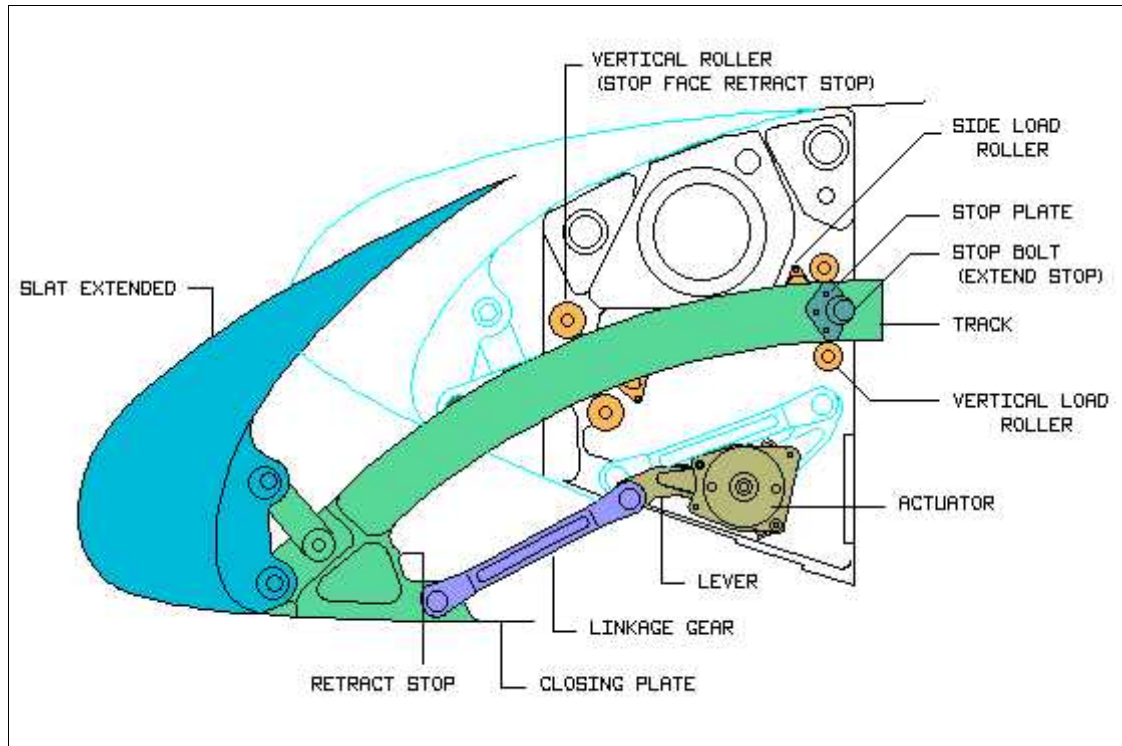


Fig.VI.19 : Volet bord d'attaque sortie en position 1.

