

Ecole de Chasse C6

Maniement élémentaire

Version 1.0, de mai 2017

Sommaire

Introduction.....	3
Le moteur	5
Le carburant.....	15
Les gouvernes et surfaces mobiles	21
Le manche et le palonnier	23
Les aérofreins	27
Exploration du domaine de vol.....	30
Caractéristiques générales des commandes de vol	35
Caractéristiques particulières en mode croisière	40
Caractéristiques particulières en mode atterrissage et décollage.....	45
Limites à observer par le pilote	47

Introduction

Vous avez déjà lu le document de l'EDC sur les instruments et les unités de vol, ou bien vous saviez déjà lire les instruments élémentaires d'un avion. Vous maîtrisez peut-être même déjà le *rampstart*. Vous voilà fin prêt à passer au plus intéressant : piloter !

Parvenu à ce stade, trois attitudes vous sont possibles :

Attitude 1 : « Le civil et le militaire, c'est du pareil au même ». Vous savez déjà piloter un Cessna 172 ou un planeur sur Flight Simulator ou X-Plane, ou même peut-être en vrai. Vous considérez qu'un F-16 est un avion comme un autre, et que toutes les connaissances en pilotage que vous avez déjà acquises vous permettront de prendre l'avion en main sans difficulté. D'ailleurs, vous ne savez même pas très bien pourquoi vous avez pris la peine d'ouvrir ce document, mais vous aurez terminé de le parcourir dans 30 secondes, c'est sûr.

Attitude 2 : « Un chasseur moderne comme le F-16, c'est tellement évolué que ça se pilote tout seul ». Vous le savez, vous l'avez lu, et vos copains vous l'ont bien confirmé : sur un F-16 c'est l'ordinateur qui fait tout, y a rien besoin de savoir. Or vous êtes un *gamer* expérimenté, vous avez déjà tout le matériel qu'il faut (HOTAS, Track IR, etc.), et vous faites des *high scores* de folie sur Elite Dangerous. Vous n'aurez aucun mal à prendre l'avion en main. D'ailleurs, vous ne savez même pas très bien pourquoi vous avez pris la peine d'ouvrir ce document, mais vous aurez terminé de le parcourir dans 30 secondes, c'est sûr.

Attitude 3 : « Faut voir, y a peut-être des trucs à apprendre. C'est quand même assez particulier, un avion de chasse. »

Si vous êtes malin, vous avez sûrement déjà deviné quelle attitude vous sera la plus profitable pour progresser...

En effet, un avion de chasse moderne est bien d'abord un avion. Il est donc sujet à toutes les forces qui agissent habituellement sur tout avion. Aucun doute là-dessus.

Si vous comprenez déjà très bien les effets de l'incidence, du facteur de charge ou de la vitesse, vous possédez de fait déjà une petite avance.

Mais un avion de chasse moderne est aussi un véhicule exceptionnellement rapide et puissant, très agile, équipé d'ailes bien petites par rapport à la plupart des avions civils, et surtout doté de commandes de vol très particulières qui rendent son pilotage différent de celui d'un avion civil. Si vous en savez beaucoup sur le pilotage « classique », vous devrez accepter de désapprendre une partie de ce que vous avez dû apprendre en la matière. À défaut, vous volerez tout simplement comme une patate. Et une patate fière d'elle-même, c'est quand même une patate.

À l'inverse, si vous choisissez d'essayer de piloter le F-16 comme un vaisseau spatial plutôt que comme un avion, sans tenir compte des forces qui contraignent ou favorisent le vol, non seulement vous volerez comme une patate au lieu de fendre les airs comme un X-Wing victorieux, mais en plus vous finirez la plupart de vos vols piteusement écrasé au sol. Ce qui sera sans doute rapidement frustrant, alors que s'offre au contraire à vous un nouveau domaine passionnant à découvrir.

Le moteur

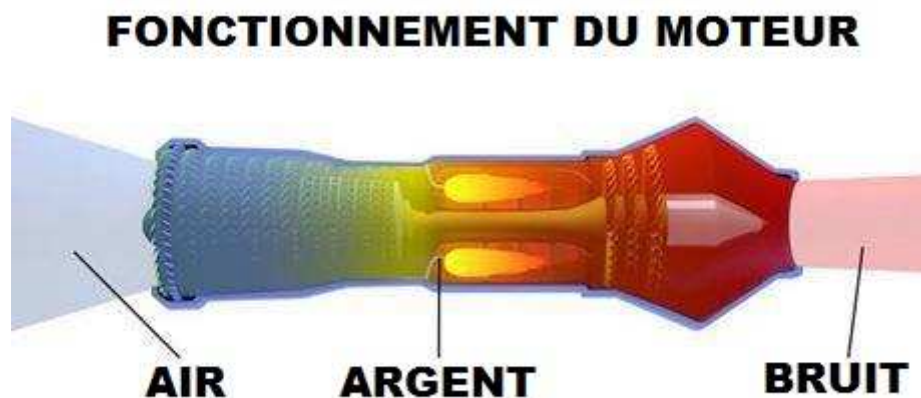
Principe général du moteur à réaction

Le F-16 est propulsé par un turboréacteur. Ce moteur est, selon la version du F-16, soit un modèle F100 conçu par Pratt & Whitney, soit un F110 conçu par General Electric, les deux étant assez similaires.

Le principe d'un turboréacteur est relativement simple : il fonctionne tout à fait comme un ballon de baudruche qu'on laisse filer, mais en moins rigolo et avec un peu plus de bruit.

En effet, comme il s'est révélé qu'il n'était pas très commode de regonfler un ballon tous les kilomètres (il faut descendre à chaque fois, et il n'est pas toujours possible de sélectionner les pilotes sur leurs seules capacités pulmonaires), on a choisi d'utiliser plutôt un compresseur qui avale l'air, puis placé derrière lui une chambre dans laquelle on mélange à cet air du kérozène qui s'y enflamme. Et hop : on obtient une différence de pression, donc une forte poussée, tout comme avec un ballon.

On peut aussi modéliser le fonctionnement du moteur de cette manière :



L'essentiel à retenir est que, pour fonctionner, le moteur a besoin de beaucoup d'air, et de *beaucoup* d'essence.

Le moteur fournit donc d'autant plus de poussée (et consomme d'autant plus de carburant) que l'air qu'il avale est dense, donc d'autant plus que l'altitude et la température sont basses. À l'inverse, la poussée est d'autant plus réduite que l'altitude et la température sont élevées.

La différence peut être très conséquente : la consommation pourra varier du simple au septuple entre un vol à basse altitude et un vol à haute altitude.

Notez cependant que cela ne signifie pas que c'est forcément à basse altitude que l'avion ira le plus vite, puisque c'est aussi à basse altitude que la traînée (la résistance de l'air) sera la plus importante.

En pratique, la vitesse maximale sera en fait atteinte autour d'une altitude de 36 000 pieds.

Composants du moteur

On pourrait écrire plusieurs volumes pour ingénieur sur le sujet, mais du point de vue du pilote comptent d'abord les composants qu'il peut soit contrôler soit surveiller. Ils sont au nombre de 3 seulement :

- 1° : l'ensemble fan-compresseur-chambre de combustion-turbine
C'est le cœur du réacteur, sa partie essentielle, qui fonctionne en permanence et que le pilote contrôle en déplaçant la manette des gaz entre la position *idle* (ralenti) et la position MIL (plein gaz).
C'est aussi cette partie qui permet, par le relais d'accessoires, d'obtenir la puissance électrique et la puissance hydraulique dans l'avion.
- 2° : la postcombustion, ou réchauffe (*afterburner*, en anglais)
Il s'agit d'un dispositif propre aux avions de combat, qui n'équipe jamais les avions de transport (à l'exception du Concorde, en son temps), et même assez rarement les avions d'attaque.
Après la turbine du réacteur se trouvent des injecteurs qui permettent de brûler du carburant dans l'air déjà accéléré et chauffé, et d'accroître encore considérablement vitesse et température de l'air éjecté.
L'avantage du système est qu'il permet d'obtenir un grand supplément de poussée tout en étant relativement simple, mais son inconvénient est qu'il est assez brutal dans son principe : l'utilisation de la postcombustion entraîne une très grande augmentation de la consommation de carburant, au point de pouvoir vider les réservoirs en seulement quelques minutes.
Le pilote allume la postcombustion en amenant la manette des gaz au-delà de la position MIL.
- 3° : la tuyère à section variable
Il s'agit en somme de la « sortie d'échappement » du moteur. Elle a la particularité de pouvoir plus ou moins se fermer ou s'ouvrir.

Le pilote ne peut pas commander cette ouverture : son fonctionnement est automatique. Retenez simplement que la tuyère va s'ouvrir pleinement dans seulement deux cas : lorsque la postcombustion est allumée, et lorsque le train d'atterrissage est sorti et que la manette est amenée au ralenti. Le reste du temps, la tuyère reste sur sa position la plus fermée (avec d'éventuelles variations légères).



La tuyère à section variable.

La manette des gaz

La manette des gaz du F-16 est placée sous la main gauche du pilote. Elle fonctionne dans le sens classique : le pilote obtient plus de puissance en poussant la manette, et moins en la tirant.

