



Pilote automatique, Directeur de vol et FMS

PARTIE I

Introduction

Ce document a pour but de présenter les principes et les modes de fonctionnement du pilote automatique, du système de gestion de vol et du directeur de vol sur un avion de ligne moderne. Dans ce sens, il se veut général et non centré sur un appareil particulier.

Il a pour but de vous apprendre à utiliser les différents modes d'un pilote automatique tout en restant dans le domaine de vol normal d'un avion de ligne c'est à dire avec certaines considérations pour la structure de votre avion ainsi que pour la santé et le confort de vos passagers virtuels.

Afin de cerner les limites de l'enveloppe de vol d'un avion, et par delà les limites d'utilisation du PA, certaines notions de mécanique du vol et d'anémométrie seront abordées de manière succincte.

Cette formation a pour intention de montrer qu'un avion de ligne ne se pilote pas uniquement à l'aide du FMC et des modes VNAV et LNAV et aussi de vous donner les outils pour réagir correctement et efficacement aux différentes situations pouvant se présenter en vol.

En deuxième partie, nous nous intéresserons à la programmation du FMC, en passant en revue les éléments et paramètres indispensables au calcul d'une route et d'un profil vertical.

Cette formation ne remplacera donc pas de la lecture du POH de votre *addon* ni les vols tutoriels mais pourra je l'espère, donner une base solide à une compréhension plus approfondie de ceux-ci.

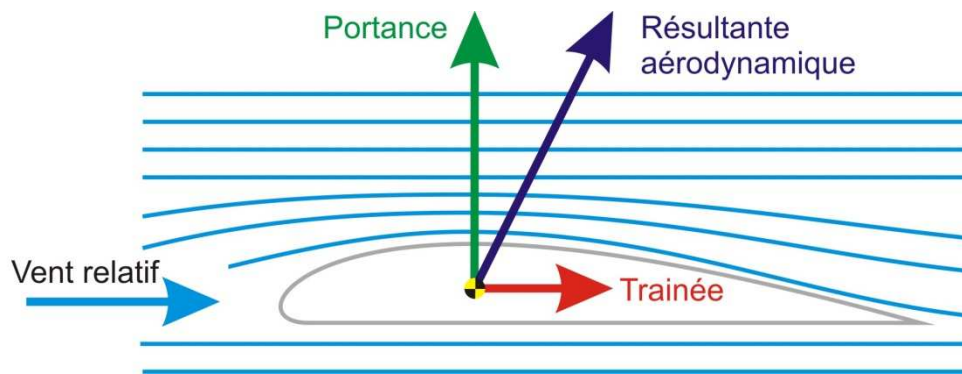
Sommaire

- Principes de vol
- Anémométrie
- Performances
- Directeur de vol
- Interfaces
- Navigation horizontale
- Navigation verticale
- Autothrottle
- Le cas Airbus

Mécanique du vol

Profil et résultante aérodynamique.

Un profil d'aile soumis à un vent relatif génère une force appelée résultante aérodynamique. On décompose cette résultante en deux forces perpendiculaires entre elles, qu'on a appelées la PORTANCE et la TRAINÉE.



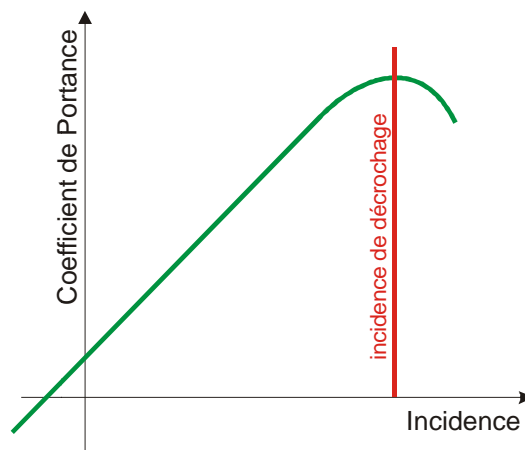
La Portance

La portance est une force générée par un profil d'aile en déplacement dans l'air. La formule définissant la portance est $F_z = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_z$

Cette force est :

- Perpendiculaire au vent relatif et dirigée vers le haut.
- Proportionnelle à la surface alaire.
- Proportionnelle au carré de la vitesse.
- Fonction de la densité de l'air.
- Fonction du coefficient de portance caractéristique d'un profil et variant avec l'incidence.

Le coefficient de portance augmente avec l'incidence de l'aile jusqu'à un certain angle, au-delà duquel l'aile décroche, c'est-à-dire que la portance générée chute brusquement.



La trainée

La traînée est une force parallèle au vent relatif qui s'oppose à l'avancement de l'avion. Elle peut être décomposée en deux parties : la traînée parasite et la traînée induite.

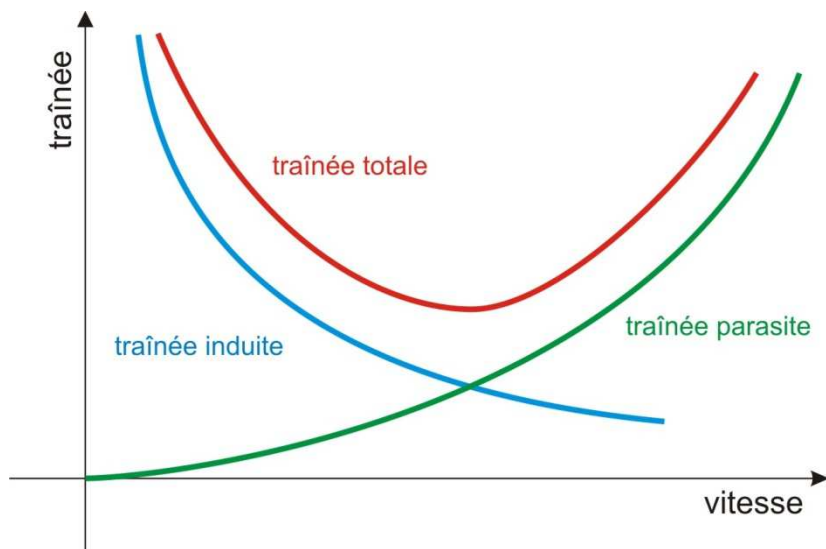
La traînée parasite est :

- Proportionnelle au carré de la vitesse, fonction de la densité de l'air et du coefficient de traînée.
- Dépend de la « forme » et de l'état de surface de l'avion

La traînée induite est :

- Générée par la portance et indissociable de celle-ci ; elle est fonction du coefficient de portance
- Inversement proportionnelle au carré de la vitesse.

La somme de ces deux traînées s'appelle la traînée totale.

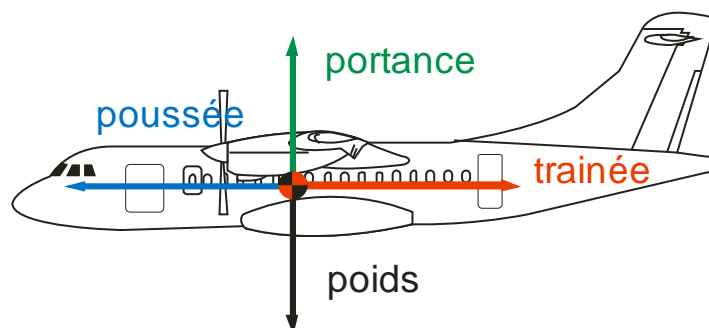


On constate que la traînée totale fonction de la vitesse diminue dans un premier temps pour atteindre un minimum et augmenter ensuite. Ce minimum appelé V_{md} détermine la vitesse de finesse maximum. Pour les avions à réaction, ce point caractéristique est aussi la vitesse d'endurance maximum, de meilleure pente de montée, de séparation du 1^{er} et 2nd régime et du plafond de propulsion.

Equilibre de forces

Vol horizontal

En vol horizontal rectiligne à vitesse constante, la poussée équilibre la traînée, la portance équilibre le poids.

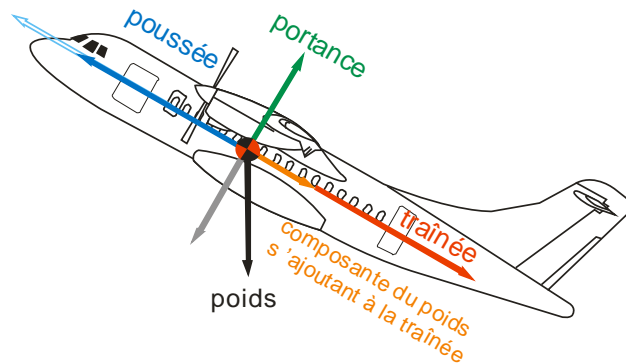


En montée

En montée rectiligne, on peut décomposer le vecteur poids en deux vecteurs, l'un parallèle et l'autre perpendiculaire à la trajectoire. La fraction du poids parallèle à la trajectoire s'ajoute à la traînée. La résultante n'est plus équilibrée par la poussée. Il faut donc augmenter la poussée sous

peine de voir la vitesse diminuer.

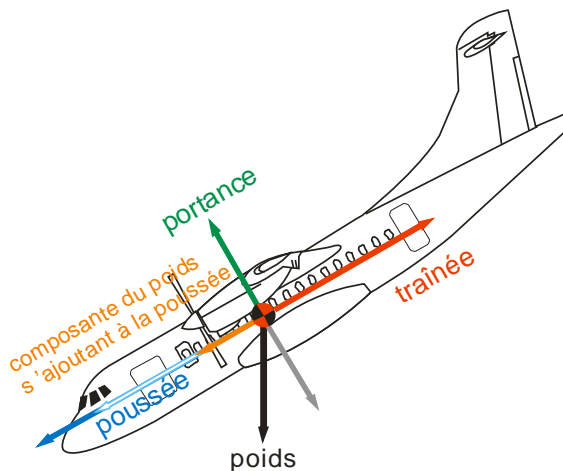
La poussée ne peut pas être augmentée de manière indéfinie, donc si on continue à augmenter la pente, la vitesse va diminuer. Pour maintenir la portance égale au poids apparent (le vecteur gris perpendiculaire à la trajectoire), il faudra augmenter l'incidence afin de compenser la diminution de vitesse. Si la vitesse continue à baisser, on atteindra l'incidence de décrochage, et l'avion va chuter.



En descente

En descente, une fraction du poids s'additionne à la poussée. Maintenir une vitesse constante nécessite donc de réduire la puissance.

Si on accentue trop la pente, la traînée ne suffira plus pour équilibrer la résultante « poussée plus poids ». L'avion va continuer à accélérer et éventuellement se retrouver en survitesse.



Anémométrie

Chaine des vitesses

Le tube de pitot mesure la pression totale lorsque l'avion avance dans la masse d'air. Par soustraction de la pression atmosphérique on obtient la pression dynamique qui est directement proportionnelle à la vitesse de l'avion à basse altitude. La vitesse indiquée, appelée IAS, affichée sur l'anémomètre est représentative de cette pression.

A basse vitesse, l'air est considéré comme incompressible ; ce n'est plus le cas pour les avions modernes à vitesse de croisière.

Pour des vitesses supérieures à 200 kt et des altitudes supérieures à 15000 ft, l'air ne peut plus être considéré comme un fluide incompressible. La valeur de pression mesurée par la sonde est surévaluée. On fait alors intervenir un coefficient correcteur appelé coefficient de compressibilité qui

varie de 1 à 0,84. L'application de ce coefficient donne la vitesse équivalente notée *EAS*, inférieure ou égale à l'*IAS*.

Le domaine de vol d'un avion est limité en bas par la vitesse de décrochage, et en haut par la *Vmo* (*velocity maximum operating*) ou *Vne* sur les avions légers (*velocity never exceed*) exprimés en *EAS*.

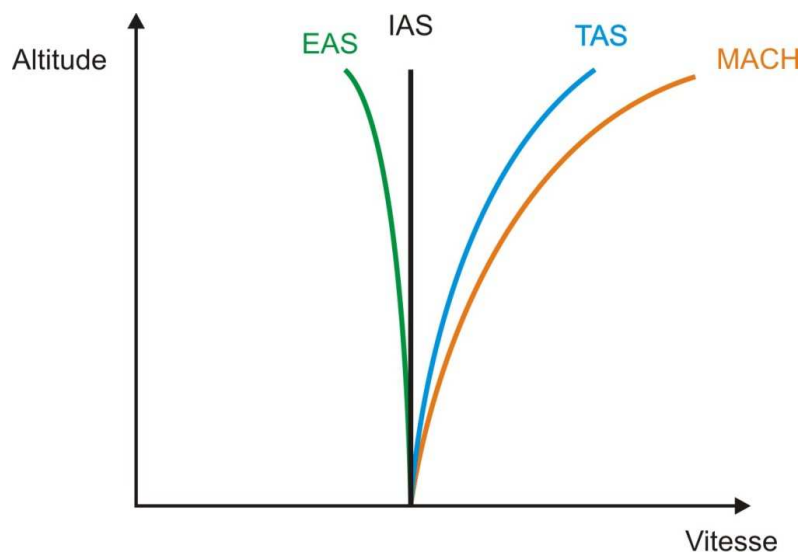
Dès que l'on quitte le niveau du sol, la densité de l'air diminue et la mesure de pression fournie par l'anémomètre ne correspond plus à la vitesse de l'avion dans la masse d'air. L'*EAS* doit être pondérée d'un coefficient prenant en compte la diminution de la densité de l'air en fonction de l'altitude. On obtient, en multipliant l'*EAS* par $\frac{1}{\sqrt{\sigma}}$ où σ (*sigma*) représente la densité de l'air à l'altitude considérée, la vitesse vraie, ou *TAS* (*true airspeed*). Comme la densité diminue avec l'altitude, on comprend que pour une *EAS* constante, la *TAS* augmente avec l'altitude.

Chaine complète (pour info) :

$$IAS + k_i \rightarrow CIAS \times k_a \rightarrow CAS \times k_p \rightarrow EAS \times \frac{1}{\sqrt{\sigma}} \rightarrow TAS$$

<small>indicated airspeed</small>	<small>corrected IAS</small>	<small>calibrated airspeed</small>	<small>equivalent airspeed</small>	<small>True airspeed</small>
---------------------------------------	----------------------------------	--	--	----------------------------------

Relations entre les vitesses en fonction de l'altitude



La vitesse du son et le nombre de Mach

La vitesse du son dans l'air est variable et dépend exclusivement de la température de l'air. Plus l'air est chaud, plus la vitesse du son est élevée. On comprendra que, comme la température de l'air diminue généralement avec l'altitude, la vitesse du son est plus élevée au niveau du sol qu'au FL300.

$$a = 39 \times \sqrt[2]{T} \text{ avec } T \text{ en Kelvin}$$

Le *Mach* est un nombre sans dimension égal à $\frac{TAS}{a}$

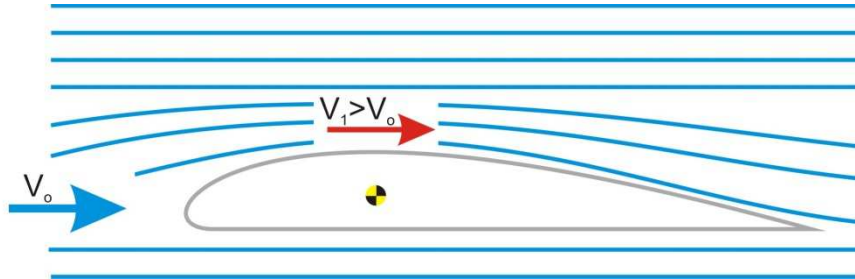
Si la *TAS* est égale à la vitesse du son, le *Mach* est égal à 1

A une altitude pression donnée, à une *IAS* correspond un nombre de *Mach*, indépendamment de la température.

L'*IAS* et le *Mach* représenteront alors la même *TAS*, qui elle, variera en fonction de la température.