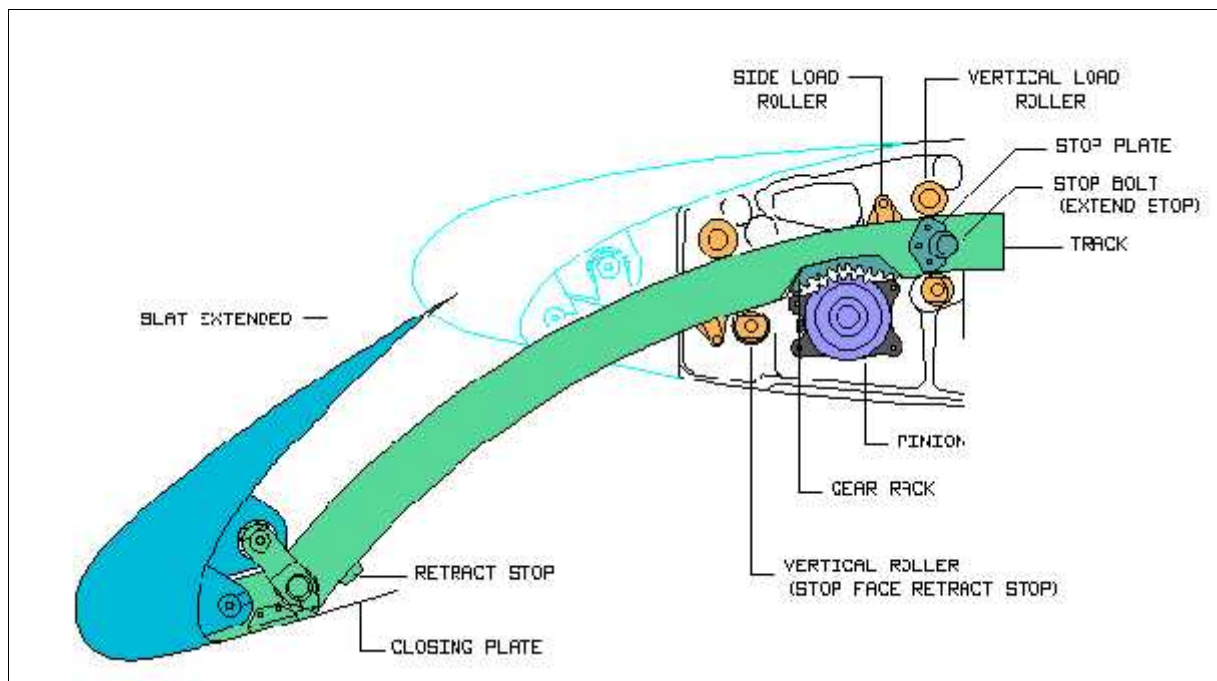


Fig.VI.20 : Volet bord d'attaque complètement sortie.

VII. MAINTENANCE DES COMMANDES DE VOL :**VII.1- Maintenance :****VII.1.1- Définition :**

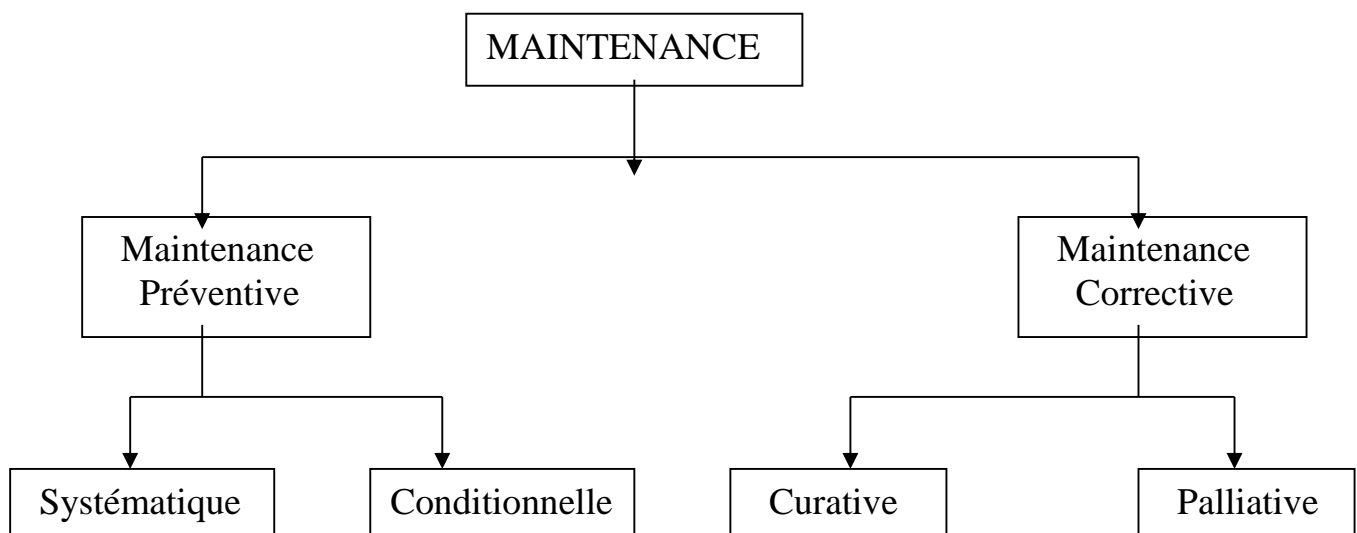
La maintenance est définie comme étant l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans des conditions données.