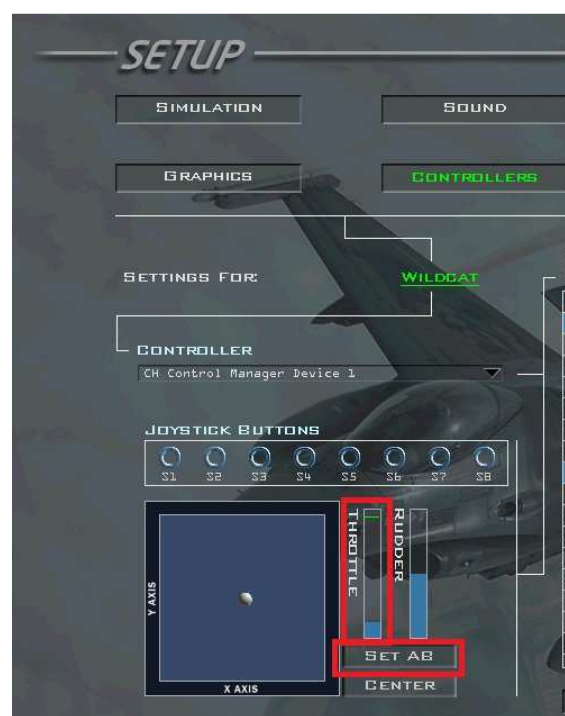
La course de la manette des gaz réelle comporte deux crans, conçus de telle façon qu'on ne peut les passer que volontairement (par un mouvement de rotation de la manette vers le haut).

Le premier cran se trouve entre la position OFF (moteur éteint) et la position *idle* (ralenti). Une fois que ce cran est passé, le pilote peut ensuite manœuvrer la manette librement entre la position *idle* et la position MIL (maximum de puissance disponible sans postcombustion).

Si le pilote souhaite utiliser la postcombustion, il doit amener la manette jusqu'à la position MIL, puis passer le second cran qui sépare la position MIL de la position MIN AB (postcombustion minimum). Il module ensuite la postcombustion en déplaçant la manette entre la position MIN AB et la position MAX AB, qui est la position la plus avancée de la manette.

L'ennui pour les pilotes virtuels est qu'il n'existe qu'une seule réplique de la manette des gaz réelle du F-16 (la manette du Cougar, de Thrustmaster, qui n'est plus produite), et que la plupart des manettes de jeu ne proposent ni cran pour éteindre le moteur ni cran pour déclencher la postcombustion. On doit donc alors dans chacun des cas contourner le problème en jeu :

- Pour passer de la position OFF à *idle* : On avance simplement un peu la manette ou la roulette, et on utilise la fonction *IDLE DETENT*, dont le raccourci-clavier par défaut est [ALT+I].
- Pour passer de la position *idle* à la position OFF (donc éteindre le moteur) : On place la manette ou la roulette sur sa position minimale, et on utilise la fonction *IDLE DETENT*. Notez bien que la fonction n'a d'effet que si la manette est bien à sa position minimale. Elle n'a autrement aucun effet.
- Pour l'enclenchement de la postcombustion : On utilise simplement la fin de course de la manette de jeu pour moduler la postcombustion. Pour ce faire, allez dans le menu Setup de Falcon, puis choisissez l'onglet Controllers. En bas à gauche se trouve une barre verticale, qui vous permet de suivre le mouvement de la manette de jeu. Placez simplement la manette sur la position au-delà de laquelle vous souhaitez que s'enclenche la postcombustion, puis cliquez dessous sur la mention « set AB ». Une petite ligne verte est alors placée sur la barre, indiquant à quelle position de la course de votre manette de jeu se trouve le cran de postcombustion.



Conduite du moteur

Il est important de noter que la manette ne dirige pas directement le moteur, contrairement à ce que supposent beaucoup de pilotes virtuels. À une certaine position de la manette ne correspond pas directement un certain nombre de tours du moteur. La manette sert en somme à « demander » un certain niveau de puissance au moteur. C'est ensuite la régulation électronique qui va ajuster le nombre de tours, l'ouverture de la tuyère et le fonctionnement des divers composants du moteur en fonction de ce que demande le pilote via la position de la manette des gaz, et tenant compte des informations de différents capteurs.

L'intérêt pour le pilote est double. D'une part, tout ce qu'il a à retenir c'est que plus il pousse la manette et plus il obtient de puissance. D'autre part, il n'a pas à craindre d'éteindre ou d'endommager le moteur en déplaçant la manette trop vite ou au mauvais moment, puisque la régulation « corrigera » automatiquement pour éviter tout problème. Par exemple, elle « lissera » la montée ou la descente en puissance, ou encore elle maintiendra un nombre de tours élevé à vitesse supersonique même si le pilote ramène la manette en arrière.

Le pilote peut donc toujours librement déplacer la manette des gaz d'avant en arrière sans peur : le moteur s'adaptera à chaque fois pour donner la réponse la plus adaptée en fonction des circonstances.

Notez une autre conséquence importante : si vous déplacez la manette des gaz rapidement, le moteur ne réagira en général pas aussi vite. Le moteur aura toujours une certaine inertie, qui peut varier d'une demi-seconde à une poignée de secondes selon les conditions (selon l'altitude, la vitesse et l'ampleur de la variation de puissance demandée). Vous devez l'anticiper dans votre pilotage : à chaque fois que vous effectuez une correction à la manette des gaz, vous devez attendre un peu pour que le moteur suive cette correction. Si vous n'attendez pas un peu après avoir déplacé la manette avant d'effectuer une nouvelle correction, vous ne cesserez de faire des corrections excessives. La bonne méthode consiste donc à déplacer la manette, attendre que le moteur se stabilise au nouveau régime demandé, et seulement ensuite déplacer à nouveau la manette si nécessaire.

Instruments moteur

Le pilote dispose de cinq instruments pour surveiller l'activité du moteur, tous situés sur la partie droite de la planche de bord.



Deux de ces instruments sont utilisés à la fois comme aide au pilotage et comme instrument de contrôle de bon fonctionnement :

- 1° : le débitmètre

Cet affichage digital est le plus visible, et celui qui aide à affiner le plus précisément la puissance. Il indique le débit du carburant qui parvient au moteur, en livres par heure (pph, pour *pounds per hour*, en anglais). Vous le verrez donc augmenter en poussant la manette, et même considérablement dès que vous enclencherez la postcombustion. Il peut afficher un débit allant de 0 à 80 000 livres par heures.



- 2° : le tachymètre

Ce compte-tours, gradué en pourcents, indique à quelle vitesse tourne le moteur.

La vitesse de ralenti au sol est d'environ 70 %, mais variera en vol selon les conditions (jusqu'à pouvoir atteindre le maximum aux vitesses supersoniques).

Sur les différentes variantes du moteur F100 de Pratt & Whitney, le maximum atteignable est de 97 %.

Sur les différentes variantes du moteur F110 de General Electric, le maximum est de 108%.

Il est important de noter que le tachymètre ne donne aucun indice sur le fonctionnement de la postcombustion, puisque lorsque celle-ci est crantée le régime du moteur reste exactement le même.



Les trois autres instruments sont seulement des instruments de contrôle. Le pilote n'en a aucun besoin pour piloter. Cela signifie dans Falcon que vous n'aurez à vous en occuper que plus rarement :

- 3° : l'indicateur d'ouverture de la tuyère

Cet instrument, gradué en pourcents, permet de connaître le degré d'ouverture de la tuyère, du minimum (tuyère fermée au plus) au maximum (tuyère ouverte au plus). Avec le débitmètre, c'est un bon moyen de savoir si la postcombustion est effectivement en fonctionnement ou non, puisque lorsque le train est rentré la tuyère n'est pleinement ouverte que lorsque la postcombustion fonctionne. Cet instrument donne donc une indication de contrôle, et pas une indication d'aide au pilotage.



- 4° : l'indicateur de température d'entrée turbine (FTIT, en anglais, pour *Fan Turbine Inlet Temperature*)

L'instrument est gradué en degrés Celsius. La température varie d'environ 600-650° au ralenti au sol à 1 000-1 100° en vol à pleine puissance. Cet instrument n'est là que pour vous alerter en cas de défaillance (température trop haute ou trop basse). Prenez simplement la peine dans vos premiers vols de regarder un peu où se trouve habituellement l'aiguille.



- 5° : l'indicateur de pression d'huile

Un moteur à réaction n'est pas différent sur ce plan de n'importe quel moteur thermique : il lui faut de l'huile pour fonctionner, ou les ennuis sont proches. Cet instrument est gradué en PSI (livre-force par pouce carré, c'est-à-dire *pound-force per square inch*, en anglais). Retenez simplement que si la pression tombe en dessous de 15, vous avez un vrai problème.



Le mode SEC

Le moteur peut fonctionner dans un mode dégradé, appelé SEC (pour *secondary*, par opposition au mode normal, appelé PRI, pour *primary*).

Ce mode est activé soit de manière automatique en cas de dysfonctionnement d'une partie du moteur, soit sur action du pilote qui place le commutateur ENG CONT sur la position SEC plutôt que PRI (banquette gauche, en avant du manche).

