

CHAPITRE

25



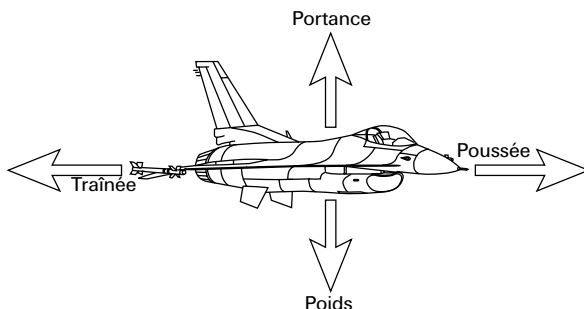
**AERODYNAMIQUE ET FACTEURS DE**  
***CHARGE (G)***

Avant d'entrer dans le vif du sujet, j'aimerais vous raconter une anecdote qui démontre l'importance de la théorie aérodynamique pour tout pilote de chasse. Un jour, alors que nous devions ramener des F-16 de Kunsan, en Corée du Sud, je me trouvais dans le camion de l'équipage avec mon responsable des opérations et nous roulions vers la zone d'embarquement. On l'avait surnommé « le loup-garou » car il était très laid, même aux yeux des pilotes de chasse. En jetant un coup d'œil vers le loup-garou, je me suis aperçu que de petites flèches étaient dessinées sur ses gants à côté de plusieurs inscriptions. Son gant droit portait une flèche orientée vers l'avant de la main et les mots « les maisons grandissent ». A côté de la flèche pointant vers l'arrière était inscrit « les maisons rapetissent ». Ce gant portait également des flèches gauche et droite et les mots « Un jet vole dans ce sens là » près de chaque flèche. Sur le gant gauche, deux autres flèches étaient dessinées. Près de la flèche pointant vers l'avant de la main était inscrit « le jet va plus vite » et près de celle orientée vers l'arrière était inscrit « le jet ralentit ». Lorsqu'il s'est aperçu que je regardais ses gants, il a haussé les épaules et dit « il m'arrive d'oublier parfois ». Humour de pilote de chasse... Dieu me pardonne, j'adore ça.

Tout ceci pour vous dire que les flèches et les inscriptions dessinées sur les gants du loup-garou résument tout ce qu'un pilote de chasse doit savoir dans le domaine de l'aérodynamique. Voilà à quoi se résument mes connaissances en la matière (et j'effectue actuellement environ 10 vols par mois à bord d'un F-16) ; je pense donc que vous n'avez pas besoin d'en savoir beaucoup plus. Toutefois, et avec votre permission, je vais mentionner quelques détails que le loup-garou n'a pu inscrire sur ses gants, faute de place.

## LES FORCES AUXQUELLES UN JET EST SOUMIS

Le pilote du Falcon doit connaître les forces de base qui s'exercent sur l'appareil pendant le vol. Ceci fait, il comprendra pourquoi c'est l'extrémité pointue de l'avion qui fend l'air en premier. La figure ci-dessous représente les forces qui s'exercent sur un F-16 et leur direction.





*La poussée* produite par le moteur de l'appareil projette l'avion à travers le ciel. Le fonctionnement d'un moteur de jet peut se résumer ainsi : « aspiration, compression, mélange, allumage et explosion ». Le moteur aspire l'air par l'entrée d'air, le comprime à l'intérieur du compresseur, puis le mélange au carburant dans la chambre de combustion et enflamme le mélange. L'air explose et est alors expulsé à l'arrière du jet par la tuyère. Au moment de l'expulsion, l'air se déplace à une vitesse fulgurante et entraîne les aubes de la turbine qui actionnent le compresseur et les pales de ventilation à l'avant du moteur. La tuyère à l'arrière du moteur se ferme lorsque vous poussez la manette des gaz vers le haut, ce qui a pour effet d'augmenter encore plus la vitesse de l'air et la poussée. Lorsque la postcombustion est enclenchée, le carburant jaillit littéralement à l'arrière du moteur, provoquant une explosion contrôlée dirigée vers la tuyère. La postcombustion provoque une hausse considérable de la poussée. La position de la manette des gaz contrôle la force de la poussée produite par le moteur en dosant la quantité de carburant brûlé dans la chambre de combustion. La position maximale de la manette des gaz est appelée Mil (puissance militaire) par les pilotes de chasse. Lorsque vous poussez la manette des gaz vers le haut, vous convertissez simplement une plus grande quantité de carburant en bruit et produisez une poussée (et une vitesse) plus importante. La postcombustion brûle également davantage de carburant.