VII.1.2- Maintenir :

C'est effectuer des opérations de dépannage, graissage, visite et opérations qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production.

VII.1.3- But de la maintenance :

- Augmenter la durée de vie du matériel.
- Diminuer la probabilité de défaillance.
- Diminuer le temps d'arrêt.

VII.1.4- Organigramme de la maintenance :

VII.2-Maintenance préventive :**VII.2.1-Définition :**

C'est une maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien, ou la dégradation d'un service rendu.

Pour cela on a deux types de maintenance préventive :

- Maintenance systématique.
- Maintenance conditionnelle.

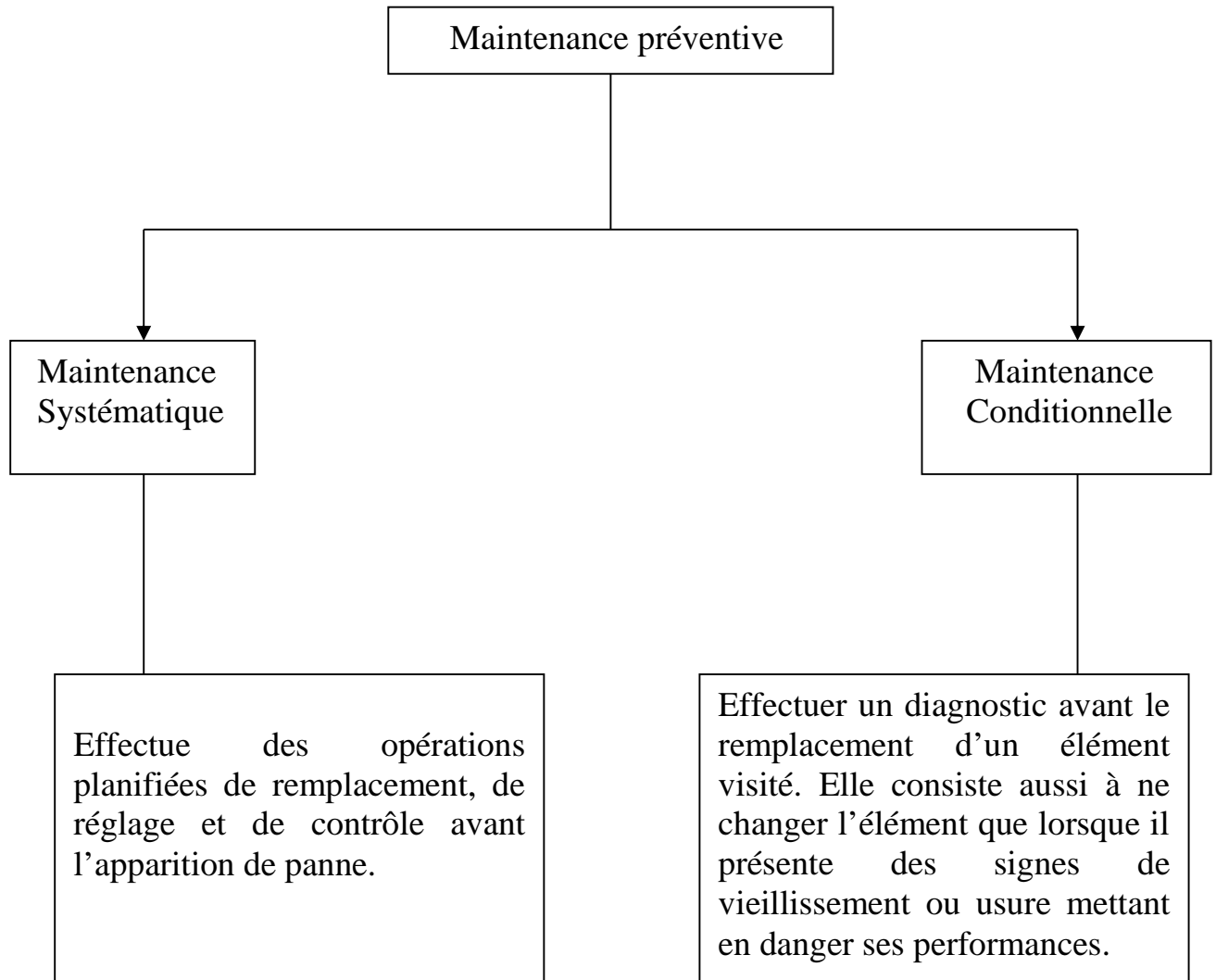
VII.2.2-Maintenance systématique :