Mach critique et M_{mo}

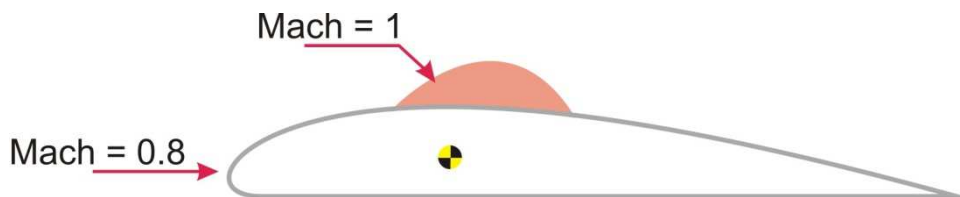
La vitesse de l'écoulement de l'air varie autour d'une cellule d'avion en fonction des endroits. Autour d'une aile, elle est la plus élevée à l'aplomb de l'épaisseur maximum du profil de l'aile



A l'approche de la vitesse du son, l'écoulement aérodynamique est fortement perturbé. Des phénomènes de vibrations violents (*buffeting*) apparaissent, ainsi qu'une modification profonde de l'équilibre de l'avion (avancée importante du centre de portance). Les avions de ligne ne sont pas conçus pour opérer dans le domaine transsonique. Ce domaine de vol leur est par conséquent strictement interdit.

Le domaine transsonique commence lorsqu'une partie de l'écoulement atteint la vitesse du son. Cette vitesse est appelée le *Mach critique*.

L'apparition d'une « cloche sonique » se produit à l'endroit où l'écoulement le plus rapide et s'observe sur l'extrados de l'aile, approximativement à l'épaisseur maximum.

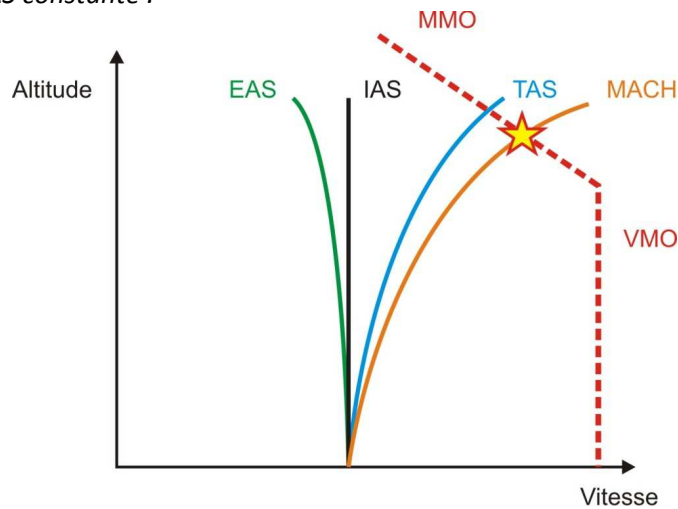


Le *Mach critique* d'un avion de ligne dépend de la conception de l'avion et se situe en général entre 0.85 et 0.88.

La M_{mo} (*Mach maximum operating*) est déterminée en fonction de ce *Mach critique* avec une marge de sécurité suffisante (turbulence).

Apparaît dès lors cette troisième limitation qui prend toute son importance lorsque l'altitude augmente.

Montée à IAS constante :



Lors d'une montée, initiée à IAS constante, cette limitation imposera de voler en nombre de Mach à partir d'une certaine altitude, sous peine de dépasser la Mmo. L'altitude de ce changement dépend du couple IAS/Mach défini pour la montée. Ce couple est défini soit par le FMC, soit par le pilote, soit par une politique de compagnie, en fonction des caractéristiques de l'avion (Mmo et Vmo) et du cost index (montée rapide ou économique). La transition entre les modes IAS constant et Mach constant est effectué à l'altitude ou l'IAS et Mach choisis représentent la même TAS.

Le Mach auquel s'effectue se changement s'appelle le Mach de référence. L'altitude à laquelle s'effectue se changement s'appelle l'altitude de conjonction.

Exemples de Mach de référence pour la flotte Air France

Boeing 737-500 : 280 kt/Mach 0.74 au FL300

Boeing 747-400 : 350 kt/Mach 0.86 au FL270

Boeing 777: 340 kt/Mach 0.84 au FL270

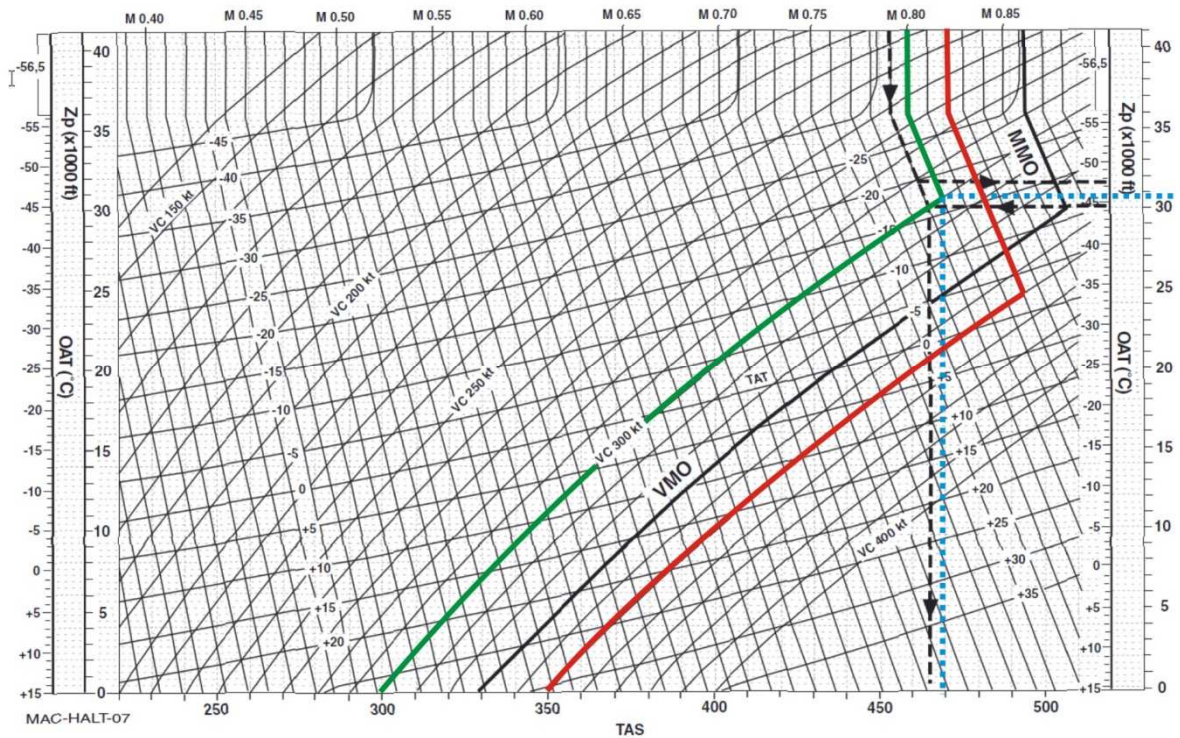
Airbus 320: 300 kt/Mach 0.80 au FL305

Airbus 340: 300 kt/Mach 0.82 au FL320

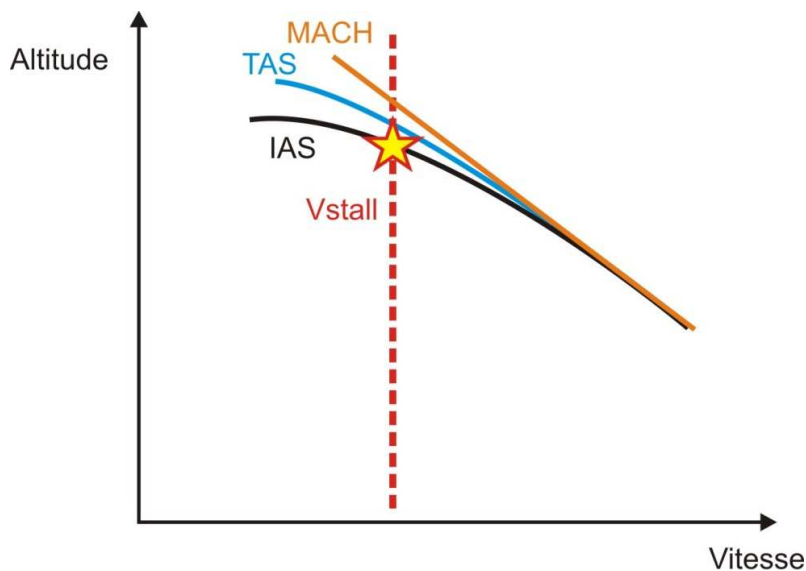
Abaque Chevallier

Exemple : Airbus 320

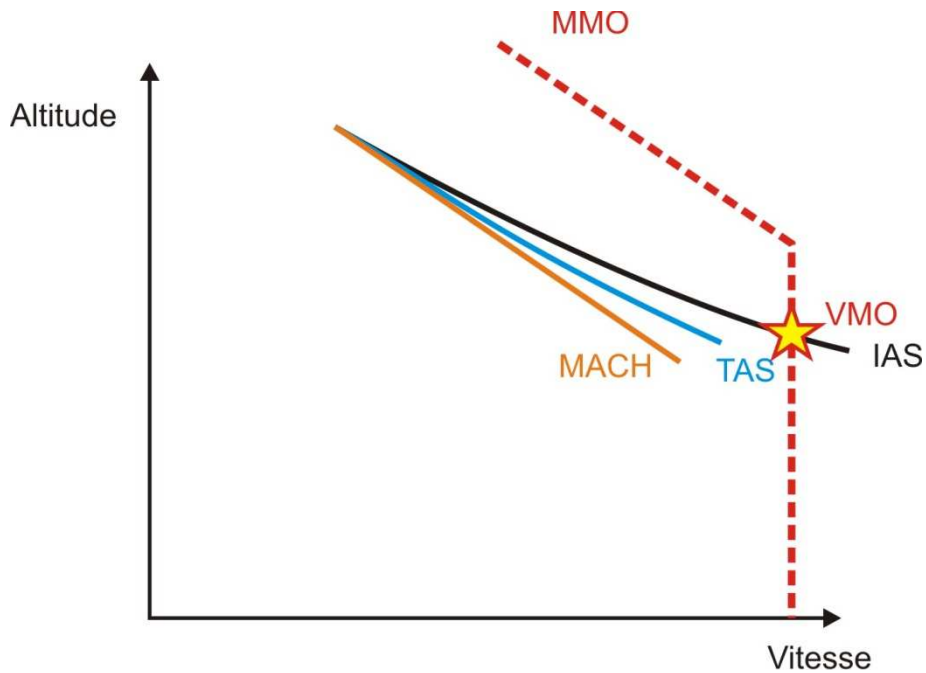
- Vmo : 350 kt
- Mmo : 0.82
- Change over: 300 kt/Mach 0.80 au FL305



Du fait de la diminution de la vitesse du son avec la température, donc avec l'altitude, une montée à *Mach* constant depuis les basses altitudes va conduire inmanquablement à une diminution de l'*IAS* jusqu'à atteindre l'incidence de décrochage.



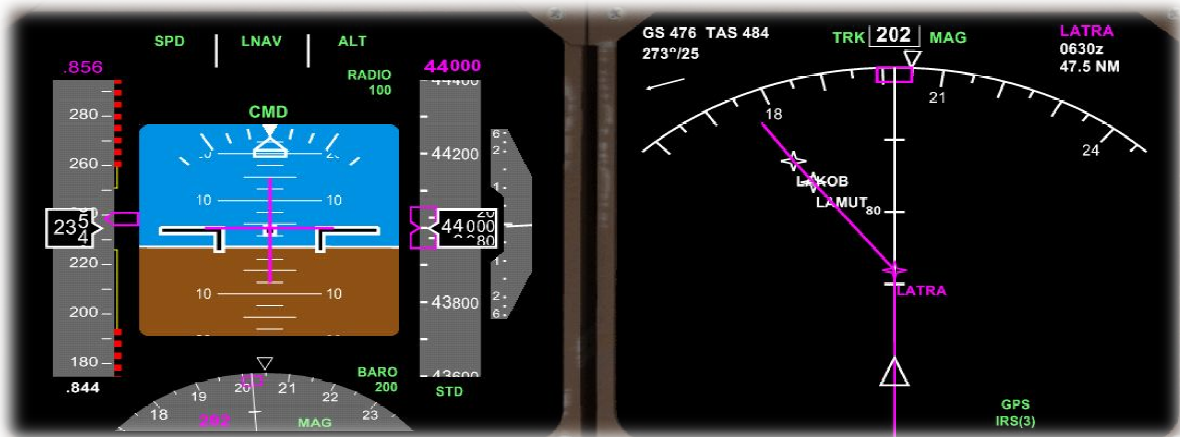
De même à la descente, effectuée initialement à *Mach* constant, la vitesse limitant redeviendra à une certaine altitude la *Vmo* qui imposera de repasser en *IAS* constante, sous peine de dépassement des limites structurales de l'avion.



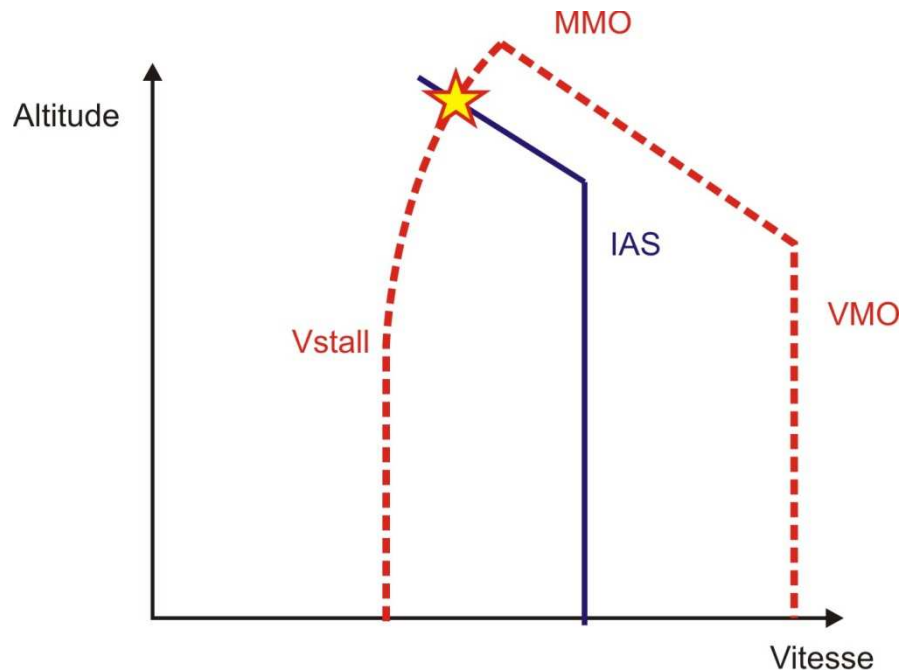
Coffin Corner

Avec l'augmentation de l'altitude et l'augmentation de la compressibilité, la vitesse de décrochage augmente.

On arrive alors dans une zone que les pilotes appellent le coin du cercueil, ou *coffin corner*. On se situe dans une étroite fourchette entre le décrochage haute vitesse et le décrochage basse vitesse.



Si la puissance est suffisante et qu'on continue à monter, on atteindra le plafond de sustentation et la vitesse de décrochage basse rejoindra la vitesse de décrochage haute. Le vol n'est plus possible. Sur les avions de ligne, on atteint la V_{md} et le plafond de propulsion avant le plafond de sustentation. Le risque subsiste néanmoins sous fort facteur de charge, dans des turbulences, par exemple.



Performances

Atmosphère standard

Les caractéristiques de l'atmosphère terrestre, humidité, pression, température varient d'heure en heure et de place en place autour du globe. Afin de concevoir et d'étalonner les instruments barométriques et anémométriques, il a fallu déterminer une atmosphère type qu'on a appelé atmosphère standard. Cette atmosphère est en quelque sorte une atmosphère moyenne composée d'air sec, dont la pression serait de 1013.25 hPa au niveau de la mer, pour une température de 15°, avec une décroissance de 2° par 1000 ft d'altitude.

Facteurs affectant les performances

La puissance disponible est fonction de la densité de l'air

La portance disponible est fonction de la densité de l'air

La portance nécessaire est fonction de la masse

Influence de la densité de l'air sur la puissance disponible

La combustion des gaz dans un moteur (à explosion ou à réaction) est conditionnée par la quantité de carburant et d'oxygène disponible. Le dosage air/carburant doit être maintenu dans un rapport idéal de 1 pour 15.