Lorsque le mode SEC est actif :

- La postcombustion ne peut plus être utilisée.
- La poussée sans postcombustion est réduite à environ 80 % de ce qu'elle est habituellement.
- La tuyère se ferme complètement, ce qui a pour effet que la poussée au ralenti sera en revanche plus importante qu'à l'habitude.
- Le voyant SEC s'allume sur le panneau d'avertissement (*caution panel*).
- À vitesse supersonique, la manette des gaz doit être maintenue sur la position MIL tant que l'avion n'a pas ralenti jusqu'à une vitesse subsonique.



Emplacement du commutateur ENG CONT. Il peut être facilement dissimulé par la manette des gaz en vol.

Le carburant

Le carburant n'est jamais un détail en aviation (pas facile de descendre pour pousser, ou de trouver une station-essence sur un nuage), mais c'est encore plus vrai pour un avion de chasse dont la consommation peut être si importante qu'il peut vider ses réservoirs en très peu de temps.

Les réservoirs

Le circuit de carburant de l'avion réel est assez complexe. Cependant, du point de vue du pilote on peut le résumer ainsi simplement.

Les réservoirs internes sont divisés en deux parties : une partie qui comprend les réservoirs de fuselage arrière et le réservoir d'aile gauche, et une partie qui comprend les réservoirs de fuselage avant et le réservoir d'aile droit.

Le pilote n'a habituellement pas à se soucier des interactions de ces deux parties : tant que le commutateur ENG FEED du panneau FUEL (banquette gauche) est sur la position NORM, le carburant qui provient de chacune des deux parties est consommé de manière équilibrée, de telle façon que l'avion conserve un centrage approprié.

Le plein interne correspond à environ 7 100 livres pour un appareil monoplace.

Des réservoirs pendulaires largables, peuvent être emportés aux points 3 et 7 de l'avion (un sous chaque aile), ainsi que sous le point ventral.

Il existe deux types de réservoirs d'ailes : des bidons de 370 gallons (soit environ 2 400 livres), ou de 600 gallons.

Il n'existe qu'un seul type de réservoir ventral, qui peut contenir 300 gallons (US) de carburant, soit environ 2 000 livres.

La plupart des missions de combat supposeront d'emporter un bidon de 370 gallons sous chaque aile : ce carburant en plus est en effet rarement de trop, et le réservoir ventral n'est guère utilisable sur la plupart des versions du fait qu'il occupe le même point que la nacelle de contre-mesures électroniques.

Quant aux bidons d'ailes de 600 gallons, ils sont relativement lourds et volumineux, ce qui explique qu'un nombre limité de forces aériennes les emploie.

Les versions les plus récentes du F-16 peuvent également emporter des réservoirs conformes. Ces réservoirs, plaqués sur le fuselage, sont démontables au sol mais pas largables en vol. Ils permettent en quelque sorte d'augmenter la quantité de carburant interne, au prix d'une augmentation réduite de la traînée.

Ordre d'utilisation des réservoirs :

Par défaut, le carburant est toujours consommé dans l'ordre suivant : réservoir largable ventral, réservoir largable d'aile, réservoir conforme, réservoirs internes.

La jauge de carburant

La jauge de carburant est située sur la banquette auxiliaire droite, à la suite des instruments moteur.

Elle est assez simple à lire : le carburant total restant (carburant interne comme externe) est donné, en livres, par l'affichage digital au centre de la jauge.

Les deux aiguilles donnent, en centaines de livres, la quantité de carburant restant dans la partie arrière et gauche des réservoirs internes (aiguille AL, pour *Aft* et *Left*) ou dans la partie avant et droite (aiguille FR, pour *Front* et *Right*).



Ici, il reste un total de 8 600 livres de carburant dans tous les réservoirs (externes et internes cumulés), dont 3 200 livres dans les réservoirs de fuselage avant et le réservoir d'aile droit, et 2 800 livres dans les réservoirs de fuselage arrière et le réservoir d'aile gauche.

Les commandes liées au carburant

Panneau FUEL (banquette gauche)



Commutateur MASTER FUEL : Ce commutateur est en fait un robinet coupe-feu. Il ne sert qu'à éteindre le moteur en cas d'urgence, en coupant l'arrivée du carburant. Le pilote n'a habituellement pas à s'en soucier. Le commutateur est laissé sur la position NORM.

Sélecteur ENG FEED : Ce sélecteur commande les pompes de carburant. Sur OFF, les pompes ne fonctionnent pas (le moteur tournera, mais seulement si vous maintenez un facteur de charge positif). Sur NORM, toutes les pompes tournent et l'alimentation en carburant est contrôlée pour maintenir le centrage de l'avion.

En position AFT, le moteur est alimenté en priorité par le circuit arrière et droit, et en position FWD par le circuit avant et gauche. Ces deux dernières positions peuvent créer un problème de centrage. Leur utilisation est donc déconseillée. Elles n'existent que pour corriger une panne, qui ne se produira en principe pas dans Falcon 4.0.

Commutateur AIR REFUEL : Ce commutateur sert tout simplement à ouvrir ou fermer la trappe de ravitaillement en vol située sur le dos de l'appareil, en arrière du cockpit.

Panneau AIR COND (banquette droite)



Sélecteur AIR SOURCE : Ce sélecteur a une petite importance pour le carburant, puisqu'il assure ou non le fonctionnement de l'air conditionné dans l'avion (pour le pilote et pour le refroidissement des équipements) ainsi que de la pressurisation.

Si le sélecteur est sur la position OFF ou RAM, les réservoirs externes ne sont plus pressurisés, ce qui signifie que le carburant de ces réservoirs ne peut plus être utilisé. Il doit en principe être laissé sur NORM.

Panneau FUEL QTY SELECT



Sélecteur FUEL QTY : Ce sélecteur permet de choisir ce qu'affiche la jauge de carburant. La position par défaut est NORM, et c'est celle que le pilote doit en principe maintenir en vol.

Sur la position TEST, l'affichage digital doit donner 6 000 pour valeur, et les aiguilles pointer toutes deux sur 2 000.

Sur RSVR, les aiguilles donnent la quantité de carburant restant dans les deux réservoirs du circuit avant droit et arrière gauche qui sont situés « en bout de chaînes », juste avant l'alimentation au moteur.

Sur INT WING, les aiguilles donnent la quantité de carburant restant dans le réservoir interne d'aile gauche et dans le réservoir interne d'aile droite.

Sur EXT WING, les aiguilles donnent la quantité de carburant restant dans le réservoir externe largable d'aile gauche et dans le réservoir externe largable d'aile droite.

Sur EXT CTR, l'aiguille FR donne la quantité de carburant restant dans le réservoir largable ventral. L'aiguille AL pointe sur 0.

Commutateur EXT FUEL TRANS : Sur NORM le réservoir largable ventral est vidé avant les réservoirs largables d'aile. SUR WING FIRST, l'inverse se produit. Ce commutateur doit être en principe laissé sur NORM. Il n'est utilisé qu'en cas de mauvais fonctionnement des réservoirs largables d'aile.

Les gouvernes et surfaces mobiles

Rappel de vocabulaire : tangage, roulis, lacet

- Le tangage (*pitch*, en anglais) est le mouvement de l'avion quand son nez monte ou descend.
- Le roulis (*roll*, en anglais) est le mouvement de l'avion lorsqu'il s'incline sur une aile.
- Le lacet (*yaw*, en anglais) est le mouvement de l'avion lorsque son nez glisse horizontalement vers la droite ou vers la gauche.

Les gouvernes

Les gouvernes du F-16 sont relativement simples :

- À l'arrière se trouvent deux empennages horizontaux monoblocs (*stabilators*, en anglais). Ils assurent à la fois le contrôle en tangage, lorsqu'ils se braquent symétriquement, et une partie du contrôle en roulis, lorsqu'ils se braquent asymétriquement.
- Sur le bord de fuite de l'aile se trouvent deux grands flaperons (*Trailing Edge Flaps*, en anglais, ou TEF) qui peuvent se braquer asymétriquement pour agir comme des ailerons et compléter l'action en roulis des empennages horizontaux.
- La gouverne de direction (*rudder*, en anglais) assure le contrôle en lacet.

Les becs de bord d'attaque

En plus des gouvernes, le F-16 dispose sur le bord d'attaque des ailes de deux grands becs, appelés *Leading Edge Flaps* en anglais, ou LEF.

Ceux-ci se déploient symétriquement en fonction de l'incidence et du mach, pour aider à la stabilité de l'appareil.

Les LEF fonctionnent de manière automatique : leur action est complètement transparente pour le pilote, qui n'a pas à s'en soucier sauf panne.

Les volets

Le F-16 ne dispose pas au sens propre de volets sur le bord de fuite des ailes. Ils disposent de flaperons (contraction en anglais de *flap*, qui signifie volet, et *aileron*). Comme vu plus haut, ceux-ci peuvent se braquer asymétriquement pour contrôler l'avion en roulis. Mais lorsque le train d'atterrissage est sorti, ils se déploient cette fois symétriquement, agissant alors comme des volets plutôt que comme des ailerons, c'est-à-dire qu'ils servent alors à donner à l'avion davantage de portance plutôt qu'à le contrôler en roulis.