C'est une maintenance effectuée selon un échéancier établi en fonction du temps et du nombre d'unités, elle est appliquée avant l'apparition d'une panne.

Ce type de maintenance permet de réduire le nombre de défaillances, d'améliorer la disponibilité de l'équipement, la sécurité et l'augmentation de la durée de vie des équipements.

VII.2.3-Maintenance conditionnelle :

C'est une maintenance qui effectue un diagnostic avant de remplacer l'élément visité. Un démontage ou un remplacement coûte cher en perte de production et en temps. Pour cela la maintenance conditionnelle consiste aussi à ne changer l'élément que lorsque celui-ci présente des signes de vieillissement ou d'usure mettant en danger ses performances.

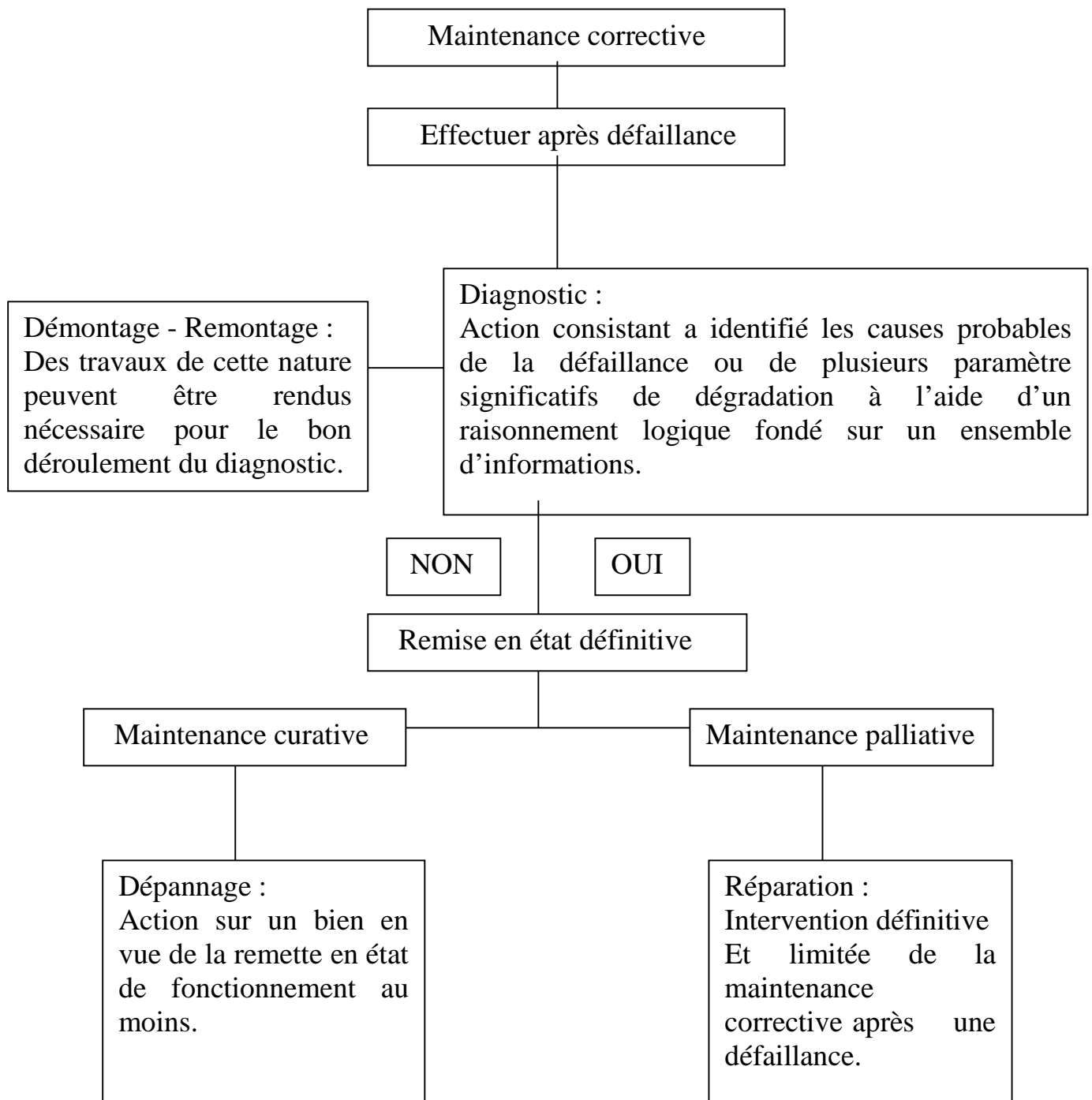
VII.2.4-Organisation de la maintenance préventive :**VII.3-Maintenance corrective :****VII.3.1-Définitions :**