La proportion d'oxygène dans l'air est constante dans les couches qui concernent l'aviation.

Comme la densité de l'air diminue avec l'altitude, la quantité d'oxygène disponible diminue de même manière. Donc, plus on monte, moins on dispose de puissance.

La densité de l'air varie non seulement en fonction de l'altitude mais aussi en fonction de la température. Pour calculer les performances d'un avion à partir de tables, on a eu besoin de définir une base commune. Cette base commune, c'est l'altitude densité, c'est à dire l'altitude fictive à

laquelle on se trouverait si l'atmosphère était standard. C'est une altitude pression corrigée de la température.

Portance

La formule définissant la portance est $F_z = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_z$ dans laquelle ρ représente la masse volumique de l'air. La densité étant directement fonction de la masse volumique, la portance dépend donc de la densité de la masse d'air.

Masse

La masse a bien sûr une influence capitale sur les performances d'un avion.

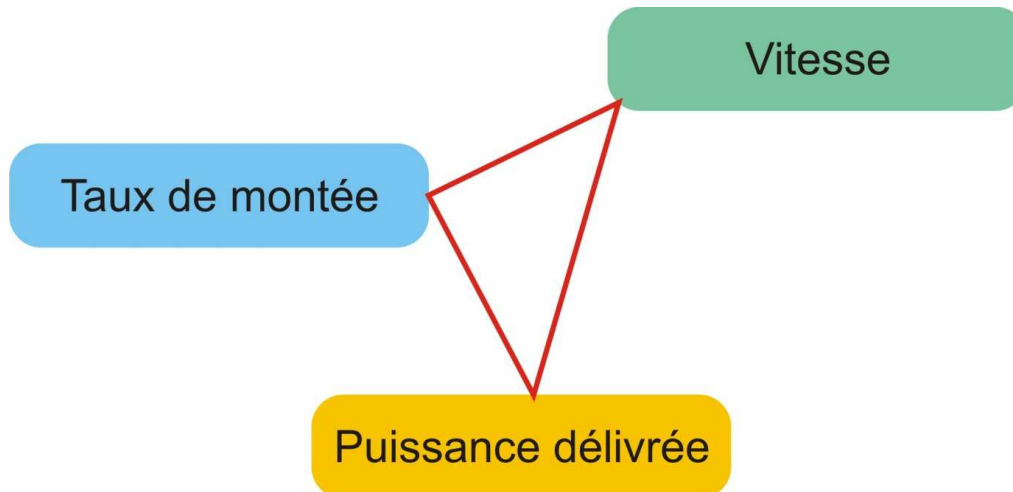
En vol horizontal, pour une masse plus importante, il faut augmenter la vitesse ou l'incidence pour augmenter la portance et maintenir l'avion en l'air ; ces deux facteurs ont une influence sur la traînée et donc impliquent un supplément de puissance.

En montée et au décollage, l'énergie nécessaire est plus grande pour une masse plus élevée

Relations entre différents paramètres de performance

Considérons pour une altitude densité et une masse constante :

- Le taux de montée
- La puissance délivrée
- La vitesse



Ces trois paramètres sont en équilibre permanent et intimement liés. Si un de ces paramètres est fixé, toute modification de l'un des paramètres restants entraîne obligatoirement une modification du dernier paramètre dans l'un ou l'autre sens afin de maintenir l'équilibre.

Ex : la vitesse est fixée : si on augmente le taux de montée > il faut augmenter la puissance

La puissance est fixée : si le taux de montée augmente > la vitesse diminue

Le taux de montée est fixé : si la puissance diminue > la vitesse diminue

Pilote automatique, architecture générale

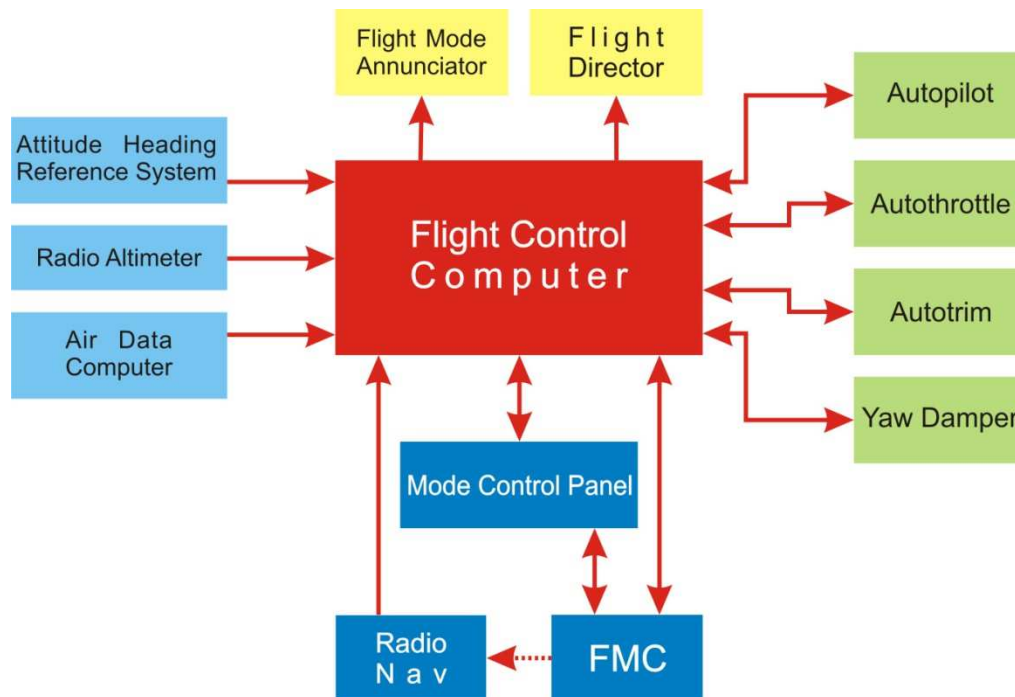
Sur les avions de lignes modernes, les automatismes de conduites sont composés de plusieurs entités interconnectées. On peut distinguer le pilote automatique, l'autothrottle, le trim automatique et l'amortisseur de lacet (*yaw damper*).

Chaque entité dispose de plusieurs modes qui peuvent être engagés indépendamment les uns des autres ou en combinaisons, suivant les modes utilisés.

Laissons le *yaw damper* de côté, il s'agit d'un automate sur lequel le pilote n'a pas de contrôle en dehors du commutateur d'engagement *on/off*.

Le trim automatique compense automatiquement l'avion en fonction des paramètres de vol de manière à restituer à l'équipage un avion humainement pilotable à la déconnexion du *PA*. Une panne de trim automatique est une condition suffisante au non engagement du *PA*.

Chaque constructeur utilise une terminologie qui lui est propre, mais les fonctions des différents systèmes sont grosso modo identiques à quelques nuances près.

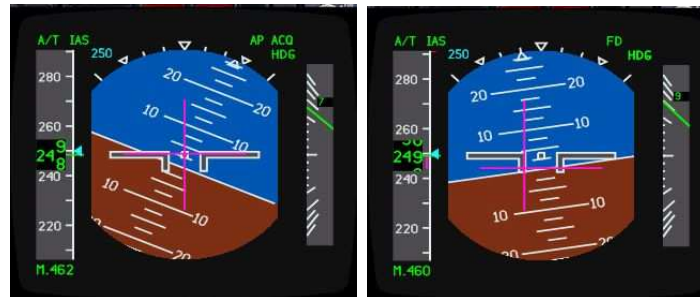


Le Directeur de vol

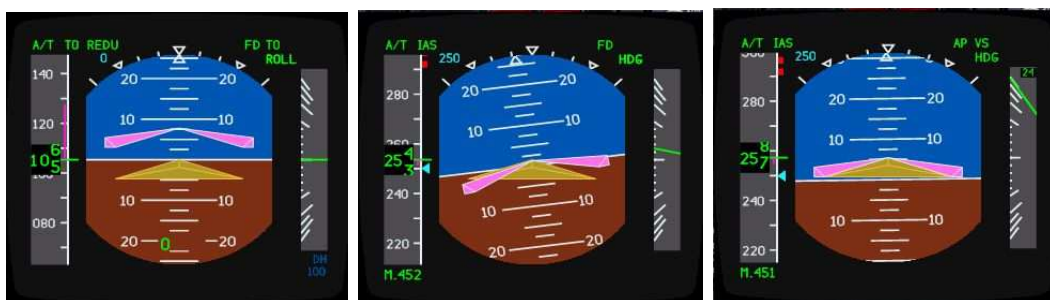
Le directeur de vol assiste le pilote dans sa tâche de pilotage en mode manuel. Le directeur de vol analyse les informations fournies par les instruments de bord et les données introduites au *MCP*, afin de définir la trajectoire optimale. Le pilote n'a plus qu'à se conformer aux indications fournies par le *FD* pour rejoindre et conserver cette trajectoire.

Il existe plusieurs modes de représentation du *FD*.

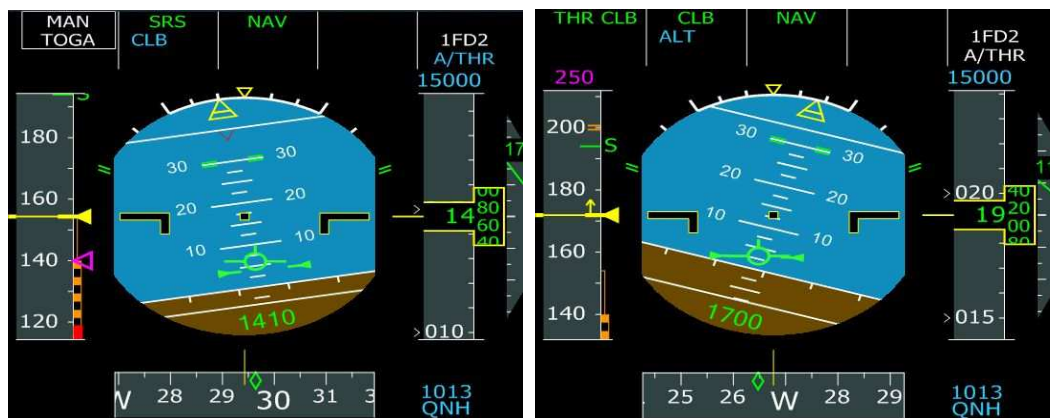
On trouve : les barres de tendance ou *crosshair*



les moustaches ou *single cue*



le *flight path director*



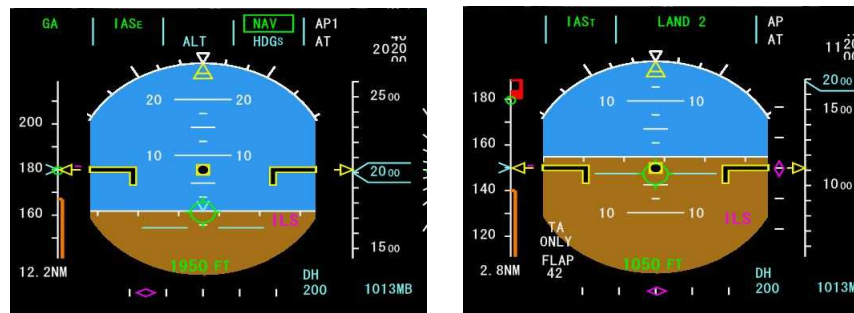
Les deux premières représentations ont pour référence la maquette avion, le troisième que l'on trouve sur Airbus ou 777 à la discrétion du pilote, est référencé par rapport au *flight path vector* (*birdie*). Les moustaches se retrouvent majoritairement sur les petits avions ou comme option de compagnies, sur Avro, Boeing737 ou MD80 .

Contrairement à la maquette avion qui est fixe, le *flight path vector* est dynamique et représente la trajectoire réelle de l'avion.

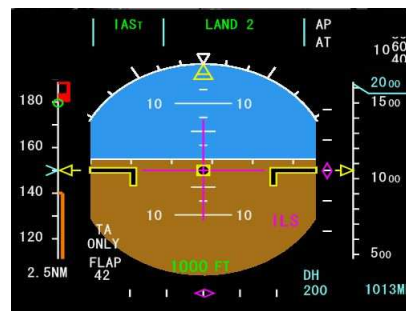
La maquette symbolise l'assiette de l'avion par rapport à l'horizontale, le *FPV* matérialise la pente et la dérive par rapport au sol.

Le *FPV* peut se retrouver seul sans le *FPD* (*HUD* Boeing, Fokker).

Il permet alors de suivre une pente affichée préalablement au *PF* ou au *HUD*



Attention à ne pas confondre les barres de tendance du *FD* avec la représentation des plans de l'*ILS*. Un *ILS* matérialise la position de l'avion dans l'espace par rapport aux plans du *localizer* et du *glide slope*, alors que le *FD* donne des ordres de pilotage sous forme de sens et d'amplitude des corrections à apporter.



Lorsque les deux barres de tendance sont centrées sur la maquette avion, cela signifie que l'avion se trouve sur la trajectoire optimale, en fonction des paramètres sélectionnés au *MCP*. Le but du pilote est donc ramener et de maintenir les barres au centre.

Le directeur de vol obéit aux mêmes principes que le pilote automatique. Au lieu de transmettre les ordres de pilotage à des servocommandes, c'est l'équipage qui constitue ici le dernier maillon de la chaîne de commande.

Si auparavant, le *FD* et le pilote automatique disposaient chacun de calculateurs dédiés, les unités actuelles gèrent de plus en plus souvent les deux conjointement.

Ce qui suit concerne donc à la fois le *FD* et l'*AP*.

Modes du pilote automatique

On distingue les modes de base des modes supérieurs

Modes de base

Ce sont les modes qui permettent de gérer les variations ou le maintien d'attitude de l'avion. Ce sont des modes de stabilisation ou de pilotage.

Les modes de bases actifs n'ont généralement qu'un état : engagés

Sur les avions plus anciens, les modes de bases maintenaient une attitude uniquement (assiette et inclinaison).

Modes supérieurs

Ce sont les modes qui permettent de gérer la position de l'avion par rapport à la terre. Ce sont des modes de guidage, ou de contrôle.

Les modes supérieurs déplacent le centre de gravité de l'avion dans l'espace. Ils sont engagés à travers les modes de bases. C'est-à-dire que le mode supérieur pilote les paramètres des modes de

base nécessaires au maintien de la trajectoire choisie. Les modes supérieurs actifs ont généralement deux états : armés ou engagés

Interfaces

MCP

Composé des interrupteurs de modes, des fenêtres d'affichage et de sélection de données (vitesse, cap, altitude et vitesse verticale), des commutateurs d'engagement de directeurs de vol, des commutateurs d'engagement des pilotes automatiques, et du commutateur d'armement d'autothrottle.

En règle générale, un mode engagé est annulé par la sélection d'un autre mode de navigation correspondant (horizontale ou verticale).

MCP de Boeing 737 NG



FMA

Interface visuelle reflétant les modes autopilote et autothrottle engagés et /ou armés.

La référence de contrôle des activités du *FD* ou *PA* par l'équipage.

Généralement organisé en plusieurs colonnes reprenant chacune une catégorie de mode (statut autothrottle, mode horizontal, mode vertical, statuts du *PA* et *FD* et statut de l'*autoland*).

Le *FMA* renseigne à la fois les modes engagés et les modes armés. Un mode engagé est affiché en vert sur la première ligne, un mode armé est affiché en blanc en seconde ligne sous le mode actif. Tout changement de mode, mode commandé, mode armé passant actif, réversion de mode, est mis en évidence à l'aide d'une boîte verte entourant l'affichage du mode durant les dix secondes suivant l'engagement.



Différents exemples de FMA

Airbus A320



MD 82



Fokker F100



Boeing 737 NG



Boeing 747-400



Embraer 175



Autothrottle

L'autothrottle commande des servomoteurs qui agissent mécaniquement sur les manettes de gaz, afin de réguler la puissance des moteurs suivant les demandes du FCC. Une intervention

manuelle du pilote est néanmoins toujours possible. Dans certains modes, les servomoteurs sont débrayés pour permettre à l'équipage de contrôler la puissance (*TO* et *LVL CHG* en descente)

Armement, engagement

L' *A/T* nécessite d'être armé avant le décollage. La procédure varie d'un avion à l'autre. La sélection d'un des modes *EPR*, *N1* ou *TOGA* engage l'autothrottle qui affiche la puissance déterminée sur le *TRP* pour le mode sélectionné en modifiant la position des manettes des gaz.