Comme pour les bords de bord d'attaque, leur fonctionnement est complètement automatique. Le pilote n'a donc ordinairement pas non plus à s'en soucier.

Il existe cependant, sur la banquette gauche, une commande d'extension des flaperons. Il s'agit d'une commande de secours en cas de panne, et en cas de panne uniquement. Il est inutile (voire parfois dangereux) d'utiliser cette commande d'extension des volets pour sortir ou rentrer les volets manuellement comme sur un avion classique.



Le manche et le palonnier

Le manche

Le manche du F-16 sert à piloter l'avion en tangage et en roulis, comme un manche classique. C'est à peu près là cependant que s'arrête toute comparaison avec un manche classique. En effet, celui du F-16 possède plusieurs particularités :

- Il s'agit d'un minimanche, installé sous la main droite du pilote. Les plus observateurs auront d'ailleurs remarqué que c'est pour cette raison que tous les commutateurs utiles pendant le vol se trouvent sur la partie gauche du cockpit, afin que le pilote n'ait pas à ôter la main du manche pour les utiliser.
- Il s'agit d'un capteur de pression. Le manche est quasiment fixe, ne pouvant bouger que de quelques millimètres. Mais ce mouvement n'envoie aucune demande aux commandes de vol : il n'existe que pour faciliter la prise en main du manche. La demande en tangage et en roulis est proportionnelle à la force que le pilote exerce sur le manche, et à rien d'autre.
- Il ne contrôle pas directement les gouvernes. Lorsque le pilote agit sur le manche, il effectue une demande de mouvement en tangage ou en roulis, mais ce sont les commandes de vol électriques (CDVE) qui décident ensuite du mouvement effectif qu'auront les gouvernes, qui peut être parfois contre-intuitif. Peu importe cependant pour le pilote, c'est tout à fait transparent pour lui en vol.

Les pilotes virtuels peuvent trouver dans le commerce plusieurs joysticks qui sont des répliques plus ou moins fidèles du manche réel : le Warthog de Thrustmaster, le Cougar du même constructeur (qui n'est plus fabriqué) et le Fighterstick de CH.

Aucun d'entre eux ne comporte cependant de capteurs de pression. Il n'existe qu'un seul joystick fonctionnant sur ce principe, à savoir le X-65 de Saitek, qui n'est plus fabriqué.

Les possesseurs de Warthog ou de Cougar pourront cependant acquérir des *mods* pour leurs joysticks, permettant de les modifier pour qu'ils deviennent fixes et réagissent à la pression, comme le manche réel du F-16.

Pour les autres, pas de panique : les joysticks traditionnels fonctionnent très bien dans Falcon 4.0. Le jeu interprétera simplement le mouvement de votre joystick d'une façon classique pour le traduire en demande de tangage ou de roulis.

Le palonnier

Le palonnier du F-16 sert à commander l'avion en lacet (en poussant sur les pédales), en l'air comme au sol, ainsi qu'à utiliser les freins (en inclinant les pédales). Tout comme avec le manche, c'est à peu près là que cesse toute comparaison avec un palonnier classique :

- Le palonnier est lui aussi un capteur de pression. Pas de paniquer là aussi : votre palonnier traditionnel conviendra très bien sur Falcon 4.0 – du moins pour le peu que vous aurez à vous en servir.
- Il ne contrôle pas non plus la gouverne de direction en vol. Le palonnier permet d'envoyer une demande de mouvement en lacet, mais ensuite les CDVE vont manoeuvrer les gouvernes comme elles l'entendent pour tâcher de réaliser la demande du pilote et, là aussi, ce que font les gouvernes peut être contre-intuitif.
- Surtout, le palonnier ne sert quasiment jamais en vol. En effet, sur un avion classique, une fois en vol le palonnier est utilisé essentiellement pour maintenir « la bille au milieu », c'est-à-dire faire en sorte que le nez de l'avion ne dérape jamais sur le côté. Or les CDVE du F-16 font ça automatiquement, sans action du pilote.

La compensation (le trim)

L'avion peut être compensé (on dit aussi « trimmé ») sur les trois axes, c'est-à-dire qu'on peut donner un ordre constant à l'avion sans pour autant toucher ni au manche ni au palonnier.

Par exemple, si sous une aile se trouve des charges plus lourdes que sous l'autre aile, l'avion va s'incliner continûment sur l'aile la plus chargée. Pour éviter d'avoir à mettre constamment du manche sur le côté pour compenser manuellement cette inclinaison, on utilisera le trim de roulis, ce qui aura exactement le même effet que de mettre du manche. L'avion sera stabilisé en roulis et le pilote pourra alors cesser d'exercer une pression sur le manche.

L'avion peut être trimmé en tangage et en roulis de deux manières, selon que le sélecteur TRIM/AP DISC situé sur le panneau MANUAL TRIM de la banquette gauche se trouve sur la position NORM ou DISC :

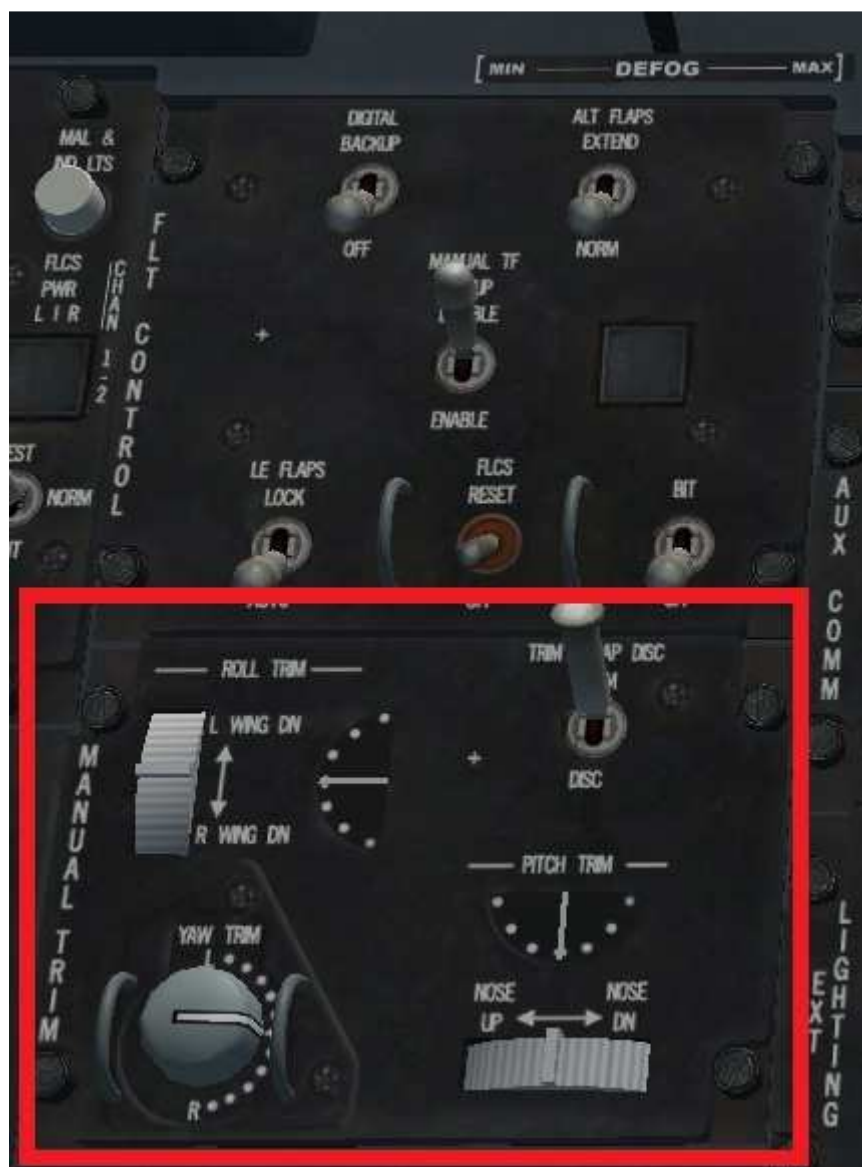
- En position NORM, l'avion est trimmé en tangage et en lacet grâce au « chapeau chinois » à quatre positions qui se trouve sur le manche, sous le pouce du pilote. Les raccourcis-claviers par défaut sont [Ctrl + flèche haute] et [Ctrl + flèche basse] en tangage, et [Ctrl + flèche gauche] et [Ctrl + flèche droite] en roulis.

- En position DISC, le chapeau du manche est désactivé. L'avion est trimmé en tangage et en roulis grâce aux roulettes PITCH et ROLL du panneau MANUAL TRIM.

Dans les deux cas, les cadrans situés à côté des deux roulettes permettent de connaître immédiatement l'ampleur de la compensation réalisée.

Pour trimmer l'avion en lacet, une seule commande existe : le bouton rotatif YAW TRIM du panneau MANUAL TRIM, qui est toujours actif.

Les raccourcis-claviers par défaut sont [Ctrl + Alt + F9] et [Ctrl + Alt + F10].



Le panneau MANUAL TRIM, sur la banquette gauche.

Notez que comme le manche et le palonnier, les commandes de trim n'ont aucun lien direct avec les gouvernes. Les trims ont simplement pour effet de créer une demande permanente de manœuvre, tout comme si le pilote maintenait une pression constante au manche ou au palonnier.