- C'est une maintenance effectuée après une défaillance.
- C'est une politique de maintenance (dépannage ou réparation), qui correspond à une attitude de réaction à des événements plus ou moins aléatoire et qui s'applique après la panne.
- C'est un choix politique de l'entreprise qui malgré tout, nécessite la mise en place d'un certain nombre de méthodes qui permettent de diminuer les conséquences.

VII.3.2-La mise en oeuvre de la maintenance corrective :

La maintenance corrective devra s'appliquer automatiquement aux Défaillances, par exemple la rupture brusque d'un organe mécanique, ou Le court circuit d'un système électrique. Ce type de maintenance sera Réservé au type de matériel peu coûteux.

VII.3.3-Organisation de la maintenance corrective :



VII.4-Maintenance existante a Air Algérie :

La maintenance utilisée au sein de la compagnie Air Algérie est une maintenance préventive basée suivant un programme approuvé par les autorités de l'Aviation Civile. Actuellement, au sein de la compagnie on a mis en place un politique d'entretien préventive en fonction des critères suivant :

- L'importance du matériel dans le cycle d'exploitation.
- Son utilisation.
- Les conditions du travail.

VII.5-L'entretien :

Le règlement prévoit un manuel d'entretien de chaque avion en suivant les indications du constructeur.

Ce manuel contient :

- Les procédures du service d'entretien.
- Généralités sur les équipements, les périodicités lors de chaque visite.
- Les modifications de l'avion et de ces équipements.

VII.5.1-Organisation de l'entretien :

L'entretien est organisé suivant la division des éléments de l'avion qui eux aussi sont divisés en sous éléments.

Les équipes qui effectuent les travaux sont spécialisées, et les lieux où les travaux sont effectués sont spécialisés aussi :

- Le matériel doit être remplacé avant se défaillance.
- Quand le matériel atteint sa limite de fonctionnement il est remplacé pour être révisé.

VII.5.2-Rentabilité de l'entretien :

La rentabilité de l'entretien tient compte de deux éléments essentiels :

- Maintien du niveau de sécurité.
- Diminution au maximum du temps d'arrêt.

VII.5.3-Condition d'entretien :

Pour effectuer un entretien il faut avoir à disposition les documents Suivants :

- Notice d'entretien (Maintenance Manuel).
- Catalogue des pièces détachées (illustrée parts catalogue).
- Manuel de réparation structurale (Structural repaire manuel).
- Notice de révision (Maintenance manuel).

En plus des documents on doit avoir aussi les outils nécessaires pour effectuer un entretien quelconques.