Commutateur d'armement A/T



Mode Speed (vitesse ou Mach fixe)
Mode N1/EPR (poussée fixe)

Thrust rating *CLB/CRZ/TOGA/D-TO (FLEX)/MCT*

Le *thrust rating panel* gère la puissance maximum disponible aux moteurs en fonction de la phase de vol, des conditions atmosphériques et des soutirages air sur les moteurs.

Le *FMC* intègre l'interface du *TRP* dans de nombreux appareils et c'est lui qui se charge, après le décollage de commuter automatiquement le mode actif en fonction des différentes phases du vol, limitant la puissance disponible aux moteurs. Certains appareils plus anciens nécessitent encore une intervention de l'équipage pour sélectionner le *thrust rating*. (*Maddog*, *Avro*). Une intervention manuelle est toujours possible sur de nombreux appareils plus modernes.

Les modes prévus pour le décollage sont les modes *TOGA*, *FLEX* ou *D-TO*. *CLB* s'appliquera à la montée et *CRZ* à la croisière et la descente.

Le mode *MCT* (*maximum continuous thrust*) est utilisé en cas d'urgence (panne d'un moteur) ou en cas nécessité d'un supplément de puissance pendant une certaine durée (montée avec *anti ice* moteurs actifs)

Le mode *TOGA* n'est utilisable que pour une durée limitée (5 min sur 737NG) et réduit la durée de vie des moteurs. Il n'est donc utilisé que pour des décollages sur des pistes courtes, à haute altitude ou avec des avions fortement chargés et pour les remises de gaz lors desquelles une forte accélération initiale est requise. Dès l'altitude d'accélération, ce mode est remplacé par le mode *CLB* ou *MCT*.

Désengagement (volontaire, automatique au touché du train principal)

L'*autothrottle* peut être désengagé par l'équipage à l'aide d'un bouton en général situé sur les manettes de gaz (*soft disconnect*). Le pilote reprend le contrôle de la puissance, mais le système reste armé et prêt à être réengagé.

L'*autothrottle* est désarmé automatiquement à l'atterrissage, lors du touché du train principal.



Commutateur de déconnexion de l'autothrottle

Modes de l'autothrottle

EPR, N1, speed

Le mode *EPR* ou *N1* (suivant l'instrumentation moteur de l'appareil) commande à l'A/T la puissance maximum disponible suivant le réglage du *TRP*. C'est le mode utilisé au décollage et à la remise de gaz (*Go around*).

Le mode *N1* est enclenché automatiquement dans les modes verticaux *LVL CH*, *VNAV* et *TOGA*.

Le mode *speed* agit sur l'A/T pour maintenir la vitesse ou le *Mach* affichée dans la fenêtre *speed* du *MCP*, dans les modes *AP* de navigation verticale *Vertical Speed*, *Altitude hold*, *Approach*, dans le mode *VNAV* en descente si une contrainte doit être respectée (affichage *VNAVpath*) et dans le sous mode *Speed intervention* du mode *VNAV*.

Throttle Hold/Clamp/Declutch

Mode engagé automatiquement au décollage au dessus de 80 kts. Débraye les servomoteurs d'autothrottle des manettes de gaz pour permettre aux pilotes d'intervenir sur la puissance des moteurs pour réduire en cas de décollage interrompu.

Aussi en cas d'engagement du mode vertical *LVL CHG* en descente pour permettre à l'équipage de contrôler l'assiette en agissant sur la puissance (cfr navigation verticale).

Engagement de l'autopilote

Commutateur PA

Met le système sous tension. Si aucun mode n'est sélectionné ou que le *FD* est désactivé, engage le *PA* en mode de base. En cas de *PA* multiples, chaque commutateur engage le *PA* auquel il est associé. Sauf cas particuliers (modes d'approche), un seul *PA* peut être engagé à la fois.

Commutateurs
d'engagement AP



Commutateurs
d'engagement FD

Side priority

En cas de PA multiples, chaque PA travaille avec les instruments de son côté. Le PA gauche travaillera sur les informations fournies par les sondes et la radio navigation gauche. Idem pour le côté droit.

Sur certains appareils, le changement de PA s'accompagne d'une réinitialisation et d'un retour aux modes de base.

Désengagement (soft, urgence, automatique)

Le désengagement normal (soft) est commandé par un bouton sur la manche ou le volant du pilote. Le système est mis en pause, et le pilote reprend la main. Un signal d'alerte bref (CAUTION + alarme sonore) est émis.



Bouton de
déconnexion du PA

Une intervention sur les commandes de vol (au delà d'un certain effort), désengage aussi le pilote automatique. Dans ce cas, ainsi que lors d'un désengagement en utilisant la *disengage bar* sur les Boeing, ou le commutateur d'engagement (Airbus, Fokker, Maddog) les signaux d'alertes sont persistants et doivent être inhibés manuellement. Attention, lors d'un désengagement d'urgence avec la *disengage bar*, celle-ci doit être remontée manuellement avant de pouvoir réengager le PA.

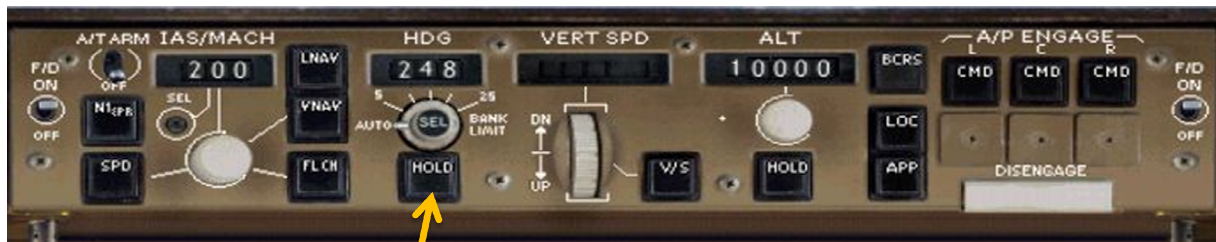
Le PA est désengagé automatiquement lors d'une panne du calculateur du système, de trim automatique, ou lorsque les informations d'attitudes sont perdues. Dans ce cas, une alarme continue se déclenche.

Navigation Horizontale

La navigation horizontale concerne le suivi des caps, routes, radiales VOR/LOC et du plan de vol introduit dans le FMC.

Mode de base: Heading Hold

Maintient le **cap** suivi au moment de l'engagement indépendamment du cap affiché dans la fenêtre du MCP



Heading Hold

Heading select

L'avion suit le **cap magnétique** affiché dans la fenêtre du MCP.

L'avion tourne (en principe) dans le même sens que le bouton de sélection.

Quand un autre mode horizontal est engagé : *heading hold*, *VOR LOC* ou *LNAV*, un cap peut être préparé et affiché, sans affecter le comportement de l'appareil jusqu'au moment où le mode *heading select* est engagé.

Attention avec *FS* pour les virages de plus de 180°, il se peut que l'avion inverse le sens du virage contre votre gré.

VOR LOC

La radio navigation du côté de l'AP en service est la source de référence de l'AP, qui intercepte et suit la radiale *VOR* ou *LOC* sélectionnée.

Ce mode possède deux états : Le mode est d'abord armé (blanc), puis engagé (vert). >Affichage *FMA*

Une pression sur le commutateur *LOC* arme le mode ; le mode horizontal précédemment engagé reste actif jusqu'au moment de l'interception de la radiale. Le mode *LOC* est alors engagé automatiquement.

Suivant les appareils, la fréquence du *LOC* est tunée automatiquement par le *FMC* en fonction de la piste choisie, ou manuellement par l'équipage.

De plus en plus sur les avions modernes, ce mode n'est utilisable qu'en approche (*LOC*) et ne permet plus de tracker un *VOR* en route (MD11, Boeing 757, 767, 747-400, Airbus).

L'AP bascule momentanément et de manière transparente en *heading hold* lors du passage du cône de confusion du *VOR*.

LNAV

Le *FMC* gère la navigation suivant le plan de vol introduit dans le *MCDU*.

Ce mode possède deux niveaux : Le mode est d'abord armé (blanc), puis engagé (vert). >Affichage *FMA*

Pour l'engagement, il faut soit être suffisamment proche de la route (décollage) soit voler sur une route convergente au plan de vol (point de convergence situé avant le *waypoint* actif), soit initier un *DIR TO* vers le *waypoint* suivant.

En cas de discontinuité du plan de vol ou de fin de route, le *PA* opère une réversion de mode en *heading hold* (signal d'alerte sonore et visuel).

Une fois engagé, le suivi est automatique et ne nécessite pas d'intervention du pilote pour autoriser la poursuite vers le *waypoint* suivant.

Le pilote automatique suit une **route magnétique**, tenant compte de la dérive.



Navigation Verticale

La navigation verticale intègre les profils de montée ou de descente, le respect des altitudes et des vitesses.

Suivant le mode engagé, la vitesse est maintenue par le contrôle de l'assiette ou par la modulation de la puissance gérée par l'*Autothrottle*.

Mode de base: Altitude Hold

Maintient l'altitude au moment de l'engagement en réduisant la *V/S* à 0.

S'enclenche automatiquement à la suite d'un mode de montée ou de descente lorsque l'appareil rejoint l'altitude affichée au *MCP*.

L' *Autothrottle* gère le maintien de la vitesse à partir du mode *ALT ACQ* ou *ALT** (acquisition d'altitude) et en mode *ALT HOLD*

Une fois l'altitude capturée, une nouvelle altitude peut être affichée au *MCP*.

Mode de Base: Vertical Speed V/S

Taux de montée ou de descente fixe en pieds/minutes.

Sélection avec la molette. Engagé par défaut au taux courant si aucun autre mode n'est sélectionné lors de l'engagement du *PA*.

La vitesse cible est sélectionnée dans la fenêtre *speed* du *MCP*, l'*A/T* adapte la puissance afin de satisfaire aux critères affichés, jusqu'à la limite imposée par le *TRP* en montée ou *idle* en descente.

Passes en *altitude hold* lorsque l'appareil atteint l'altitude sélectionnée dans la fenêtre *altitude* du *MCP*.

C'est un mode adapté à des changements d'altitude de courte durée. L'utilisation du mode sur des durées importantes demande de surveiller étroitement le paramètre vitesse, et d'adapter la vitesse verticale en conséquence, sous peine d'amener l'avion au décrochage ou à la survitesse.

Variante sur les MD 80: mode IAS/Mach. Le pilote reprend le contrôle des gaz (*throttle hold* ou *clamp*), le PA maintient la vitesse programmée en agissant sur l'assiette en fonction de la poussée délivrée par les moteurs.



FLCH ou LVL CHG

Changement de niveau à une poussée fixe, en contrôlant l'assiette pour maintenir la vitesse programmée dans la fenêtre *speed* du MCP.

En montée, la puissance affichée par l'A/T est le maximum autorisé par le TRP. (Généralement CLB). Le mode N1 ou EPR est enclenché automatiquement.

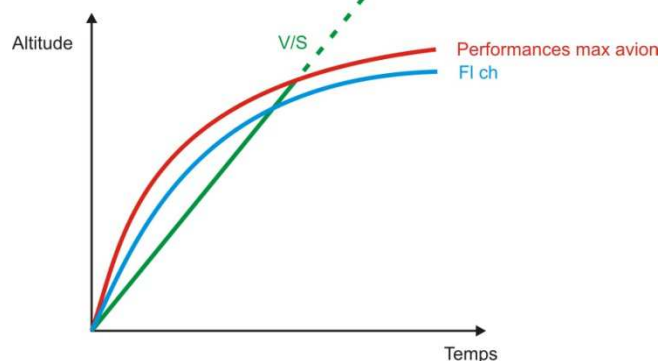
En descente, l'A/T réduit les moteurs au ralenti et passe en mode *throttle hold*, permettant au pilote de contrôler le taux de descente en contrôlant la poussée.

C'est une montée ou une descente au meilleur taux pour la vitesse affichée.

Passes en *altitude hold* lorsque l'appareil atteint l'altitude sélectionnée dans la fenêtre *altitude* du MCP.

Les contraintes d'altitude introduites au FMC ne sont pas prises en compte.

Comparaison du taux de montée à IAS constante



VNAV

Mode vertical complètement géré par le FMC, suivant un profil optimal calculé en fonction des paramètres introduits par l'équipage avant et en cours de vol. (*Gross weight* ou *ZFW*, *block Fuel*, *cost index*, *Cruise altitude*, *paramètres météorologiques*)

Certains paramètres sont implémentés par défaut et peuvent être modifiés (*CLB*, *CRZ speed*). D'autres paramètres optionnels (vents en croisière, vents durant la descente, *T/C OAT*, déviation *ISA*), peuvent être introduits afin d'affiner le calcul du profil vertical.

Le profil tient compte des contraintes d'altitude et de vitesse introduites dans le plan de vol du FMC.

Tout changement d'altitude DOIT être approuvé par l'équipage en affichant l'altitude cible suivante dans la fenêtre du *MCP*.

Le système passe en *altitude hold* lorsque l'appareil atteint soit l'altitude sélectionnée dans la fenêtre du *MCP* soit l'altitude de croisière ou l'altitude de la prochaine contrainte insérée au *FMC* si celle-ci est inférieure. Pour poursuivre la montée dans le cas du passage d'un *waypoint* assorti d'une contrainte, une altitude supérieure doit être affichée au *MCP* avant l'atteindre la contrainte ; si l'altitude est affichée après le passage de la contrainte, la poursuite de la montée doit être autorisée, suivant le modèle d'appareil, soit par une nouvelle pression sur le bouton *VNAV*, soit par une pression sur le bouton *ALT INT* ou encore *ALT*.

A la pression sur le bouton en vol horizontal, l'A/T affichera *N1* ou *EPR* et la montée sera initiée.

En montée et en présence d'une contrainte d'altitude au *FMC*, si l'altitude affichée au *MCP* est supérieure à la contrainte, celle-ci sera effacée par la pression sur le bouton. Une nouvelle pression effacera la contrainte suivante. Pareil en descente si l'altitude au *MCP* est inférieure à la contrainte.

Le *FMC* gère l'A/T à l'intérieur de l'enveloppe définie par le *TRP*, en fonction du profil calculé et des contraintes de vitesse.

Le *FMC* gère donc la vitesse ainsi que la transition automatique *IAS/Mach* à l'altitude de conjonction.

Le pilote peut prendre momentanément la main sur le paramètre vitesse en laissant *VNAV* gérer le reste du profil vertical en engageant le sous mode *speed intervention* ou *FMS override*.

L'*Autothrottle* maintient alors la vitesse en fonction du paramètre affiché dans la fenêtre *Speed* du *MCP*.



APPROCHE

Le mode *APP* est le mode vertical dédié à l'interception et au suivi du *glide* d'un *ILS*. Tout comme le mode *LOC*, le mode *APP* est d'abord armé, puis s'engage lors de la capture du *glide*. Le mode vertical précédemment actif reste engagé jusqu'à la capture du *glide*. L'*AP* se charge ensuite du respect du plan de descente, guidé par le signal de l'*ILS*.

Si le mode *LOC* n'a pas été armé préalablement, l'armement du mode *APP* arme automatiquement le mode *LOC*.

La vitesse est sélectionnée dans la fenêtre *speed* du *MCP*. L'*Autothrottle* gère le maintien de la vitesse cible.

Suivant les appareils, la fréquence de l'*ILS* est syntonisée automatiquement par le *FMC* en fonction de la piste choisie, ou manuellement par l'équipage.

Pour garantir une bonne capture, le *glide* est toujours intercepté par-dessous le plan.

Approach



Multi-engagement

Le mode *APP* est le seul à permettre l'engagement de plus d'un *AP*. Une approche *CAT II* ou *CAT III* requiert l'engagement des deux ou trois *AP* de l'avion. Il faut en plus que les radios *NAV* soient toutes syntonisées sur la même fréquence et les sélecteurs de course réglés sur la même radiale.