Par ailleurs, si vous utiliserez sans doute régulièrement le trim en roulis, vous vous en servirez probablement assez peu en tangage et en lacet.

Les aérofreins

Le F-16 est doté de deux paires d'aérofreins, situés à l'arrière de part et d'autre de la queue.

Leur ouverture est commandée par une glissière à trois positions, située sous le pouce du pilote sur la manette des gaz. L'ouverture peut être graduelle : les aérofreins du F-16 ne fonctionnent pas en « tout ouvert » ou « tout sorti », comme sur d'autres appareils.

Le pilote tire la glissière en arrière pour ouvrir les aérofreins, et la relâche pour arrêter le mouvement (la glissière revient au centre automatiquement). S'il veut fermer les aérofreins, il pousse simplement la glissière en avant, qui va rester dans cette position (pas de retour au centre dans ce cas).

Ceci a son importance, puisque les aérofreins mettent environ 2 secondes pour s'ouvrir complètement, mais presque 7 secondes pour se fermer. Or si votre manette de jeu ne dispose pas d'une glissière similaire à celle de la manette réelle, vous devrez donc par défaut laisser votre doigt ces 7 secondes sur le bouton que vous avez assigné à la fermeture pour que les aérofreins soient complètement fermés. Il est donc fortement conseillé soit d'utiliser la fonction de bascule (un clic ouvre ou ferme complètement les aérofreins) soit de faire un peu de programmation de votre manette.

Les raccourcis-claviers par défaut sont [Maj + B] pour la sortie, [Ctrl + B] pour la rentrée, et [B] pour la bascule.



Les aérofreins complètement déployés, à l'arrière de l'appareil.

Indication de l'ouverture des aérofreins :

Même si le pilote dispose de la possibilité d'ouvrir graduellement les aérofreins, l'indicateur dans le cockpit (banquette auxiliaire gauche) n'affiche, lui, que deux états possibles : un état indique que les aérofreins sont fermés (état CLOSED), et l'autre indique qu'ils sont ouverts (points affichés), mais sans précision sur le degré d'ouverture.



Ici, les aérofreins sont fermés.



Ici, les aérofreins sont ouverts. Mais il est impossible de savoir grâce à cet indicateur à quel degré ils sont ouverts. Ils peuvent très bien l'être à peine comme totalement. Et, oui, c'est ainsi que fonctionne l'indicateur en vrai, ce n'est pas spécifique à Falcon 4.0.

L'indicateur est par ailleurs assez petit et, contrairement à une idée répandue parmi les amateurs de simulation, le déploiement des aérofreins ne crée pas de bruit facilement identifiable par le pilote. En outre, leur sortie n'a que très peu d'effet sur la trajectoire de l'avion.

Bref, vous vous en doutez, il peut rapidement arriver de voler avec les aérofreins déployés sans le savoir, si on a manqué d'attention !

Exploration du domaine de vol

Avant même de voler pour la première fois sur un chasseur, un pilote réel doit beaucoup anticiper son comportement, par la lecture attentive et répétée des manuels et par des exercices sur simulateurs. Une fois aux commandes de l'avion, il doit ensuite en explorer le domaine de vol progressivement, d'une manière méthodique, pour maîtriser pas à pas l'appareil sans risquer un accident qui peut être très rapidement fatal.

Un pilote virtuel peut en revanche aller naturellement au rythme qui lui plaît sans craindre pour sa vie. Manipulez donc votre avion comme bon vous semble pour le découvrir, mettez-le dans toutes les situations possibles, et regardez ce qui se passe ! C'est évidemment aussi une excellente façon d'apprendre à le maîtriser.

Cette partie du document n'est donc pas un guide d'exercices. Utilisez-le simplement comme un ensemble de suggestions sur les « coins » du domaine de vol et des CDVE que vous pourriez aller un peu voir dans votre découverte du maniement de l'appareil.

NB : Idéalement, ces exercices devraient être réalisés avec un avion lisse, c'est-à-dire n'emportant aucune charge, hormis éventuellement des missiles en bouts d'ailes, et avec le train rentré. Ainsi vous n'aurez à vous soucier que de peu de limites.

Exploration en vitesse

Comme tout avion, le F-16 est plus ou moins à son aise, et plus ou moins agile, selon la vitesse. Amenez-le à différentes vitesses et manœuvrez pour voir comment l'appareil se comporte.

Vous observerez ainsi que l'appareil ne gagne ainsi son plein potentiel qu'au-delà de 300 kts (CAS) environ. C'est là qu'il pourra donner les plus grands taux de roulis ou les plus grands facteurs de charge. Si vous laissez la vitesse descendre, entre 200 kts et 300 kts l'avion reste sûr mais semble plus mou, moins réactif. En dessous de 200 kts l'avion devient même rapidement délicat à piloter.

C'est pourquoi, d'une manière générale on ne vole jamais en dessous de 300 kts hors de l'approche pour l'atterrissage. Si vous venez de l'aviation de loisir, virtuel ou réel, ça peut vous paraître rapide, mais ça ne l'est pas en aviation de chasse !

Par ailleurs, les deux alarmes liées à la vitesse se déclenchent précisément en dessous de 200 kts.

Alarme à basse vitesse :

Train rentré, l'alarme sonore basse vitesse (un son continu) se déclenche lorsque l'avion a une assiette comprise entre $+45^\circ$ et $+90^\circ$ pour une vitesse comprise entre 100 et 200 kts. Comprendre que plus le nez de l'avion est haut, et plus la vitesse en dessous laquelle se déclenche l'alarme basse vitesse est élevée. (Train sorti ou flaperons forcés sortis, l'alarme sonore basse vitesse se déclenche lorsque l'incidence atteint ou dépasse 15°).

Alarme de configuration du train :

L'alarme sonore de configuration du train d'atterrissage (trois bips rapprochés, répétés) se déclenche lorsque l'avion vole à moins de 190 kts, pour moins de 10 000 ft d'altitude barométrique et au moins un léger taux de descente (plus de 250 pieds/minute). Par ailleurs, le voyant d'alarme TO/LDG CONFIG s'allume sur la casquette de droite.



Le voyant TO/LDG CONFIG allumé sur la casquette droite.

Passage de la vitesse du son : Le passage du mur du son n'est pas perceptible par le pilote. Ne soyez donc pas étonné si le seul indice de ce passage du mur du son est donné par les instruments.

Cela signifie par ailleurs que respecter les limites de vitesse de l'avion qui sont exprimées en point de Mach ne peut pas se faire « aux fesses ». Vous devrez apprendre à surveiller votre machmètre du coin de l'œil.

Vitesse de décrochage en palier : La masse d'un chasseur peut varier très grandement. Cela signifie que la vitesse pour laquelle l'avion va décrocher, c'est-à-dire la vitesse en dessous de laquelle ses ailes ne pourront plus le porter, est également très variable, contrairement à ce qui serait le cas pour un avion de tourisme léger. L'écart est d'une quarantaine de nœuds. Mais considérez simplement qu'en dessous de 170 kts en palier vous risquez à tout moment de décrocher.

Récupérer le décrochage : Lorsque votre avion parvient à la vitesse de décrochage, ou que l'alarme basse vitesse se déclenche, lâchez simplement les commandes, et laissez l'avion faire.

Ou au contraire forcez, pour voir ce qui se produit, profitant de ce que vous êtes dans une simulation !

Exploration en altitude

Amenez l'avion à différentes altitudes, et regardez ce qui se passe.

Vous observerez que même en laissant la manette en avant, la vitesse corrigée (CAS) que l'appareil peut atteindre semble décroître au fur et à mesure que vous grimpez. C'est un phénomène normal, commun à tous les avions, dû au fait que la densité de l'air diminue avec l'altitude (si vous avez un doute, allez relire le document de l'EDC « Instruments et unités du vol » pour vérifier ce qu'est la vitesse corrigée).

Ça ne veut pas pour autant dire que vous allez moins vite ! La vitesse vraie de l'appareil, elle, continuera d'augmenter, comme d'ailleurs le point de Mach.

Cependant, la vitesse corrigée maximale diminuant avec l'altitude, l'agilité de votre appareil décroît elle aussi. Au point qu'à très haute altitude vous pouvez être largement supersonique tout en ayant une vitesse corrigée si petite que vous ne pourrez plus manœuvrer l'avion que très doucement.

Ce phénomène sera d'autant plus accentué que l'appareil aura des emports importants, qui créeront donc plus de traînée, et diminueront encore la vitesse corrigée atteignable. De sorte qu'il sera plus difficile de voler haut avec des emports qui traînent beaucoup.

Ainsi, selon le chargement, en mission d'attaque au sol vous croiserez habituellement entre 20 et 25 000 pieds, tandis qu'en mission air-air il sera parfois possible de croiser jusqu'à 40 000 pieds.

Exploration en incidence en palier

Vous observerez qu'en palier, ou à assiette constante, plus vous volez vite et plus l'incidence diminue, et plus vous volez lentement et plus l'incidence augmente.

Limite en incidence :

Si vous ralentissez suffisamment, l'incidence augmentera peu à peu jusqu'à atteindre sa valeur limite. Si vous ralentissez encore, l'avion ne maintiendra alors plus le palier : le nez s'enfoncera doucement.