*La portance* est une force produite par les ailes de l'appareil (et peut-être également par le fuselage) qui agit perpendiculairement à la trajectoire de vol, vers le haut. Un appareil moderne tel qu'un F-16 est équipé d'un fuselage en matériau composite afin de produire une portance maximale. Ceci a pour effet de diminuer le poids de l'appareil tout en permettant de réduire la taille des ailes.

*La traînée* agit à l'inverse de la poussée. Elle est créée essentiellement par deux facteurs et ralentit l'avion. Le premier est la forme aérodynamique de base. La poussée d'un objet dans l'air génère obligatoirement une *traînée*. Il est possible d'atténuer cette traînée en réduisant la taille de la coupe transversale frontale de l'appareil et en lui donnant une forme plus aérodynamique. Une fléchette, par exemple, a une forme aérodynamique parfaite et une traînée faible tandis qu'un parpaing n'a pas une forme aérodynamique et offre une traînée élevée. Le second facteur est la *traînée induite* générée par tout phénomène de portance. Il serait trop compliqué d'expliquer ici pourquoi la portance génère obligatoirement une traînée, mais sachez que les tangentes inverses et les nombres imaginaires ont un rôle à jouer. Comme je ne dispose que de peu de temps (et que je n'aime pas « étaler ma science »), gardez juste ce détail en tête. Lorsque vous effectuez un virage serré, vous augmentez la portance des ailes et, par là même, la traînée induite. La traînée induite s'exerce essentiellement à vitesse réduite, tandis que la traînée de forme se manifeste à grande vitesse.

Vous vous demandez peut-être pourquoi dans *Falcon 4.0* un virage serré entraîne une perte de vitesse. Sous l'action du facteur de charge (accélération causée par la rotation de l'appareil), le poids effectif de l'avion s'accroît et la portance doit augmenter pour compenser ce phénomène. Lorsque la portance augmente, la traînée induite augmente également, ce qui entraîne une perte de vitesse. Pour compenser ce phénomène, vous devez augmenter la poussée.

Malheureusement, la poussée d'un appareil est toujours limitée, ce qui restreint la force d'accélération disponible et par conséquent la manœuvrabilité. C'est la raison pour laquelle les avions de chasse modernes ont des rapports poussée-poids proches de 1/1. Les rapports poussée-poids élevés permettent une grande manœuvrabilité car ils propulsent un appareil au travers de la traînée induite.

*Le poids* est la dernière force qui agit sur un jet. Il tire l'appareil vers le sol. Le poids est un concept que même un pilote de chasse tel que le loup-garou peut comprendre.

## FACTEUR DE CHARGE (G)

Le facteur de charge (g) est la force qui agit sur le jet lorsque l'appareil vire. C'est aussi simple que ça. Le facteur de charge correspond à une accélération ou à la modification du vecteur vitesse du jet. Il peut être décrit mathématiquement, mais je préfère utiliser l'approche « loup-garou » pour tenter de vous faire comprendre le concept des g. Rappelez-vous simplement ceci : « Lorsque le jet vire, il génère des g. Si le virage est plus serré, le jet produit davantage de g ». C'est tout. Imaginez un seau d'eau au bout d'une corde. Si vous décrivez des cercles avec la corde, l'eau reste dans le seau sous l'effet du facteur de charge. Malheureusement, cette force a un effet débilisant sur le pilote. Tout comme pour l'eau dans le seau, une force s'exerce directement sur le dessus du jet. Dans le cockpit d'un F-16, le pilote a l'impression d'être écrasé sous le poids d'un éléphant. La force d'accélération draine le sang hors du cerveau et, si le phénomène dure, peut provoquer des évanouissements (voile noir). L'effet de cette force sur le pilote est essentiellement déterminé par deux variables : son intensité (la quantité de g) et sa durée (le temps pendant lequel elle s'exerce). Plus l'intensité et la durée sont élevées, plus l'effet de la force d'accélération sur le corps est important.