Modes combinés

Autoland

Suite logique du mode *APP*, le mode *Autoland* gère la finale, l'arrondi (*flare* : mode vertical) et le suivi de l'axe de piste (*rollout* : mode horizontal). Sur certains appareils, le mode s'arme automatiquement à une certaine hauteur (radio altimètre) si les conditions sont réunies (deux ou trois *AP* en ligne, radios navigation tunées, *Localizer* et *Glide* capturés). Sur d'autres, il faut armer le mode *Autoland* avec le commutateur dédié.

Le statut de l'*autoland* est affiché soit sur le *FMA* soit, pour des avions plus anciens sur un afficheur dédié (757/767).

Autoland



Take Off-Go Around

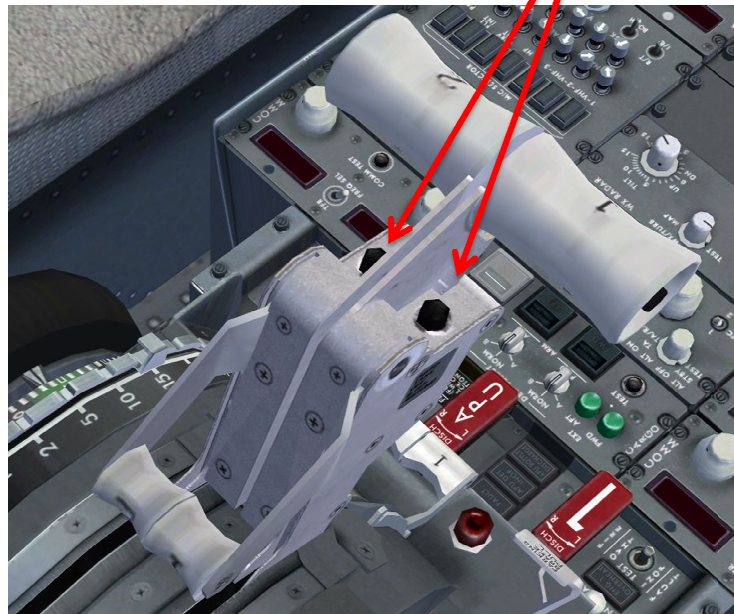
Le mode *Go Around* est enclenché PAR LE PILOTE en cas de remise des gaz (*switch* sur les manettes ou cran chez Airbus). Si des détails peuvent varier d'un appareil à l'autre, le principe général reste le même : La puissance passe sur *TOGA*, *V/S* positive afin d'intercepter et suivre une vitesse cible à l'aide de l'assiette, les ailes horizontales et le maintien de la route au moment de l'engagement (*track hold*).

L'équipage enclenche un autre mode vertical et horizontal pour sortir du mode *TOGA*.

Au décollage, le mode *TOGA* ou *SRS* (*speed reference system*) est engagé en mode vertical, le mode horizontal maintient la route de la piste, à moins qu'un autre mode horizontal n'ait préalablement été armé (*LNAV* ou *heading select*). L'engagement du mode *TOGA* ou *SRS* se fait lorsque le pilote appuie sur les poussoirs *TOGA* des manettes de gaz ou sur le poussoir *N1* ou *EPR* sur certains Boeing.

Au décollage, ces modes sont des modes *FD* uniquement. La hauteur minimum d'engagement du pilote auto dépend de la conception et de la certification de l'avion. (400ft AGL pour un 737NG)

Commutateurs d'engagement TOGA



Airbus 3xx : un cas à part

Si les principes de base sont les mêmes que sur les avions de la concurrence, les concepteurs des Airbus A32X et suivants ont poussé beaucoup plus loin l'automatisation et l'intégration des différentes composantes de l'autopilote.

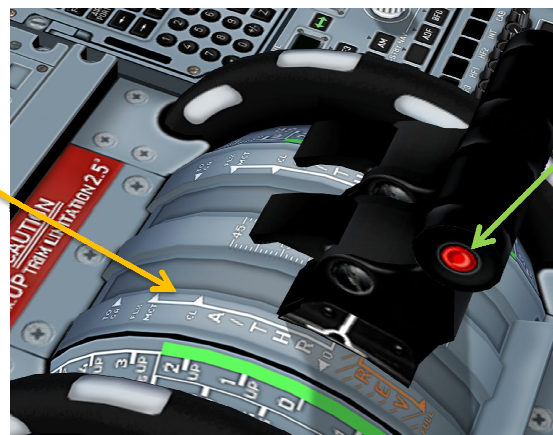
Autothrottle = autothrust.

Contrairement aux concurrents, les manettes de poussées des Airbus 3xx ne sont pas motorisées.

La course des manettes est divisée en plusieurs secteurs. Dans la première partie de la course, les manettes agissent comme des manettes normales et pilotent directement la puissance des moteurs.

Au-delà, le reste de la course des manettes est subdivisée en crans (*gate*). Chaque cran correspond à une puissance maximum disponible. Le premier cran est la puissance de montée *CL*, le second *MCT/FLEX* pour la puissance maximum en continu ou pour le mode *FLEX* si une température assumée est utilisée au décollage, et le dernier est le cran *TOGA* pour la puissance maximum au décollage ou à la remise de gaz.

Système de crans



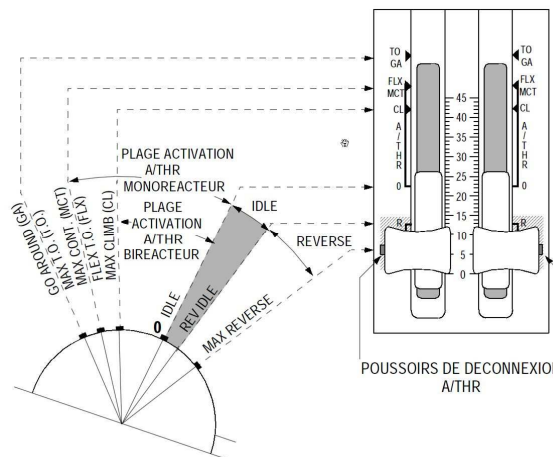
Bouton de déconnexion

Le fait d'avancer les manettes dans un cran arme et engage automatiquement l'autothrust. Les FADECs gèrent et modulent la puissance des moteurs entre le ralenti et la puissance maximum déterminée par le cran engagé sauf en mode *TOGA* où la puissance est fixe.

Après le décollage (cran *FLEX* ou *TOGA*), les manettes sont ramenées par l'équipage dans le cran *CL* à l'altitude d'accélération, et n'en bougent plus jusqu'à l'atterrissage (*RETARD*), une éventuelle reprise manuelle par l'équipage ou à une remise de gaz (*TOGA*).

Le passage des manettes en mode *TOGA* suffit à enclencher tout le processus de remise de gaz, ailes horizontale, assiette positive, puissance maximum, maintien de la route au moment de l'engagement.

La sortie des manettes en amont du cran *CL* (vers *Idle*) permet de piloter les moteurs en mode manuel entre le ralenti et la puissance *climb*.



Le MCP est appelé *FCU* (*flight control unit*) sur l'Airbus et présente un *layout* dépouillé par rapport à ses concurrents.



Les quatre boutons (*SPD*, *HDG*, *ALT* et *V/S*) peuvent être poussés, tirés ou tournés.

On distingue deux modes de fonctionnement principaux :

Le mode managé (managed) et le mode sélectionné (selected).

En mode managé, la fenêtre d'affichage présente des tirets, hormis la fenêtre d'altitude. En mode sélectionné, la fenêtre affiche le paramètre cible.

Le mode normal de fonctionnement est le mode managé. Si tous les boutons de sélections sont poussés, le *FMGC* gère l'entièreté des paramètres du vol, vitesse, navigation horizontale et profil vertical, depuis juste après le décollage jusqu'à l'atterrissage. Chaque bouton peut être tiré, et sa fonction correspondante passe alors en mode sélectionné ; c'est le pilote qui fixe la valeur cible du paramètre en tournant le bouton.



Tirer le bouton de l'altitude enclenche le mode *open climb* ou *open descent*, qui correspondent *grosso modo* au mode *LVL CH* vu plus haut.

Pousser le bouton *V/S* réduit la *V/S* à 0.

Le mode *heading hold* n'existe pas, mais le fait de tourner d'un cran ou de tirer le bouton *heading* aligne instantanément le *heading bug* sur le cap courant.

Le mode *VNAV* est indissociable du mode *LNAV*. Si le pilote passe en mode sélectionné sur le cap, le mode *VNAV* est dégradé en mode *open*.

Pour quitter une altitude cible affichée au *FCU*, deux actions sont toujours nécessaires. Afficher une nouvelle altitude cible et pousser (*managed climb* ou *descent*) ou tirer le bouton *ALT* (*open climb* ou *open descent*)

L'*autothrust* intègre une protection contre le décrochage ; si l'incidence atteint un seuil critique appelé *alpha floor*, le système passe automatiquement sur la puissance *TOGA*, les spoilers sont rétractés et inhibés et les commandes de vol électriques réduisent et maintiennent l'incidence sous le seuil critique.

Le profil vertical de descente comprend un *pseudo-waypoint* appelé *deceleration point*, à partir duquel le *FMGC* va basculer automatiquement en mode approche, l'*autothrust* va réduire la vitesse au *green dot*, et ensuite continuer à réduire automatiquement à chaque sortie de volets pour terminer à *Vref* avec les volets en position *Full*. Le mode approche peut aussi être enclenché manuellement via le *MCDU*.

De plus, les commandes électriques intègrent des protections contre les sorties de l'enveloppe de vol en incidence, roulis et facteur de charge.



PARTIE II : FMS

Introduction

Préambule

Cette deuxième partie présentera les grandes lignes pour l'utilisation du *FMS* en prévol et dans les différentes phases de vol, afin d'entrer les données nécessaires et suffisantes à l'exploitation des capacités de navigation et au respect des consignes du contrôle aérien.

Chaque type d'avion équipé d'un *FMS* possède un système avec ces spécificités propres. Néanmoins, les lois de la physique, de l'aérodynamisme et de l'économie étant les mêmes pour tout le monde, les principes fondamentaux sont communs.

Cette formation ne remplacera donc pas de la lecture du *POH* de votre *addon* ni les vols tutoriels mais pourra je l'espère, donner une base solide à une compréhension plus approfondie de ceux-ci.

Le FMS : à quoi ça sert ?

C'est avant tout un outil d'économie. Le *FMS* calcule en permanence un profil de meilleure performance en fonction de la politique de compagnie, des conditions atmosphériques et de la masse avion et suggère en permanence les solutions les plus rentables à l'équipage.

Accessoirement, sa gestion permanente du suivi carburant, de la précision de la navigation et de la navigation tout court, couplée à la centralisation de l'affichage de toutes les données de vol sur les *EFIS* face aux pilotes, a permis de faire l'économie d'un troisième homme dans le poste de conduite.

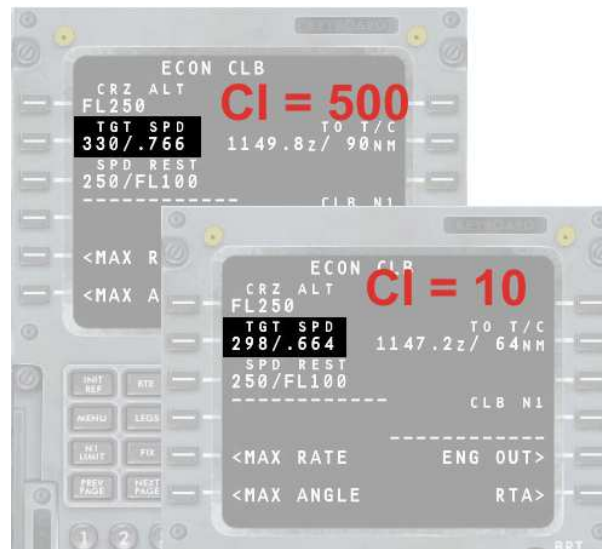
Le *FMS* est donc un outil qui réduit la charge de travail de l'équipage :

- Introduction du ou des plans de vol
- Surveillance de la précision de navigation.
- Fourniture d'une position avion (intégration des positions *IRS*, *GPS* et *radio nav* pour élaborer et recalibrer une position *FMS*)
- Gestion de la navigation et du suivi du plan de vol
- Optimisation dynamique des performances en fonction du poids, des vents et des conditions météo. (Navigation verticale).
- Détermination des paramètres de poussée en fonction des conditions atmosphériques
- Prédiction d'horaire et de consommation en fonction des conditions de vol. (Attention : pas un moyen primaire de vérification)
- Respect des contraintes d'horaire -*RTA* (4D)
- Gestion des radios *NAV* et parfois des radios *COM*

Cost index

Le cost index est un coefficient défini par la compagnie. Il est le reflet du rapport entre le coût du carburant et des coûts d'exploitation hors carburant. Il détermine les vitesses *ECON* du *FMS*.

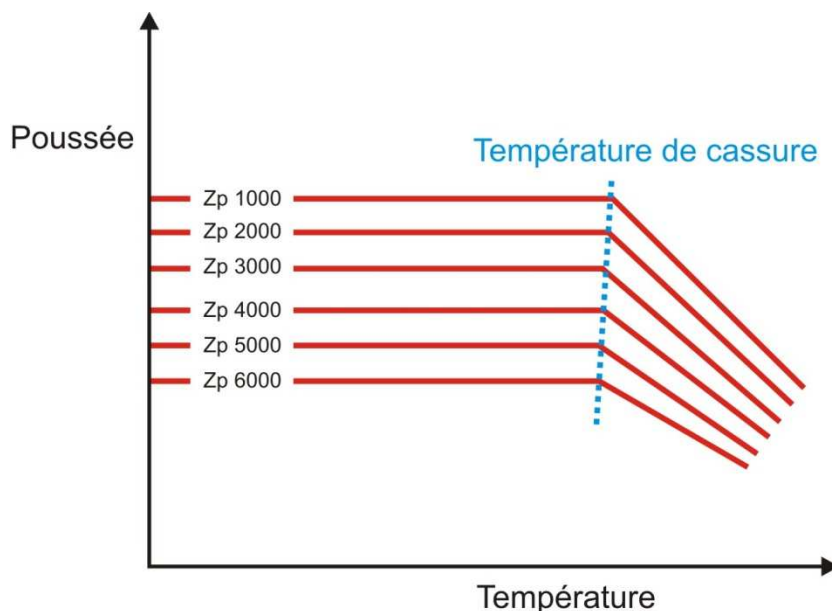
Un coefficient de 0 donnera la vitesse de *max range* pour une consommation carburant minimum, un coefficient élevé donnera un temps de vol minimum pour un coût carburant plus élevé (*ferry flight*). Les valeurs utilisables dépendent du type de *FMS*. Pour le 737NG, les valeurs admissibles sont de 0 à 500, pour l'A320, de 0 à 999.



Poussée réduite- Flex, poussée détarée

Dans une certaine plage de température, la poussée maximum fournie par un réacteur est conditionnée par la pression maximum que peut supporter le compresseur. Elle peut être considérée comme constante (*Flat rating*). Néanmoins, au-delà d'une certaine température extérieure, appelée température de cassure, la chaleur dégagée par la combustion devient trop importante pour la turbine.

Au-delà de la température de cassure, la poussée maximum disponible décroît, limitée par la température turbine.



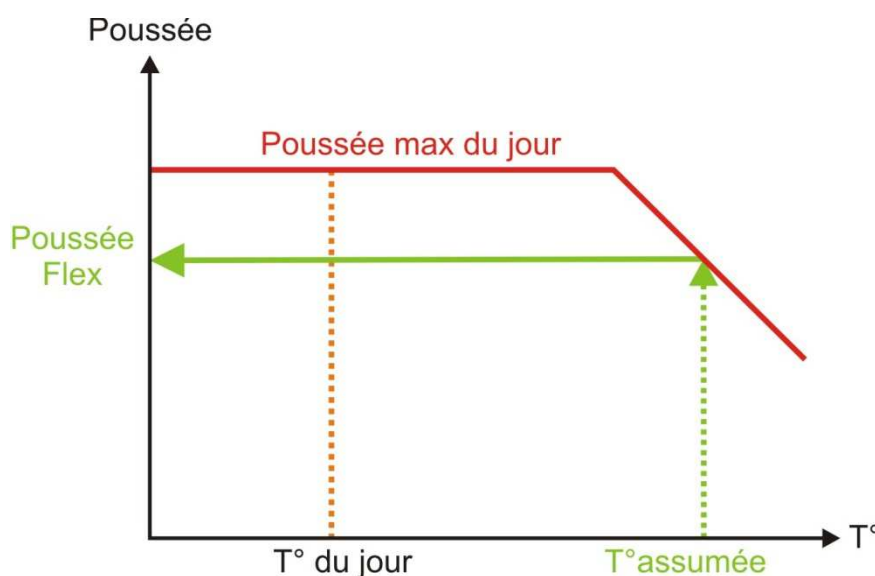
Pour une masse au décollage inférieure à la masse maximum autorisée, il est intéressant d'envisager un décollage à poussée réduite. Les avantages sont multiples :

- Réduction de l'usure des moteurs.
- Réduction du bruit.
- Réduction de la consommation.