Ce qu'il faut comprendre est assez simple : comme tout avion, le F-16 voit sa portance croître au fur et à mesure que l'incidence croît, mais à partir d'un certain point se produit l'inverse : la portance s'effondre. L'avion peut alors décrocher. Sur le F-16, cependant, si le pilote ne tâche pas de les torturer, les commandes de vol électriques (CDVE) limitent automatiquement l'incidence pour empêcher un décrochage violent.

Vous noterez par ailleurs que lorsque vous lâchez le manche en mode croisière avec plus de 15° d'incidence, les CDVE vont « contre-braquer » afin de ramener l'incidence en dessous de 15°.

Augmentation de la traînée avec l'incidence :

Essayez également d'atteindre différentes valeurs d'incidence en palier, puis d'accélérer.

Vous observez que plus l'incidence est élevée et plus l'avion semble avoir du mal à repartir. C'est logique : une augmentation de l'incidence a pour effet une augmentation de la portance, mais aussi une augmentation de la traînée, au point que lorsque l'incidence devient vraiment élevée réaccélérer prend beaucoup de temps, même avec la postcombustion.

Effet de l'incidence sur le roulis et le lacet :

Une fois que vous êtes à l'aise avec la tenue du palier à forte incidence, tâchez de mettre du roulis ou du lacet avec le manche et le palonnier au fur et à mesure que l'incidence augmente. Vous constaterez que vous perdez graduellement du taux de roulis et de l'autorité en lacet.

Exploration en évolution

Mise en virage :

Pour mettre l'avion en virage, il suffit simplement de pousser le manche sur le côté, pour donner à l'avion l'inclinaison voulue. On cadence ensuite, c'est-à-dire qu'on tire sur le manche pour virer comme désiré.

Dans le cas particulier d'un virage à altitude constante, vous constaterez que plus l'avion est incliné et plus vous devez tirer sur le manche pour tenir l'altitude. Ce qui entraîne que plus l'avion est incliné, et plus il faut aller chercher un facteur de charge important pour tenir l'altitude.

Entraînez-vous, en essayant des manœuvres de plus en plus rapides et de plus en plus serrées.

Deux choses importantes sont à noter :

- À aucun moment vous n'avez besoin du palonnier pour manœuvrer. C'est fondamental sur le F-16 : l'avion se débrouille tout seul pour « mettre du pied », automatiquement, sans action du pilote. Vous n'avez donc jamais à vous en soucier !
- Vous verrez que lorsque vous inclinez l'avion, ou réalisez même des tonneaux complets, l'avion ne roule pas autour de son nez, mais roule en réalité autour de son vecteur-vitesse : si vous regardez dans le HUD vous aurez l'impression que l'avion roule en prenant le FPM pour centre du mouvement circulaire. Eh bien c'est exactement ce qu'il fait !

Tenue du virage :

Commencez des virages à différentes vitesses, en tirant à chaque fois plus ou moins fort sur le manche.

Vous pourrez ainsi voir comment l'incidence et le facteur de charge varient selon la vitesse à laquelle se trouve l'avion et la force que vous mettez à tirer sur le manche.

Vous pourrez observer que l'avion reste très protégé par les commandes de vol électriques : si vous ne faites pas en même temps l'andouille en roulis et en lacet, il est impossible de décrocher en tirant trop fort sur le manche, quelle que soit la vitesse, contrairement à ce qui se passe dans un avion classique. En effet, les commandes de vol électriques vous empêcheront d'atteindre des valeurs d'incidence et de facteur de charge capables de mettre l'avion en danger.

Caractéristiques générales des commandes de vol

Elles sont électriques !

Dès la fin de la Seconde Guerre Mondiale, il est apparu que l'élargissement du domaine de vol des chasseurs rendait leur pilotage de plus en plus difficile à l'aide des commandes de vol directes classiques, où le manche et le palonnier agissent directement sur les gouvernes par l'intermédiaire de câbles.

Graduellement, on a donc ajouté des assistances hydrauliques pour que le mouvement des gouvernes ne dépende plus de la seule force du pilote, on a ajouté des retours d'effort pour que le pilote ait l'impression de ressentir la résistance aérodynamique au mouvement des gouvernes, on a modifié la façon dont le mouvement du manche est transmis aux gouvernes pour que le pilote puisse utiliser le manche de la même manière quelle que soit la vitesse, on a ajouté des limites de mouvement aux gouvernes pour éviter des braquages dangereux dans certaines configurations, on a ajouté un système pour « doser et mélanger » les ordres en tangage et en roulis lorsque c'étaient les mêmes gouvernes qui assuraient l'un et l'autre, on a ajouté un couplage des gouvernes de roulis et de lacet, on a ajouté des amortissements sur tous les axes, on a ajouté un trim automatique, etc...

Bref, arrivé à la fin des années 60 les commandes de vol à transmission hydromécanique étaient parvenues à une grande sophistication, au prix d'une complexité de plus en plus importante.

Cependant, les grands progrès de l'électronique ont alors permis de penser qu'on pourrait conserver et améliorer toutes les fonctions évoluées des commandes de vol avec un système considérablement simplifié, en faisant en sorte que le manche et le palonnier ne soient plus du tout connectés mécaniquement aux gouvernes. Les gouvernes seraient en fait manœuvrées par un ordinateur, en fonction des informations reçues des capteurs équipant l'avion et des « demandes » faites par le pilote via le manche et le palonnier. Les commandes de vol électriques (CDVE) étaient nées !

On pouvait ainsi avoir des commandes de vol très élaborées, avec un système moins lourd et moins complexe que les commandes de vol hydromécaniques jusque-là habituelles.

Les CDVE permettaient également de simplifier grandement la réalisation d'une seconde avancée : la conception d'un avion instable, donc a priori plus agile.

En effet, les avions traditionnels sont tous conçus pour être stables, du fait que la maîtrise d'un avion instable exige des mouvements de gouvernes fréquents et précis, qu'un pilote humain ne peut pas tenir en permanence. Un humain, non... mais un ordinateur oui ! Il « suffisait » de demander à l'ordinateur d'ordonner aux gouvernes ces mouvements nécessaires à la maîtrise de l'instabilité. Le pilote n'aurait plus à s'en occuper, et l'avion pourrait être plus agile.

C'est ainsi qu'au début des années 70 les ingénieurs de General Dynamics ont intégré ces avancées à la conception du F-16, qui a été le premier avion de combat à être à la fois équipé de commandes de vol électriques sans secours mécanique et naturellement instable dans une partie de son domaine de vol.

Elles facilitent le pilotage

Quel que soit le mode de fonctionnement choisi, les commandes de vol électriques du F-16 rendent le pilotage plus facile par rapport à un appareil traditionnel :

- L'avion est très stable.
Les CDVE maîtrisent l'instabilité du F-16 de telle manière que le pilote n'a jamais à s'en soucier. De plus, les mouvements sont amortis sur tous les axes, pour éviter les mouvements trop brusques ainsi que les mouvements ou oscillations parasites. Enfin en cas de décrochage, ou de décrochage imminent, les CDVE « récupèrent » elles-mêmes l'avion la plupart du temps si le pilote cesse d'agir sur les commandes.
- Les réponses au manche et au palonnier sont lissées.
La réponse de l'avion aux sollicitations du manche et du palonnier est lissée sur toute la plage de vitesse et d'indice, afin qu'elle reste autant que possible constante, donc facilement prévisible pour le pilote.
- Le pilote n'utilise que très peu le trim en tangage.
Les CDVE maintiennent la trajectoire ou l'attitude quelle que soit l'évolution de la vitesse. Le trim de tangage n'est utile, sans être pour autant nécessaire, que dans des phases circonscrites du vol (notamment à l'atterrissage).

- Le pilote n'utilise plus le palonnier pour manœuvrer.
La fonction ARI (*Aileron-Rudder Interconnect*) couple la gouverne de direction et les gouvernes de roulis, de telle façon que lorsque le pilote demande du roulis la gouverne de direction se braque automatiquement pour empêcher tout dérapage de l'avion en lacet. Si vous avez déjà piloté, en vrai ou en simulation, cela signifie en clair que l'avion garde de lui-même la bille au milieu, sans que le pilote n'ait jamais à utiliser le palonnier. Si vous n'avez encore jamais piloté, cela signifie simplement qu'une fois en l'air l'avion se pilote uniquement au manche, sans utiliser les pédales. Ce qu'il faut retenir absolument dans les deux cas, c'est qu'une fois en l'air le pilote ne doit pas utiliser le palonnier pour incliner ou faire virer l'avion. Il ne doit utiliser que le manche, et absolument que le manche. L'avion se débrouille très bien tout seul pour le reste ! NB : La fonction ARI est toutefois inactive au sol et lorsque les roues touchent à l'atterrissage, afin de permettre au pilote de pouvoir agir séparément sur le manche et le palonnier (pour être précis, l'ARI se désactive dès lors que les roues du train principal dépassent 60 kts).
- L'avion roule autour de son vecteur-vitesse, et non autour de son axe longitudinal.
Ainsi, en vol lorsque vous inclinez l'avion vous observerez facilement dans le HUD qu'il semble tourner autour du FPM (vecteur-vitesse) plutôt qu'autour de la croix du canon (axe longitudinal).
- L'avion compense automatiquement le dérapage dû au tir du canon.
Le canon se trouve sur le côté de l'appareil, de sorte que lorsqu'il fait feu cela induit en principe un mouvement en lacet de l'avion, mais les gouvernes de direction et de roulis agissent en fait automatiquement pour compenser ce mouvement et « garder l'avion droit ».