VII.5.4 -Organisation du département d'entretien :**1- Service études :**

Le service études assure :

- Le suivi d'évolution des équipements.
- L'étude des modifications nécessaire pour améliorer l'entretien et diminuer le taux de pannes.
- La créations des documents d'entretien proposées à l'exploitant.
- L'exploitation des incidents par l'ATA (Air Transport Association of America) et des anomalies.

2- Service méthodes :

Le service méthodes assure la planification des opérations d'entretien, Ainsi que l'organisation et la prévention de :

- La programmation.
- La détermination des temps d'intervention.
- La réparation de l'outillage.
- L'installation des ateliers et hangars.
- La répartition du personnel.

3- Service d'approvisionnements :

Il prévoit les pièces de rechanges du matériel .Le matériel se compose de deux catégories :

- Matériel consommable (destructible).

- Matériel révisable (récupérable), ce dernier est muni d'une fiche de matricule ou sont mentionnés (caractéristiques, révision et heure de fonctionnement).

4- Service contrôle :

C'est un service qui met en place un contrôle qui garantit que toutes les opérations accomplies sont effectuées conformes aux méthodes prescrites dans le manuel d'entretien.

5- Service formation :

Celui-ci a plusieurs activités :

- Des cours d'anglais techniques assurés par le centre de perfectionnement du personnel technique.
- Formation des techniciens à l'étranger, lors d'un achat d'un avion ou d'un équipement nouveau, qui leur permettra d'assurer la maîtrise de l'entretien des équipements.

Les techniciens déjà formés bénéficient d'un recyclage tous les cinq ans (en général) pour maintenir le niveau de maîtrise de technicité.

VII.6- Les opérations d'entretiens des commandes de vol de l'A 330-200 :

VII.6.1- Maintenance préventive :

L'exécution des opérations de la maintenance préventive des commandes de vol de l'A330-200 est établie à partir du document de référence « Maintenance planning data » du constructeur qui comporte toutes les tâches référencées à effectuer durant les immobilisations programmées :

- Immobilisation dite check A de courte durée environ 2 à 3 jours (tous les 600 heures de vol).
- Immobilisation dite check C de longue durée 20 jours à 30 jours théoriquement (tous les 4500 heures de vol).

VII.6.2- Maintenance curative :

Elle est effectuée suivant les anomalies signalées par l'équipage sur le document ATL (Aircraft Technical Log) durant le vol et par les techniciens au sol.

Les actions correctives sont reportées, après le dépannage conformément au manuel d'entretien du constructeur, sur les fiches dites « Fiches de Travaux Supplémentaires » cette fiche contient toutes les informations relative au dépannage.

La maintenance curative s'effectue en consultant le MCDU qui est :

MCDU (A Multipurpose Control and Display Unit) :

C'est une interface entre le technicien et les différents systèmes de l'appareil .Grâce à cette option, le technicien peut consulter tous les différents systèmes de l'avion, si une panne surgit au court du vol, le MCDU l'enregistre automatiquement .Il peut enregistré toutes les anomalies qui peuvent survenir pendant les 60 derniers vols. Toujours avec ce même système, le pilote peut entrer en contact avec la tour de contrôle.



Fig.VII.1 : MCDU.

CONCLUSION

L'étude des commandes de vol de l'A330-200, récemment acquis par Air Algérie, dans le cadre la modernisation de la flotte et à la mise au standards de sécurités internationaux a été très bénéfique pour nous, dans la mesure où on a décrit l'ensemble des système des commandes de vol à technologie de dernière génération.

Les commandes de vol sont des systèmes complexes qui demandent beaucoup de soin au niveau de la maintenance.

Nous espérons que le travail, en complément aux études théoriques, très intéressant sera bénéfique sur le plan recherche et technique et utile aux étudiants de notre institut désirant comprendre le fonctionnement.

BIBLIOGRAPHIE

Les manuels :

- **AMM** : Aircraft Maintenance Manual (manuel de maintenance de l'avion).

Les CD:

- Airbus industrie.

Les ouvrages :

« Cellule et systèmes » de Jean Mermoz de la bibliothèque de l'Institut d'aéronautique de blida.

Les sites internet :

- www.Airbus.com
- www.Google.com