- Augmentation du temps fourni à l'équipage pour réagir face à un incident.
- Augmentation du confort pour les passagers.

En introduisant une température dite « température assumée » supérieure à la température ambiante et à la température de cassure dans les calculateurs de gestion moteur, on va donner instruction à ceux-ci de limiter la puissance à la valeur maximum qu'on obtiendrait si la température extérieur valait la température assumée. Cette valeur est appelée poussée réduite ou poussée Flex.

Cette température assumée est bien sur calculée en tenant compte des paramètres piste (longueur, pente, contamination éventuelle) et atmosphériques (température extérieure, altitude pression) ainsi que de la masse au décollage afin de garantir une marge de performance adéquate pour ne pas compromettre la sécurité du décollage.



Une autre technique de réduction de puissance est la poussée détarée *D-TO*. Il s'agit d'une réduction forfaitaire de la poussée *TOGA*. Par exemple *D-TO1* : *TOGA* -10%, *D-TO2* : *TOGA* -20%.

Cette technique nécessite l'utilisation d'abaques appropriés à chaque valeur de détarage pour les calculs de performances au décollage.

Les techniques de poussée réduite et de poussée détarée peuvent éventuellement être utilisées en combinaison sur certains appareils (Boeing).

Les vitesses de décollage

En fonction des conditions du jour, de la piste et de la masse de l'avion, l'équipage va définir les vitesses opérationnelles de décollage V_1 , V_r et V_2

V_1 est la vitesse de décision. V_1 est la vitesse maximum à laquelle le décollage peut être interrompu.

V_1 est choisi en fonction de plusieurs critères :

- Jusque V_1 , la longueur de piste restante est suffisante pour permettre l'arrêt de l'avion. Au delà, la longueur de piste restante permet le décollage avec un moteur en panne après V_1 .
- V_1 doit être inférieure à la V_{mbe} , vitesse d'énergie maximum que les freins peuvent dissiper et supérieure à la vitesse de contrôle au sol avec un moteur en panne.

Suivant les pistes, V1 n'est pas nécessairement une vitesse unique, mais peut être déterminée dans une plage de vitesse V1 qui permettent toutes de satisfaire aux conditions.

Vr est la vitesse à laquelle s'initie la rotation, afin de d'arriver à V2 en fin de rotation (à 35ft pour être exact). Il faut de plus que les roues aient quitté le sol avant d'atteindre la limitation de vitesse des pneus, et que Vr soit supérieur à la vitesse minimum de contrôle air, c'est-à-dire la vitesse minimale à laquelle on peut contrôler l'avion en vol avec un moteur en panne.

V2 est la vitesse de sécurité au décollage, permettant au minimum d'obtenir la pente de montée réglementaire minimum avec un moteur en panne.

Si les circonstances le permettent, rien n'empêche l'équipage de choisir une vitesse V2 majorée afin d'optimiser les performances de montée, pour autant que les conditions nécessaires à Vr et V2 soient satisfaites.

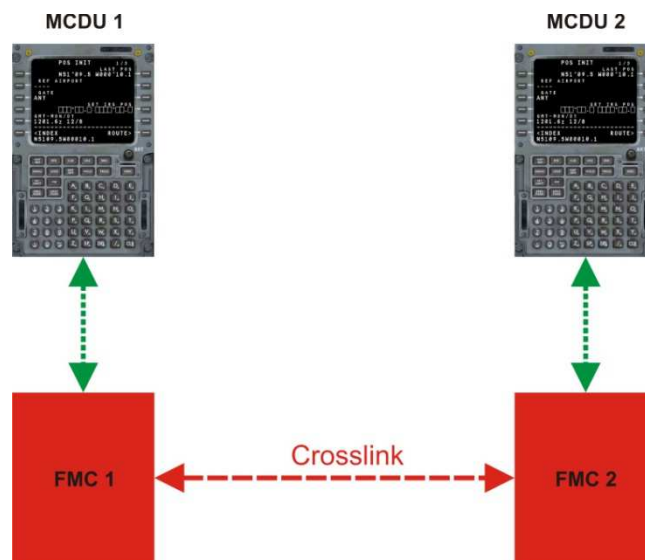
Structure du FMS

Architecture

On peut trouver suivant les générations d'avions, un ou deux *FMC*, reliés à deux ou trois claviers (*MCDU*).

Fonctionnement normal

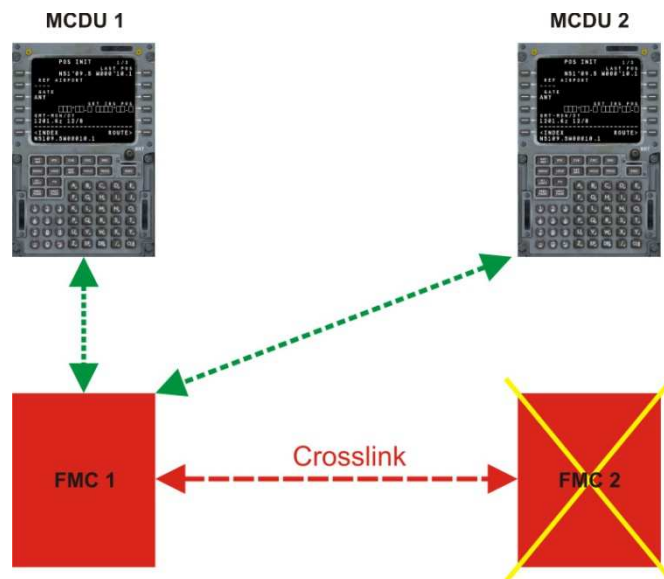
Dans le cas où il y a deux *FMC*, les données introduites sur l'un des claviers sont partagées avec l'autre *FMC*. Chaque *FMC* calcule son propre résultat qui est ensuite comparé à l'autre. Une alerte est générée en cas de divergence.



Fonctionnement dégradé

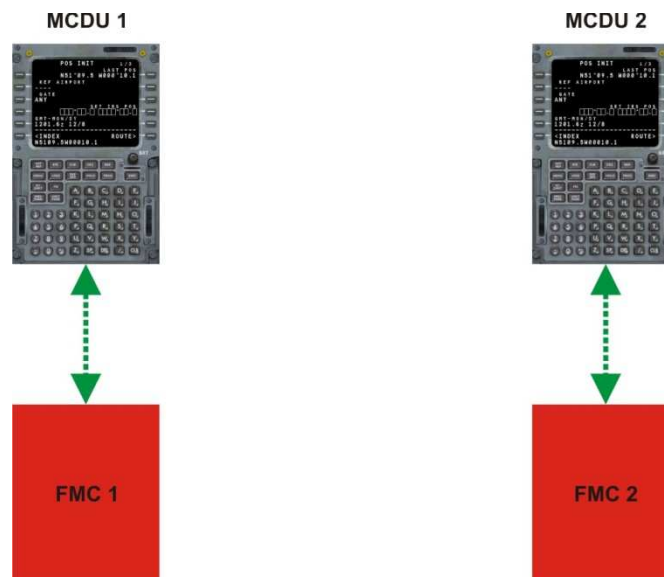
Panne d'un *FMC* :

Les résultats du *FMC* valide sont utilisés par les systèmes dépendants.
Les deux *MCDU* communiquent avec le *FMC* valide.



Panne du *crosslink*:

Chaque couple MCDU/FMC travaille de manière indépendante. Les données doivent être introduites deux fois et les résultats *crosscheckés* par l'équipage.



Signaux I /O

Entrées

Les *FMC* reçoivent des données de systèmes suivants

- *Air data computer*
- *IRS, GPS*
- *PA, FD, AT*
- Radios navigation
- Paramètres moteurs



- MCDU

Sorties

Les systèmes suivants sont dépendants :

- FADEC ou EEC
- PA, FD, AT
- Radios navigation
- EFIS, MCDU

Bases de données

Les FMC possèdent plusieurs bases de données :

- Base de données navigation non modifiable par l'équipage (mise à jour tous les 28 jours)
 - ✓ Airport
 - ✓ Runways
 - ✓ VOR, DME/TACAN, NDB
 - ✓ Waypoints
 - ✓ Airways
 - ✓ SID, STAR, Approach, Transition
- Base de données navigation modifiable par l'équipage (*user waypoint*)
- Base de données compagnie (*company routes*)
- Base de données performance avion

Relation FMS /PA

Lorsque le FMS gère un paramètre du pilote automatique, on dit que le paramètre est managé. Les valeurs cibles ne sont pas affichées au MCP /FCU ;

Ce sont les modes LNAV et VNAV sur les PA style BOEING. Sur Airbus, c'est le mode NAV obtenu en poussant les boutons des modes vitesse, latéral et vertical. (Affichage *dash dot dash dot dot dash*) C'est une gestion à long terme, dite stratégique.

Les contraintes d'altitude et de vitesse sont respectées.

La transition IAS/mach est automatique à l'altitude de conjonction en montée et en descente.

Le pilote peut reprendre la main sur un paramètre, on parle alors de mode sélecté. La valeur est affichée dans la fenêtre correspondante au MCP /FCU.

Relations FMS/gestion poussée

Dans le cas où l'appareil est équipé de contrôles digitaux des moteurs, FADEC ou EEC, le FMS détermine la limite de poussée disponible à l'autothrottle en fonction des phases de vol et des conditions du jour. Le passage d'une phase de vol à l'autre se fait soit automatiquement soit sur autorité du pilote. Le passage de la poussée TO à la poussée CLB se fait à l'altitude d'accélération, de CLB à CRZ à l'altitude de croisière, le passage de CRZ à TOGA soit l'interception du glide, soit lorsque les paramètres de position volets et de hauteur minimum radio altimètre requis sont rencontrés.

En montée, la poussée est fixe et la vitesse est déterminée par le FMC. C'est la trajectoire qui est ajustée pour maintenir les paramètres. On dit que la trajectoire est subie.

En palier (contrainte ou altitude de croisière), les automanettes gèrent la vitesse en modulant la puissance.

En descente, le FMS calcule un profil idéal de descente et un ToD en fonction des conditions de vent rencontrées ou renseignées, de la masse de l'avion (fonction de la quantité de carburant restant à bord), des contraintes d'altitudes ou de vitesse insérées. Si le segment de descente ne comporte pas de contrainte, le ToD et le profil de descente seront calculés avec les moteurs au

ralenti. Si des contraintes sont présentes, le *FMC* calcule le profil de descente et l'*autothrottle* règle la vitesse.

Présentation

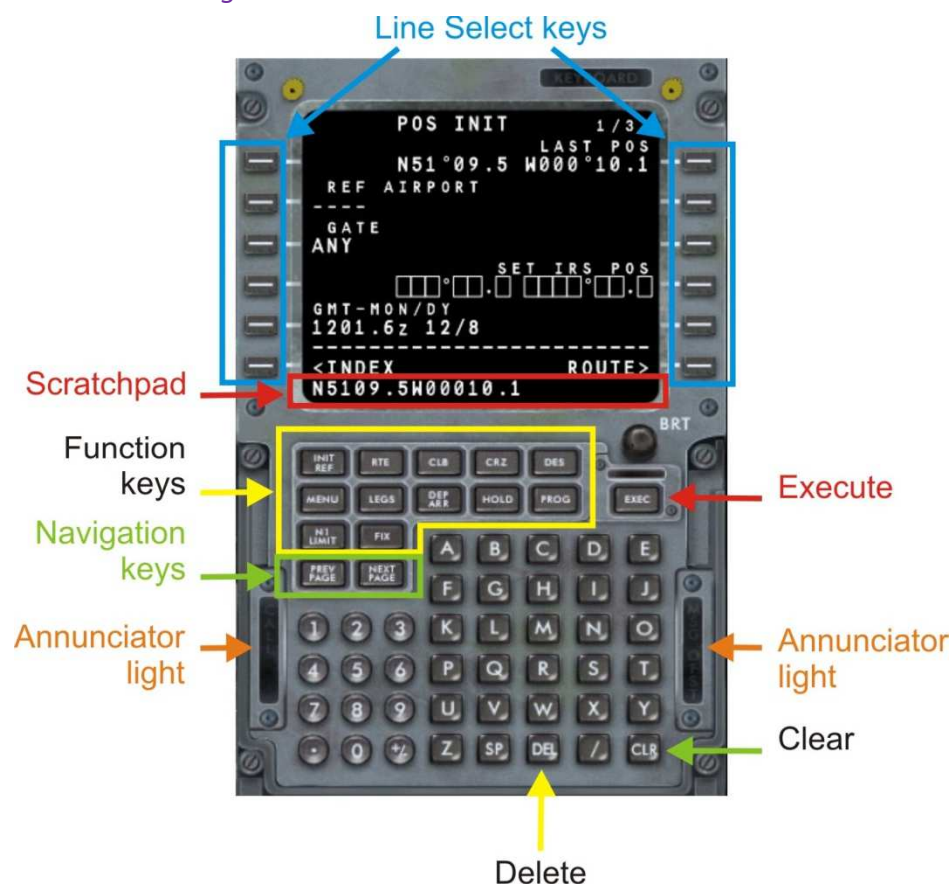
MCDU

C'est l'interface homme machine du système *FMS*

On l'appelle *Multifunction command and display unit* parce qu'il sert d'interface à plusieurs systèmes :

- Le *FMC*
- De plus en plus souvent les radios de navigation
- Les systèmes de communication *ACARS* (*aircraft communication and reporting system*), *ATSU* (*air traffic system unit*) et *datalink*.
- Des fonctions de maintenance système pour les équipes au sol (*Fadec.*)
- Le chargement des bases de données dans le *FMC*
- Parfois les radios com (Embraer)

MCDU Boeing



Les données tapées au clavier alphanumérique s'inscrivent dans le brouillon (*scratchpad*) au bas de l'écran. Elles sont ensuite insérées dans le champ souhaité à l'aide de la *LSK* correspondante. Si le *scratchpad* est vide, appuyer sur une *LSK* renvoie la valeur du champ sélectionné dans le *scratchpad*.

On nomme les *LSK* : à gauche de *LSK1L* à *LSK6L* et à droite de *LSK1R* à *LSK6R*

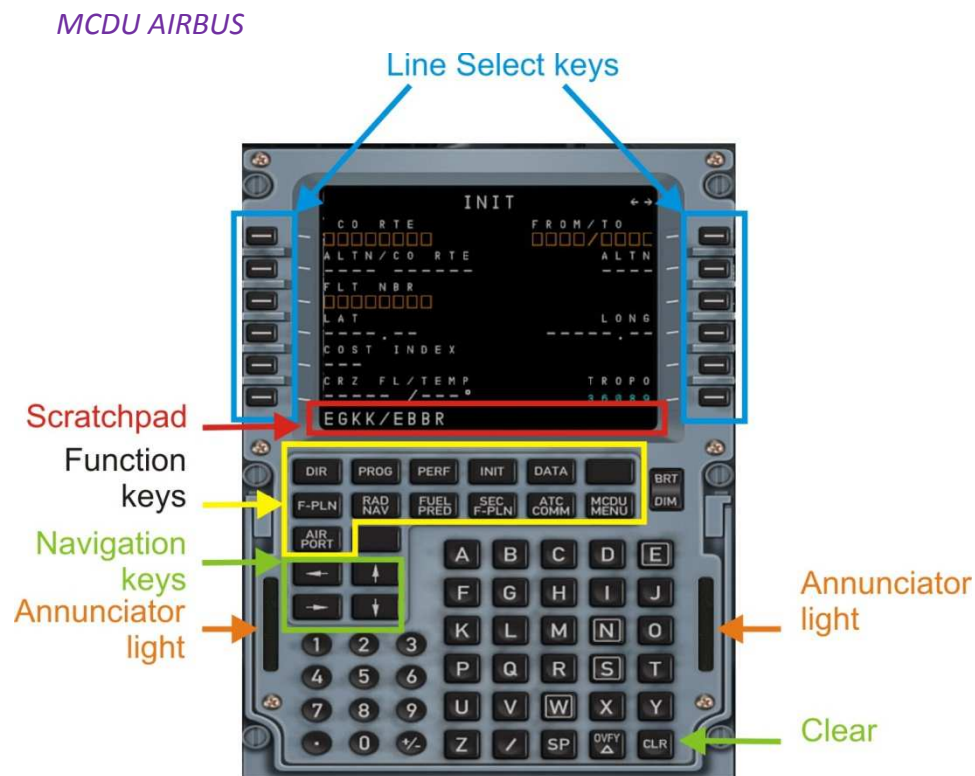
Lorsque des modifications importantes ont été introduites, elles doivent être validées par un appui sur la touche *EXEC*. Quand une validation est attendue, le témoin situé au dessus de la touche s'illumine.