Elles limitent l'avion

Quel que soit le mode de fonctionnement choisi, les commandes de vol sont conçues pour épargner le pilote et pour éviter, autant que possible, une perte de contrôle de l'appareil.

- Le facteur de charge maximal atteignable est toujours limité à 9G (pour les F-16C et F-16D) ou 9,3G (pour les F-16A et F-16B), *quelles que soient les circonstances.*

- La montée en facteur de charge est limitée pour éviter au pilote une perte de conscience immédiate.
- L'incidence est toujours limitée pour ne pas dépasser une valeur maximale.
- Le taux de roulis est toujours limité pour ne pas dépasser une valeur maximale, tout comme est limitée l'accélération vers sa valeur maximale.
- L'autorité du palonnier est limitée, jusqu'à être nulle (enfoncer les pédales n'a plus aucun effet apparent), lorsque l'avion dépasse certaines valeurs de taux de roulis ou d'incidence.

Elles disposent de deux grands modes de fonctionnement

Il est rapidement apparu lors des essais des prototypes du F-16 que l'avion ne pourrait pas voler avec les mêmes limites dans toutes les phases de vol. En effet, si les limites étaient hautes, l'avion était très agile mais difficile à piloter à l'atterrissage et au décollage, et en outre pouvait décrocher et partir en vrille trop facilement, tandis que si les limites étaient basses, l'avion était beaucoup plus sûr mais perdait considérablement de son agilité.

Par ailleurs, le comportement idéal en tangage à l'atterrissage ou au décollage ne correspondait pas au comportement idéal en tangage au combat ou en croisière.

Pour ces raisons, les commandes de vol vont réagir selon deux modes de fonctionnement différents :

- Le Mode croisière (*cruise gains*, en anglais) :
C'est le mode utilisé en croisière et au combat, dans lequel l'avion peut donner toute son agilité.
- Le Mode atterrissage et décollage (*take off and landing gains*) :
Ce mode est utilisé pour l'atterrissage et le décollage ainsi que lors du ravitaillement en vol. Il n'est pas optimisé pour l'agilité, mais pour conférer à l'appareil un comportement plus « naturel » dans ces phases.

Notez que le pilote n'a habituellement pas à se soucier d'activer l'un ou l'autre de ces modes, sauf panne. Ils s'activeront d'eux-mêmes.

En plus de ces deux modes, le F-16 peut voler selon deux modes de secours : en mode gains secours (*standby gains*), qui devient actif lorsque les capteurs aérodynamiques sont défaillants, ou en mode DBU (Digital Back Up) qui est un mode aux lois simplifiées activable en cas de défaillance logicielle (sur les F-16C et F-16D des blocks 40 à 52 uniquement). Aucun de ces deux modes de secours n'est disponible dans Falcon 4.0.

Ce qu'elles ne font pas

Vous avez déjà compris que les commandes de vol étaient très élaborées, mais vous ne devez pas pour autant en garder l'impression qu'elles feront tout à votre place. Elles vous simplifient la tâche, certes, mais vous devez toujours piloter, sous peine qu'ils vous arrivent de gros ennuis ! Ainsi :

- Vous pouvez toujours tout casser.
Rien ne vous empêche de tirer trop de G quand l'avion n'est pas lisse, de voler trop vite, de voler trop haut ou de percuter la planète.
- L'avion peut toujours décrocher.
Les commandes de vols *limitent* la possibilité d'un décrochage conduisant à une vrille, mais ne l'empêcheront pas si vous choisissez de voler trop lentement ou trop agressivement (en particulier si vous faites n'importe quoi avec le sélecteur STORES CONFIG ou avec le palonnier, ou encore que vous volez contre les limiteurs à basse vitesse). C'est toujours un avion et pas un vaisseau spatial.
- L'avion ne se trimme pas tout seul.
Il n'y a pas de « trim automatique » en roulis ou en lacet. Si votre avion a des emports asymétriques ou est équipé de nacelles sous le nez, vous devrez trimmer l'avion manuellement. Il peut également être utile (mais pas nécessaire) de trimmer l'avion en tangage en phases de montée ou descentes longues ou, surtout, pour conserver l'incidence d'approche à l'atterrissage.

Caractéristiques particulières en mode croisière

Le mode croisière est le mode de fonctionnement des CDVE en croisière et au combat. Il permet à l'avion de donner tout son potentiel.

Il est actif tant que l'avion n'est pas passé dans un mode de secours, ni tant que l'avion n'est pas passé en mode atterrissage et décollage (c'est-à-dire tant que le train n'est pas sorti, ou bien que la trappe de ravitaillement n'est pas ouverte et la vitesse inférieure à 400 KCAS, ou bien que l'extension des flaperon n'a pas été forcée et la vitesse inférieure à 400 KCAS). Cela signifie que le pilote n'a habituellement pas à se soucier de l'activer : le mode sera actif de lui-même quand le train d'atterrissage sera rentré et la trappe de ravitaillement en vol fermée.

Sélecteur STORES CONFIG

En mode croisière, l'appareil sera plus ou moins limité, et donc plus ou moins agile, selon que le sélecteur STORES CONFIG est positionné sur CAT I (plus grande agilité) ou CAT III (moins agilité, mais meilleure protection contre le décrochage). Le changement est presque transparent pour le pilote : il aura seulement l'impression que l'avion est plus ou moins « mou », mais le comportement global de l'avion restera très similaire.



Emplacement du commutateur, sur la banquette auxiliaire gauche.

D'une manière générale, le sélecteur est en position CAT I lorsque l'avion est léger et en configuration de combat air-air, et en position CAT III le reste du temps (ce qui signifie d'ailleurs que vous passerez sans doute le plus clair de votre temps en mission avec l'avion en CAT III).

L'avion **PEUT** voler en CAT I quand :

- Il n'emporte rien sous les ailes, ou seulement des missiles air-air ou des réservoirs largables *vides*.
- Il emporte sous les ailes seulement des réservoirs largables *non vides* et des missiles air-air, à condition qu'il n'y a pas plus de 3 missiles AIM-120 parmi eux.

L'avion **DOIT** voler en CAT III, sous peine de favoriser une possible perte de contrôle :

- Dès lors qu'il emporte au moins une charge air-sol.
- Dès lors qu'il emporte des bidons d'ailes non vides et plus de 3 missiles AIM-120.

Notez que si la position du sélecteur ne correspond pas aux emports, un des voyants d'avertissement du panneau d'avertissement (*caution panel*) s'allumera pour vous le signaler. Ce voyant est connecté au SMS (*stores management system*) qui monitoré les emports de l'appareil, de sorte aussi que si vous larguez des emports le voyant s'allumera si cela a pour effet de vous passer dans une configuration CAT I.



Le voyant STORES CONFIG allumé sur le panneau d'avertissement. Le voyant s'éteindra si le pilot bascule le commutateur STORES CONFIG.

Comportement en tangage

Demande au manche = demande en G

En mode croisière, en tangage le manche est en quelque sorte un outil de demande de facteur de charge, c'est-à-dire que la pression appliquée au manche (donc en fait le mouvement appliqué au joystick, pour la plupart des pilotes virtuels) est traduite par les commandes de vol en une demande d'un nombre proportionnel de G.

Si le pilote tire à fond, il demande ainsi à l'appareil de donner le maximum possible de G, soit 9G pour un F-16C ou un F-16D (9,3G pour un F-16A ou F-16B). S'il tire le manche à mi-course, il demande 4,5G. Notez que si la vitesse est insuffisante, il est néanmoins possible que l'avion ne soit pas capable d'atteindre le facteur de charge demandé par le pilote. Par exemple, si l'avion se trouve dans une situation où il ne peut pas donner aérodynamiquement plus de 5G, alors même en tirant le manche à fond le pilote n'obtiendra pas plus de 5G de l'appareil. Le résultat final sera donc le même que le pilote tire à demander 9G ou qu'il tire à demander 5G.

Pas de demande au manche = 1G

Si le pilote n'applique aucune pression en tangage, l'avion maintient constamment un facteur de charge de 1G.

C'est cette fonction qui fait souvent dire que le F-16 dispose d'un « trim automatique », en tangage, puisqu'elle a pour effet qu'il n'est jamais nécessaire de trimmer l'avion lorsqu'il vole en palier. Autrement dit, si vous posez le FPM sur la barre d'horizon, il y restera tant que vous ne faites pas voler l'avion trop lentement pour que ses ailes arrêtent de le porter.

Ce n'est cependant pas tout à fait un trim automatique, même si cela y ressemble en effet beaucoup. Maintenir 1G constant a ainsi deux effets notables pour le pilote : s'il « lâche » le manche en montée, l'assiette et la pente de l'avion auront tendance à augmenter « toutes seules », et plus le nez de l'avion sera haut et plus le mouvement sera prononcé. Par ailleurs, lorsque l'avion sera sur le dos le nez plongera vers le sol de manière assez prononcée et constante, sauf à ce que le pilote pousse de façon décidée sur le manche.