Dans *Falcon 4.0* l'effet du facteur de charge sur le pilote se traduit par une réduction de son champ de vision. Cet effet simule la difficulté que ressent le pilote à tourner la tête lorsqu'il est soumis à un facteur de charge élevé. Lorsque vous soumettez le jet à la force d'accélération, vous provoquez un rétrécissement du champ visuel comme sur la figure à droite.

Dans *Falcon 4.0*, ce rétrécissement du champ visuel n'est toutefois pas directement proportionnel au facteur de charge exercé sur le jet. Si vous exercez une force de 6 g, le champ visuel ne se rétrécit pas proportionnellement à cette valeur.

*Falcon 4.0* utilise un modèle développé par l'armée de l'air pour provoquer l'effet de rétrécissement du champ visuel associé à la force d'accélération. Ce modèle a été conçu d'après les résultats de plusieurs tests visant à modéliser l'effet du facteur de charge sur le pilote.

Lorsque l'effet de rétrécissement du champ visuel se dissipe, l'effet du facteur de charge est réinitialisé. En d'autres termes, la fatigue du pilote n'est modélisée que lorsque l'effet de la force d'accélération est affiché à l'écran.

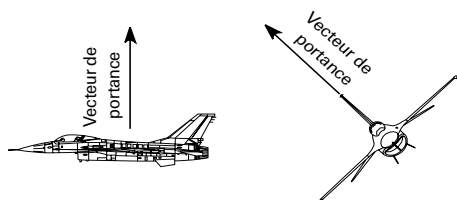


La simulation comprend un autre effet, rarement visible, le voile rouge. Cet effet est obtenu sous l'action des forces  $g$  négatives. Si vous poussez le manche vers l'avant assez longtemps, vous créez des forces  $g$  négatives qui provoquent le même effet de rétrécissement du champ visuel, mais le voile n'est plus noir mais rouge. Les forces  $g$  positives provoquent un effet de voile noir. Dans ce cas de figure, le sang quitte les globes oculaires entraînant une perte de la vue. Les forces  $g$  négatives provoquent un effet de voile rouge. Dans ce cas de figure, le sang afflue trop abondamment dans le cerveau, faisant éclater les vaisseaux des globes oculaires qui se remplissent de sang. La vision est brouillée. J'ajouterai pour terminer que le phénomène du voile rouge est extrêmement rare. En effet, aucune raison tactique ne peut pousser un pilote à maintenir le manche vers l'avant suffisamment longtemps pour susciter des forces  $g$  négatives. Bien que l'effet de voile rouge soit provoqué par des  $g$  d'intensité nettement inférieure à celle qui provoque le voile noir, il est rare de rencontrer ce phénomène dans *Falcon 4.0*.

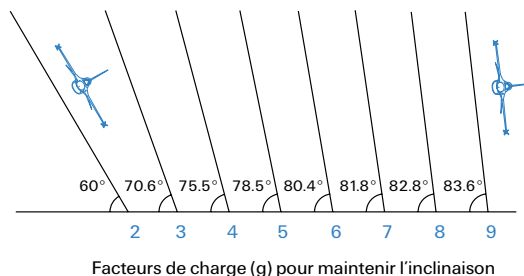
## MANŒVRER UN JET

Après ce bref tour d'horizon des principes de l'aérodynamique, il est temps d'aborder la question du pilotage d'un appareil dans les termes employés par les pilotes de chasse. Pour manœuvrer un appareil, un pilote ne peut effectuer que trois opérations : *faire un tonneau, virer et accélérer/décélérer*. Un tonneau consiste à positionner les ailes qui, à leur tour, positionnent votre *vecteur de portance* (nous évoquerons plus longuement le concept du vecteur de portance dans la suite de ce chapitre). *Virer* consiste simplement à changer de trajectoire de vol. Dans ce cas, le facteur de charge ( $g$ ) s'exerce. Plus vous tirez sur le manche, plus le facteur de charge exercé sur l'avion est élevé et plus l'appareil vire rapidement. *Accélérer* ou *décélérer* consiste à modifier la vitesse de l'avion. Pour ce faire, vous pouvez utiliser la poussée (réglage de la manette), la traînée et la position du nez de l'avion par rapport au sol (poids).