La touche *CLR* permet d'effacer un par un les caractères tapés dans le *scratchpad*. Un appui prolongé efface l'entièreté du contenu du *scratchpad*.

La touche *DEL* insère *DELETE* dans le *scratchpad* et permet d'effacer le contenu d'un champ en appuyant sur la *LSK* correspondante.

Les touches de fonction renvoient directement vers les pages correspondantes. La touche *MENU* permet de sélectionner le système sur lequel on veut travailler (*FMC*, *ACARS*, *MAINTENANCE*...)

Les *annunciator light* attirent l'attention de l'équipage sur des messages importants affichés dans le *scratchpad*, des messages de panne ou des alertes de configuration système.



L'écran du *MCDU* de l'Airbus, comme ceux des Embraer, est en couleur.

Il n'y a pas de touche *EXEC*, la confirmation des données se fait par *soft keys*, généralement les *LSK6L* ou *6R*. (message ambre)

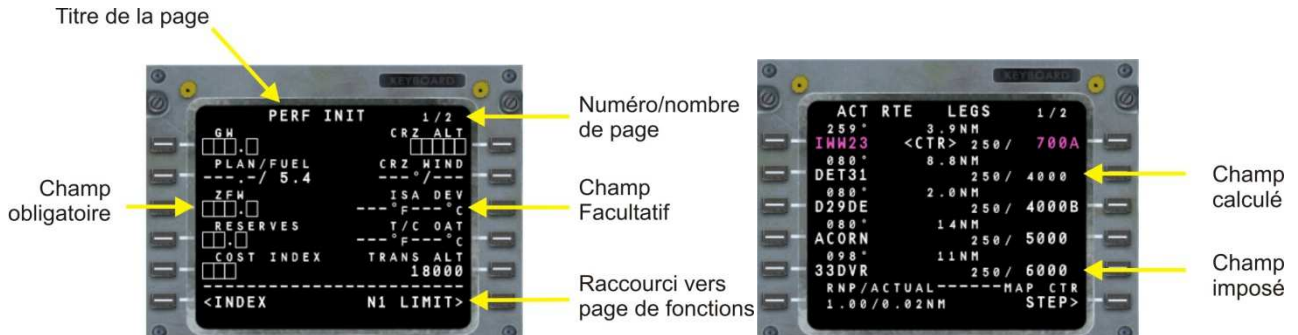
Les touches de navigation sont au nombre de quatre, et permettent de faire défiler les pages latéralement ou verticalement, suivant le type de page affichée.

Il n'y a pas de touche *DELETE*, la touche *CLR* remplit les deux fonctions. Une pression sur la touche quand le *scratchpad* est vide permet d'effacer un champ en remontant la valeur *CLR* sur la *LSK* désirée. Lorsque le *scratchpad* n'est pas vide, la touche *CLR* efface un par un et par la droite les caractères présents. On note aussi la présence de la touche *overfly* qui permet d'imposer le survol d'un *waypoint*.

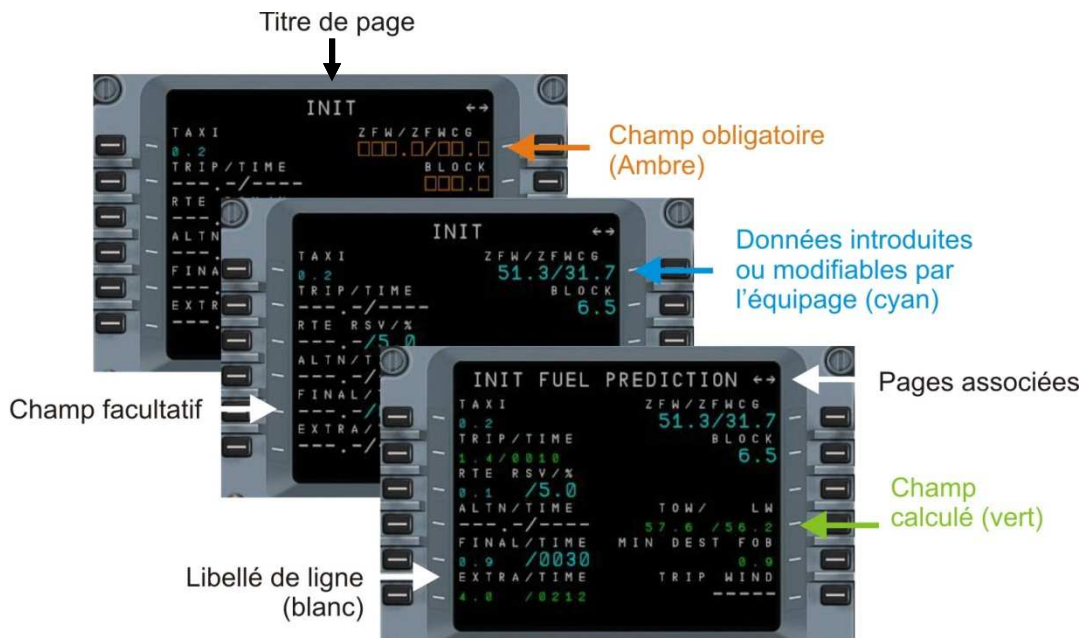
Conventions d'écriture

Les champs destinés à recevoir des données obligatoires sont affichés sous forme de boîtes. Les champs de données facultatives sont tiretés.

Les données par défaut ou calculées par le FMC sont affichées en petits caractères, les données introduites par l'équipage ainsi que les contraintes faisant partie des procédures (*hard constraint*) sont affichées en grands caractères.



Sur Airbus, l'accent est mis sur un codage couleur en plus des conventions habituelles.



Chez Airbus, les contraintes d'altitude ou de vitesse faisant partie des procédures sont affichées en petits caractères, les contraintes introduites par l'équipage le sont en grands caractères.

Les minimums vitaux : Prévol

Pour ce qui suit, nous allons passer en revue les données qui sont strictement nécessaires. Nous laisserons tous les autres champs soit vides, soit avec les valeurs par défaut.

Pour calculer un plan de vol et un profil de performance, un certain nombre de données doivent impérativement être introduite dans le *FMC*. Les principes de navigation, les lois de la physique et la mécanique du vol étant les mêmes pour tout le monde, les données nécessaires sont identiques pour tous les systèmes de gestion de vol.

Pour le suivi de la navigation :

- La position de l'avion au sol pour le calage des centrales à inertie, un plan de vol complet (*ADEP, ADES, SID, Route, STAR, Transition, Approche*)

Pour le calcul des performances :

- La masse au décollage, le carburant à bord, le centrage, l'altitude de croisière et le *cost index*.

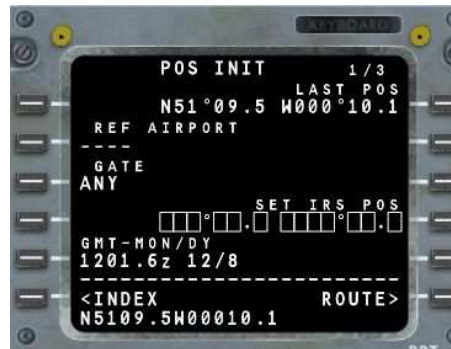
Pour le décollage, en plus de la masse :

- la configuration des volets, la température extérieure et les vitesses caractéristiques.

Le plan de vol

L'introduction du plan est grandement facilitée par la présence de la base de données de navigation qui comprend toutes les routes actives, les moyens de navigation, les aéroports avec les pistes et les procédures associées. Les *waypoints* seront introduits en utilisant leur nom, et non plus leurs coordonnées géographiques comme dans le cas d'une *INS* (sauf en transocéanique).

La première (ou une des premières) chose à faire, est de donner la capacité au système de se situer précisément sur le globe. On introduira les coordonnées géographiques de la position dans le système d'alignement des *IRS*, soit, par exemple, à partir d'une position *GPS* ou des coordonnées du poste de stationnement en utilisant la page *POS INIT* chez Boeing et *INIT A* chez Airbus. Il faut pour cela que les *IRS* soient en cours d'alignement ou déjà alignés.



Ensuite, on indiquera au système les aérodromes de départ et d'arrivée et le numéro du vol.

La manière diffère suivant les *MCDU*. Chez Boeing on entrera l'origine dans le *LSK1L* et l'arrivée dans le *LSK1R* de la première page *RTE*, chez Airbus, on introduira le couple d'aéroports séparés d'un slash en *LSK1R* de la page *INIT A*.

Boeing



Airbus

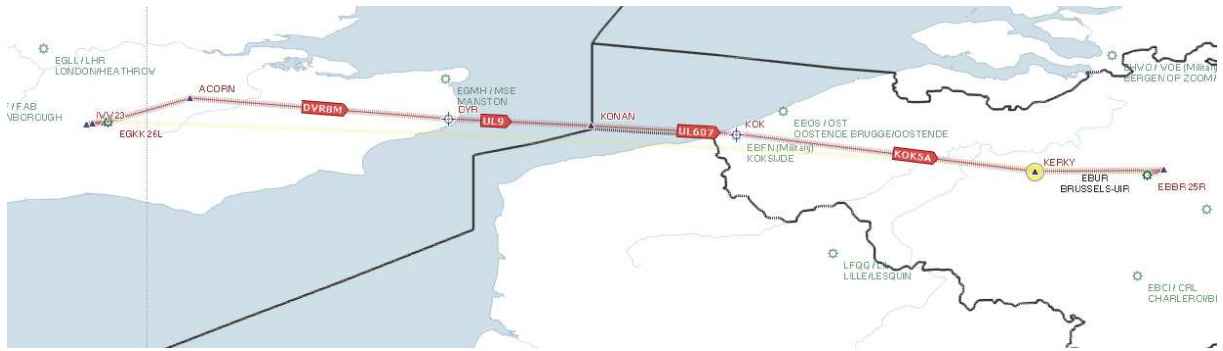


On continuera avec l'introduction de la route :

Comme dans un plan de vol ATC, on n'entrera que les *airways*, encadrées par le *waypoint* d'entrée et le *waypoint* de sortie de l'*airway*.

Pour aller de London Gatwick à Bruxelles National, la route sera :

DVR UL9 KONAN UL607 KOK



Nous n'entrerons que cette séquence dans les pages *RTE* ou *F-PLN* du *MCDU*. Les éventuels points intermédiaires situés sur les routes sont connus et seront ajoutés automatiquement par le *FMC* (dans ce cas ci, il n'y en pas).

Si votre appareil est bien modélisé, la séquence suivante suffira :

DVR UL9 UL607 KOK

et le *FMC* calculera et insèrera de lui même le point *KONAN*, intersection des deux *airways*.

Procédure Boeing :

Appuyer sur *NEXT PAGE* pour accéder à la page 2 de *RTE*.

La colonne de gauche reçoit les *airways (VIA)*, la droite les *waypoints (TO)* qui sont tapés dans le *scratchpad* et remonté dans les *LSK* adéquates. Si on entre un *waypoint* dans la colonne de droite sans *airway* dans la colonne de gauche, *DCT* pour direct s'y inscrit automatiquement. Si on entre une *airway*, un *waypoint* de sortie est attendu (boîtes dans la colonne de droite).

Une fois la route complétée et vérifiée, on appuiera sur *LSK6R* puis sur *EXEC* pour l'activer.

Si on connaît déjà la *SID* et la *STAR*, on peut les insérer dès maintenant à partir de la page *DEP/ARR*.



LSK1L pour sélectionner la page des départs de London Gatwick.

On voit qu'il y a 12 pages de départs aux instruments. Si on choisi la piste en premier lieu, on limitera le nombre de départs à ceux qui s'appliquent à la piste sélectionnée. Ici la *26L*. Si votre procédure, départ ou votre approche n'apparaît pas à l'écran, utilisez les touches de navigation pour faire défiler les pages.



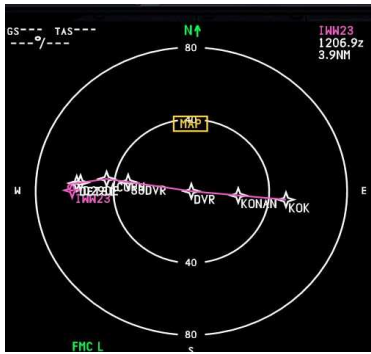
On choisira *DVR8M* sur la page 3. On voit que le témoin de la touche *EXEC* est allumé, attendant confirmation. Une fois la sélection confirmée, la procédure de départ est insérée dans le plan de vol, *SIDs* et *Runways* indiquent maintenant *<ACT>* pour *active* en lieu et place de *<SEL>*.



Pour entrer la *STAR* (soit maintenant, soit en cours de vol), on reviendra à la page *DEP ARR*, on choisira *EBBR ARR (LSK2R)* pour les arrivées à Bruxelles. La procédure pour la sélection de la *STAR* est identique à celle d'une *SID*, à la différence qu'il vous faudra probablement aussi sélectionner une transition. La transition choisie à droite remplacera *-NONE-* sous *TRANS* dans la colonne de gauche.



La page *LEGS* permet de vérifier tous les points de la route. Si le *ND* est en mode *PLAN*, *STEP>* apparaît en LSK6R et permet de faire défiler le plan de vol au *ND* (nord au dessus). On remarque les contraintes d'altitude de la *SID*, en grands caractères et les champs calculés en petits.



Pour introduire une contrainte de vitesse, d'altitude ou des deux, l'équipage la tape dans le scratchpad puis la remonte dans la colonne de droite du *waypoint* considéré. Le format est le suivant :

- Vitesse seule : 220/
- Altitude seule : 4000B, 4000A, 4000 ou même 4000A6000B
- Vitesse et altitude : 220/4000

Notez le titre précédé de *MOD* en surbrillance et l'invite de commande *ERASE* en *LSK6L* qui permet d'annuler toute modification avant quelle ne soit validée par un appui sur la touche *EXEC*.



Au cas où une discontinuité apparaîtrait, il suffit de descendre le point suivant du plan de vol dans le *scratchpad* (ici en appuyant sur *LSK4L*) et de le remonter dans la ligne contenant les boîtes (*LSK3L*). Ensuite on valide la modification avec *EXEC*.



Procédure Airbus :

Après introduction du couple Départ /Arrivée en page *INIT A*, une pression sur la touche de fonction *F-PLN* fait apparaître un plan de vol vide, hormis les deux aéroports.

Nous appuyons sur la *LSK* à gauche de *EGKK* pour accéder à la page de révision latérale de Gatwick. Nous avons alors le choix entre *<DEPARTURE, Next Waypoint, New destination* et *AIRWAYS>*.

Les deux propositions en majuscules ouvrent de nouvelles pages, les deux autres attendent une entrée provenant du *scratchpad*.

Nous y inscrivons *DVR*, que nous remontons en *LSK3R*.