Limitation en incidence

En CAT I, l'incidence est limitée à 25° environ par les commandes de vol.

En CAT III, l'incidence est limitée à une valeur comprise entre 16° et 18° environ.

Limitation en G

En CAT I, tant que l'incidence est inférieure à 15° ne s'exerce que la limitation générale à +9G. En revanche, passé 15° plus l'incidence augmente et plus les G sont limités, jusqu'à ce que la limite descende à +1G lorsque l'avion atteint 25° environ. Autrement dit, même si le pilote tire sur le manche comme une grosse brute déchaînée, une fois passé 15° les CDVE autoriseront de moins en moins de G au fur et à mesure que l'incidence augmentera.

En CAT III, l'avion est essentiellement limité par l'aérodynamique. Attention : cela signifie que si la vitesse est suffisamment élevée, un facteur de charge important peut être atteint. Ainsi, à vitesse élevée l'avion pourra encore donner de +8G/+8,5G même en tirant le manche jusqu'à la limite d'incidence.

Tant en CAT I qu'en CAT III la limitation négative est de -3G au-dessus de 250 kts, et varie de -3G à 0 en dessous de 250 kts.

Comportement en roulis

Demande au manche = taux de roulis

En mode croisière, en roulis le manche est en quelque sorte un outil de demande de taux de roulis, c'est-à-dire que plus la demande du pilote est importante et plus le taux de roulis obtenu est important, jusqu'au taux de roulis maximal permis par les commandes de vol. Cela signifie également que l'appareil conserve la même inclinaison si aucune pression n'est appliquée.

Limitation du taux de roulis si tangage, incidence, ou vitesse faible

Le taux de roulis maximal atteignable en CAT I est d'environ 360°/s, et d'environ 215°/s en CAT III.

Cependant, pour éviter la perte de contrôle, tant en CAT I qu'en CAT III le pilote verra le taux de roulis maximal réduit s'il tire le manche en même temps, si l'avion a plus de 15° d'incidence, si la vitesse est faible ou enfin si la gouverne de direction est braquée de manière importante. Tous ces facteurs peuvent se cumuler, de sorte que le taux de roulis peut être réduit jusqu'à n'être que 25 % de son maximum théorique.

Comportement en lacet

Le palonnier commande le braquage de la gouverne de direction.

Cependant, pour éviter la perte de contrôle, l'autorité du palonnier est limitée de la manière suivante :

- En CAT I, l'autorité du palonnier est entière jusqu'à 14° d'incidence, puis décroît au fur et à mesure que l'incidence augmente jusqu'à être nulle à 26°.
- En CAT III, l'autorité décroît dès 3° jusqu'à être nulle à 15°.
- En CAT I comme en CAT III l'autorité du palonnier décroît également dès que le taux de roulis dépasse 20°/s, jusqu'à être nulle à partir de 40°/s. Ce qui doit inciter d'autant plus à ne pas mettre du pied lorsque vous inclinez l'avion : ça ne sert tout simplement à rien !

Caractéristiques particulières en mode atterrissage et décollage

Le mode atterrissage et décollage est utilisé... oui, au décollage et à l'atterrissage, tadam ! Il est en outre utilisé lors du ravitaillement en vol.

Le pilote n'a pas à se soucier de l'activer. Il est en effet automatiquement actif lorsque l'avion n'est pas passé en gains secours et qu'au moins l'une des conditions suivantes est vraie :

- Le train d'atterrissage est descendu.
- La trappe de ravitaillement en vol est ouverte et la vitesse est inférieure à 400 kts.
- Les flaperons sont en extension forcée et la vitesse est inférieure à 400 kts.

Comportement en tangage

Demande au manche = demande de taux de tangage

Le fonctionnement est un peu différent du mode croisière, puisque dans ce mode le manche est un outil de demande de taux de tangage. Autrement dit, plus le pilote tire ou pousse sur le manche, et plus il demande au nez de l'avion de monter ou descendre rapidement.

Cela signifie aussi que si le pilote lâche le manche, l'avion conserve l'assiette qui lui a été donnée.

Effort au-delà de 10° d'incidence

Au-delà de 10° d'incidence, si le pilote lâche le manche les CDVE vont manœuvrer les gouvernes pour ramener l'incidence à 10° maximum.

Si le pilote souhaite maintenir une incidence supérieure à 10° (cas d'une approche classique pour l'atterrissage), il devra donc soit maintenir une pression continue sur le manche soit trimmer l'avion en tangage (ce qui revient en fait au même).

Limitation en incidence

L'incidence est limitée à 21° environ. Il est cependant déconseillé de voler avec plus de 15° d'incidence, en particulier avec des charges importantes sous les ailes. L'alarme sonore basse vitesse se déclenchera d'ailleurs à partir de 15° d'incidence si le train est sorti.

Comportement en roulis

Demande au manche = taux de roulis

Tout comme en mode croisière, dans ce mode plus le pilote applique une pression élevée au manche, et plus il demande un taux de roulis important à l'appareil. La différence majeure avec le mode croisière est qu'en mode décollage et atterrissage le taux de roulis maximal atteignable est toujours le même (environ la moitié de celui possible en mode croisière), dans la limite des possibilités aérodynamiques de l'appareil. Il n'est pas réduit par d'autres facteurs.

Comportement en lacet

Contrairement au mode croisière, le mode atterrissage et décollage conserve au pilote l'autorité sur le palonnier. NB : Ce n'est pas une raison pour jouer avec !

Limites à observer par le pilote

Altitude à ne pas dépasser

Quoiqu'il dispose de la puissance nécessaire, l'appareil n'est pas certifié pour voler plus haut que 50 000 pieds. L'avionique en particulier n'est pas conçue pour y résister (et le pilote non plus, en cas de dépressurisation).

Vitesse à ne pas dépasser

Avion lisse ou n'emportant que des missiles air-air ou une nacelle CME :
800 KCAS ou Mach 2,05 (première des deux valeurs atteinte)

Si emport de réservoirs largables :
600 KCAS ou Mach 1,6 (première des deux valeurs atteinte)

Si emports d'armements air-sol :
généralement 550 KCAS ou Mach 0,95 (première des deux valeurs atteinte)

Si le train d'atterrissage est sorti :
300 KCAS ou Mach 0,65 (première des deux valeurs atteinte)

Si la trappe de ravitaillement en vol est ouverte :
400 KCAS ou Mach 0,85 (première des deux valeurs atteinte)

Facteur de charge positif à ne pas dépasser

Avion lisse ou n'emportant que des missiles air-air ou une nacelle CME :
9G (F-16C et F-16D) ou 9,3G (F-16A et F-16B)

Si emport de réservoirs largables non vides : 7G

Si emport de réservoirs largables vides : 8,5G avec des bidons d'ails, 9G avec seulement un bidon ventral

Si emports d'armements air-sol : *généralement* 5,5 G

Si le train d'atterrissage est sorti : 4G (2G en cas d'emports asymétriques)

Lors de la rentrée ou la sortie du train d'atterrissage : 2G

Noter que donner un taux de roulis conséquent à l'avion durant la manœuvre réduit le facteur de charge maximal acceptable.

Manœuvres ou idées malsaines

Beaucoup de manœuvres sont interdites sur l'avion réel, parce qu'elles peuvent se transformer rapidement en catastrophe. Cependant, vous volez en simulation, et vous pouvez donc aussi vous amuser à « tenter des trucs » que personne de sensé n'oserait faire en vrai, sous peine d'y laisser la vie.

Faites-vous plaisir ! Vous connaîtrez d'autant mieux les limites de l'appareil en manœuvre que vous les aurez dépassées, un luxe que les pilotes de l'avion réel ne peuvent évidemment guère se permettre.

La liste qui suit est donc simplement une suggestion non exhaustive des manœuvres ou idées plus ou moins amusantes pour aller au tas, et non une liste des manœuvres interdites :

- D'une manière générale, voler en CAT I alors que l'avion devrait être en CAT III.
- Demander un effort maximal aux commandes sur 2 ou 3 axes en même temps, en particulier à basse vitesse ou haute altitude.
- Essayer de manœuvrer agressivement alors que l'alarme sonore basse vitesse s'est déclenchée.
- Manipuler le commutateur ENG FEED pour laisser s'installer un déséquilibre entre les deux circuits de carburant internes.
- Voler avec le commutateur MPO sur on.
- À vitesse supersonique, passer le moteur en mode SEC et ramener la manette en dessous de la position MIL.
- Manœuvrer agressivement avec des emports très asymétriques.
- Enchaîner consécutivement les tonneaux au taux de roulis maximal.
- Avec le train sorti ou les flaperons abaissés, faire varier l'inclinaison de plus de 90° avec un taux de roulis important.
- Avec le train sorti ou les flaperons abaissés, prendre plus de 15° d'incidence avec des charges sous les ailes aux points 3,4, 6 et 7.
- Enchaîner les demandes maximales au palonnier d'un côté puis l'autre.
- N'importe quelle combinaison rigolote de tout ce qui précède.