Nous obtenons cet écran. Le *FMGC* a créé un plan de vol temporaire (en jaune) que l'on va compléter et éditer avant de le valider par le *LSK6R TMPY INSERT **. Nous allons procéder à la suite de la construction du plan de vol en appuyant sur la *LSK2L* en face de *DVR* ; on va revenir sur une page de révision latérale, celle du *waypoint DVR*



Cette fois, c'est le prompt *AIRWAYS>* qui nous intéresse. La mise en page est ici très proche de celle de Boeing, N° *d'airways* à gauche, point de sortie à droite. Nous entrons *UL9 KONAN UL607* et enfin *KOK*, puis nous appuyons sur *LSK6L* pour retourner au plan de vol temporaire complété.

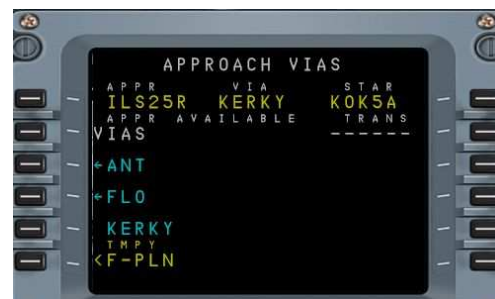


Pour ajouter la *SID*, nous retournons sur la page de révision latérale de *EGKK* et choisissons cette fois le menu *<DEPARTURE>*.

Les flèches de navigation gauche et droite permettent de voyager entre les pages *RUNWAYS* et *DEPARTURES*.



Si l'on veut entrer d'ors et déjà la *STAR*, il faut choisir la page de révision latérale de l'aéroport d'arrivée. Le menu *<ALTN>* fait ici son apparition et dans la page *ARRIVAL>*, les touches de navigation permettent de sélectionner les pages *RUNWAYS*, *APPROACH* et *VIAS* pour les transitions.



Au cas où une discontinuité subsiste ou apparaît, il suffit de l'effacer en appuyant sur *CLR*, qui s'inscrit dans le *scratchpad*, et ensuite sur la *LSK* correspondant à la discontinuité.

Les contraintes apparaissent sous la forme d'un astérisque magenta ou ambre suivant que celle-ci pourra être respectée ou non. Pour consulter ou introduire manuellement une contrainte, soit de vitesse soit d'altitude ou les deux, l'équipage ouvrira la page Révision verticale du *waypoint* considéré en appuyant sur la *LSK* à droite du point.

Le format pour les altitudes est le suivant :

- 4000, -4000, +4000

Les contraintes d'altitude sous forme de fenêtre ne peuvent faire partie que d'une *SID* ou d'une *STAR* et ne peuvent pas être introduites par l'équipage.

Le plan de vol peut être révisé avec le *ND* en mode *PLN* en utilisant les touches de navigations verticales.



Les pages Performance

Tant que les éléments permettant au *FMC* de calculer les performances de l'avion ne seront pas introduites dans le système, les champs de la colonne de droite de la page *LEGS* ou *F-PLN* resteront vides, hormis les contraintes imposées par l'équipage ou par les procédures, et le mode *VNAV* ne pourra pas fonctionner.

Ce n'est qu'en possession de tous les éléments indispensables que le *FMC* pourra calculer le temps, la distance et le fuel nécessaire à la montée, à la croisière et la descente, et ainsi ajouter l'altitude, le temps et le carburant restant prévus à tous les points de passages dans les champs de droite, ainsi que les *pseudo-waypoints ToC* et *ToD*.

Les paramètres indispensables sont :

- La masse au décollage ou le *Zero Fuel Weight*
- Le carburant à bord (block fuel) et les réserves
- Le centrage en %MAC
- L'altitude de croisière
- Le *cost index*.

Chez Boeing, à partir de la page *RTE*, il n'y a qu'à suivre les invites en *LSK6R* pour accéder aux pages relatives aux performances. On peut aussi passer par *INDEX* puis *PERF* par exemple.

Chez Airbus, cela se passe aux pages *INIT A* et *INIT B*. Attention, la page *INIT B* n'est plus accessible dès la mise en route des moteurs.

BOEING 737 PERF INIT



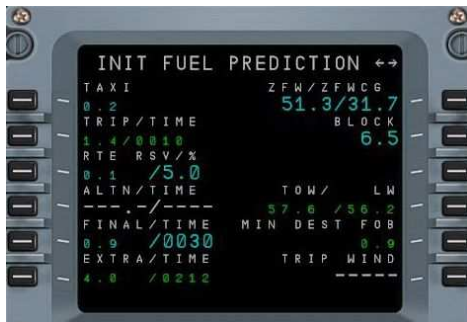
AIRBUS A320 INIT A



AIRBUS A320 INIT B



Le FMC est maintenant à même de calculer le profil vertical du vol, en considérant un vent nul et une atmosphère standard. Les champs de droite sont peuplés, les *ETA* et le *fuel on board* est calculé pour chaque point ainsi que pour l'arrivée. Le *FMC* actualisera son calcul en fonction du vent réellement rencontré en vol.



Il nous reste néanmoins quelques informations à renseigner pour le décollage.

Thrust rating, Configuration et vitesses de décollage

A la page *N1 LIMIT*, accessible soit en suivant le prompt en *LSK6R*, soit par sa touche de fonction, nous devons encore entrer la température extérieure si elle n'est pas communiquée par un capteur, la température assumée et le détarage de poussée au décollage et en mode *CLB* s'il y a lieu. Notez que les courbes détarées *CLB-1* et *CLB-2* rejoignent progressivement la courbe *CLB* pour se confondre à partir de 15000 ft. On notera aussi que sans la température extérieure, le système est incapable de calculer le régime *N1* auquel on obtiendra la poussée *TOGA*. A la page suivante *TAKE OFF*, nous ajouterons encore la configuration des volets, la valeur du centrage et les vitesses de référence du décollage qui dans le cas des Boeing sont souvent suggérées. Il suffit de les valider ou des les changer

si vous le souhaitez. La mention *PRE FLIGHT COMPLETED* signifie que le *FMC* possède tous les renseignements nécessaires pour travailler. (Cette mention varie d'un avion à l'autre, sur un 747-400 par exemple, la mention *PREFLIGHT* disparaît lorsque le *FMC* est prêt.)



Pour l'A320, la page des performances au décollage est la première page que nous obtiendrons en appuyant sur PERF lorsque nous sommes au sol. On y insère les vitesses de référence, la température assumée et la position des volets et du THS si elle est connue (UP ou DN).



Nous en avons terminé avec le minimum du *preflight*.

Les minimums vitaux : En vol

Direct to

Pour initier un *Direct To* sur Boeing, il suffit de descendre dans le *scratchpad* le *waypoint* vers lequel on veut se diriger, et de le remonter en *LSK1L*. Après vérification par l'équipage, la modification est approuvée par un appui sur *EXEC*. Le *waypoint* actif devient *KONAN*, les points entre la position présente et *KONAN* sont effacés.



Airbus possède une touche de fonction dédiée ouvrant une nouvelle page. Sur cette page, on trouve la liste des *waypoints* à venir du plan de vol. Il suffit de faire défiler la liste et cliquer sur le *LSK* correspondant. Un plan de vol temporaire est créé sur le *ND*, qu'il suffit d'insérer après vérification par l'équipage.



Modifications de la route

Pour ajouter un *waypoint* sur la route par exemple : Ajouter *HELEN* après *KONAN* et ensuite rejoindre directement *KERKY* :

Méthode Boeing :

- Taper *HELEN* dans le scratchpad, et le remonter sur la *LSK* juste en dessous de *KONAN*. Les *waypoints* suivant seront descendus et une discontinuité est créée après *HELEN*.
- Fermer la discontinuité en remontant le point souhaité *KERKY* dans ce cas, dans la ligne de la discontinuité, vérifier et valider avec *EXEC*.



Méthode Airbus :

- Accéder à la page de révision latérale de *KONAN*, inscrire *HELEN* dans le *scratchpad*, choisir le bon dans la liste des points dupliqués et le remonter dans *NEXT WPT*
- Un plan de vol temporaire est créé. Comme nous souhaitons qu'après *HELEN* nous allions directement sur *KERKY*, nous supprimons *KOK*, *D282Y* et la discontinuité créée.
- Ensuite, nous validons en insérant le plan de vol temporaire.



Hold

Pour insérer une attente sur un *waypoint*, Boeing a prévu une touche de fonction pour ouvrir la page *HOLD*, alors qu'Airbus à recours à la page de révision latérale du *waypoint* considéré. Dans tous les cas, les circuits sont paramétrables en temps ou distance d'éloignement, *inbound course*, sens du virage, vitesse cible etc.

Chez Boeing, s'il existe déjà une attente dans le plan de vol, par exemple celle de l'approche interrompue, le fait d'appuyer sur la touche *HOLD* ouvre la page de l'attente existante sur le *VOR* de *BRUNO*. Il faudra choisir *<NEXT HOLD* en *LSK6L* pour pouvoir insérer et paramétrer un nouveau *HOLD* sur le point choisi. Appuyer sur *EXEC* comme d'habitude pour valider et revenir à la page *LEGS*. Le plan de vol comporte maintenant un point supplémentaire nommé *HOLD AT KONAN*.

Pour réviser une ou plusieurs attentes, il suffit d'appuyer sur la fonction *HOLD* et de naviguer entre les différentes pages de *HOLD* classée dans l'ordre du plan de vol avec les touches *NEXT PAGE* et *PREV PAGE*.



Airbus offre le choix entre l'attente mémorisée dans la *database* s'il en existe une, une attente calculée par le *FMGS* et une attente paramétrée par l'équipage.



Les minimums vitaux : TOD

Configuration et vitesse d'atterrissage

À l'approche du *Top of Descent*, il est temps de penser à renseigner notre ordinateur quant aux paramètres d'atterrissage.

Chez Boeing, on accède à la page dédiée par la touche *PERF INIT*, la même qui a servi pour la prévol.

La seule donnée obligatoire est le choix de la configuration volet et la *VRef* calculée à partir de la masse prévue à l'atterrissage. Si on se contente des valeurs suggérées, il suffit de descendre la valeur dans le scratchpad et de la remonter en *LSK4R*. La valeur *Gross weight* est calculée par le *FMC* et conditionne les vitesses d'atterrissage. Elle peut être modifiée par l'équipage si besoin.



Chez Airbus on arrive à la page concernant les performances à l'atterrissage par la fonction *PERF* et le prompt *NEXT PHASE* en *LSK6R* autant de fois que nécessaire jusqu'à arriver sur la page *APPR*.

La page s'ouvrira spontanément lors de l'activation de la phase d'approche, qu'elle soit initiée par l'équipage, ou déclenchée par le passage sur la *pseudo waypoint* « *deceleration point* ».

Le choix de la configuration volet est possible entre *CONF3* et *FULL* par défaut



Pour affiner le profil

De nombreuses données peuvent être introduites dans le FMC afin d'affiner ses calculs prévisionnels. Ces données sont principalement les vents susceptibles d'être rencontrés aux différentes étapes du vol, la température réelle (et non standard) à l'altitude de croisière, l'altitude de la tropopause.

Prévol

En phase de prévol, les données les plus importantes sont celles qui vont déterminer les performances de décollage et de montée initiale :

- le vent en surface, ou la composante de vent de face/de dos.
- l'état de contamination de la piste.
- la pente de la piste.
- la température extérieure

Pour la vérification de la quantité de carburant embarquée

- une estimation des vents moyens et de la température à l'altitude de croisière.

Une partie de ces données s'inscrira à la page *PERF INIT*, celles concernant la piste et le vent en surface, à la page 2 de *TAKE OFF REF* dans le cas du 737NG



En vol

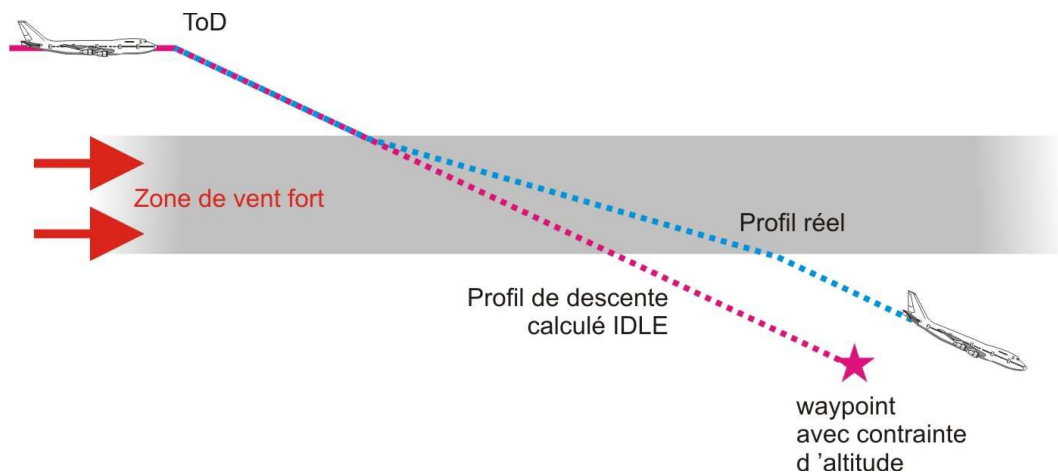
En vol, le principal souci sera d'affiner les calculs de consommation et les contraintes de temps de passage ou *RTA* afin d'arriver à l'heure prévue par la compagnie. Si elles sont connues avant le départ, ces données peuvent être introduites en phase prévol et éventuellement affinées au fur et à mesure des *updates* météo. Sur le 737, on arrive à la page des vents en croisière par la page *LEGS* et ensuite *RTE DATA* en *LSK6R*. Notez que seuls les points relatifs à la croisière sont modifiables, et que le vent moyen introduit en prévol peuple déjà les champs. Seuls les changements significatifs doivent être introduits, et le vent introduit sur un *waypoint* est automatiquement reporté sur les points suivants.



A la descente

Les vents à la descente sont des données très sensibles pour le mode VNAV, parce que le profil est calculé avec les moteurs au ralenti et que les impératifs d'altitude et de vitesse en un point donné sont cruciaux pour la bonne conduite de l'approche et de l'atterrissage.

« Moteur au ralenti » signifie qu'il reste peu de marge de manœuvre en cas de situation « trop vite trop haut ».



L'insertion des vents prévus avant de débuter la descente va permettre au calculateur d'anticiper si nécessaire le *Top of Descent* afin d'honorer les contraintes de profil. De même, si on prévoit de traverser une couche de nuage et d'utiliser l'*anti ice*, les altitudes de début et fin d'utilisation seront renseignées. En effet, l'utilisation du dégivrage utilise une grande quantité d'air chaud prélevée sur les moteurs, et le régime de ralenti est accéléré lors de son utilisation afin de garantir un fonctionnement correct des moteurs. Du coup, la pente de descente est réduite durant l'utilisation du dégivrage. Chez Boeing, la page est accessible depuis la page de performance *DES*, puis *<FORECAST en LSK6L*.

Arriver trop court est facile à corriger, au prix d'une légère augmentation de consommation, arriver trop long est un problème autrement plus difficile à gérer.



Chez Airbus, la température prévue à l'altitude de croisière est calculée par défaut en utilisant les données de l'atmosphère *ISA*, sur la page *INIT A*. On peut l'y modifier, ou modifier l'altitude standard de la tropopause. Dans le cas d'une modification de l'altitude de la tropopause, la température est calculée en fonction de la décroissance standard de la température (-2°/1000 ft jusqu'à la tropopause). En cas d'introduction d'une température par l'équipage, la modification de la tropopause n'a plus d'effet.



Les vents peuvent être introduits de manière sommaire à la prévol sous forme de composante de face ou de dos (format HDxxx ou TLxxx) sous *TRIP WIND* en *LSK5R* de la page *INIT B*.

Dans ce cas, le vent programmé apparaîtra en face de chaque *waypoint* de la page *F-PLN*, si on navigue vers la droite de la page à l'aide de la flèche.

Les vents peuvent aussi être introduits pour chaque phase de vol, par tranche d'altitude, par l'intermédiaire de la page *INIT A*, puis *WIND>*, voyager entre les pages en utilisant *NEXT PHASE>* ou *PREV PHASE>*. Le format requis est : cap vrai/vitesse/altitude.

Les vents peuvent aussi être introduits pour chaque *waypoint*, quelque soit la phase de vol, en passant par la page de révision verticale du point, *<ACCESS WIND DATA*, et ce pour plusieurs altitudes par *waypoint*.