La figure ci-dessous représente le vecteur de portance de l'appareil juste au-dessus du jet. Le vecteur de portance est produit par la force d'accélération de l'appareil et contrôlé par le pilote. Lorsque le pilote tire sur le manche, il ou elle augmente le facteur de charge exercé sur l'avion et, par là même, le vecteur de portance. Comme l'appareil se déplace dans la direction de ce vecteur, plus le facteur de charge est élevé, plus le virage est rapide. Ou, en d'autres termes, plus le taux de virage est élevé.

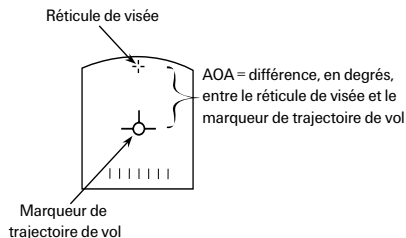


La figure ci-dessous représente un concept essentiel du vecteur de portance. Sur cette figure, vous pouvez observer la quantité de g (ou la taille du vecteur de portance) nécessaire pour que l'avion vole en palier selon un angle d'inclinaison spécifique. Lorsque l'angle d'inclinaison est plus élevé, le facteur de charge exercé doit être supérieur pour maintenir le jet à l'horizontale. Par exemple, si l'angle d'inclinaison est de  $60^\circ$  et que le facteur de charge est de 1 g au lieu de 2 g, l'avion descend. Si vous exercez une force d'accélération supérieure à 2 g à  $60^\circ$ , l'appareil monte.

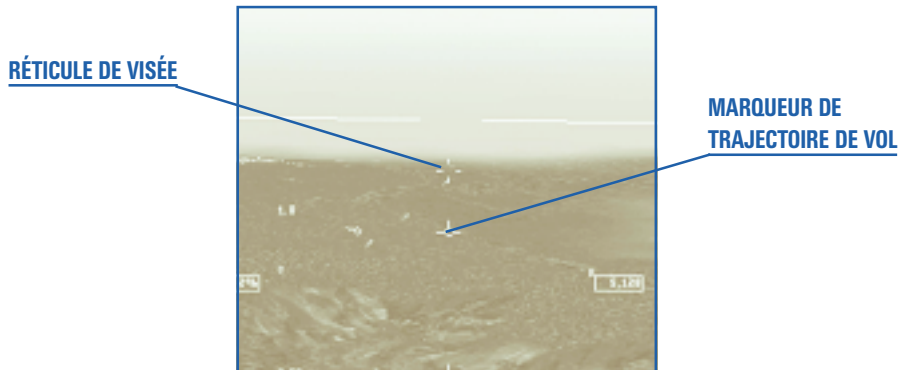


## DECROCHAGES

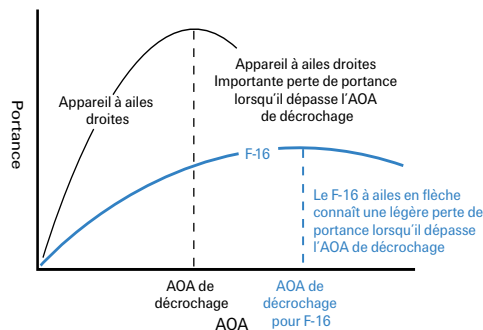
Les décrochages sont définis comme une réduction de la portance due à un dépassement de l'angle d'attaque critique de l'appareil (AOA). Pour comprendre le concept de décrochage, vous devez comprendre tout d'abord le concept d'AOA qui correspond à l'angle formé par le fuselage et la trajectoire de vol.



La ligne du fuselage est une ligne qui s'étend du fuselage de l'appareil vers l'extérieur. Cette ligne correspond également à la trajectoire des balles sortant du canon. Le réticule de visée qui se trouve sur la VTH indique la trajectoire des balles ainsi que la ligne du fuselage.



L'AOA correspond à la différence entre le réticule de visée et le marqueur de trajectoire de vol. (Ces concepts sont décrits dans le **Chapitre 1 : Apprendre à voler**). Rappelez-vous simplement que l'angle d'attaque est lié à la portance. Lorsque l'AOA augmente, la portance fait de même. Lorsque le jet ralentit, le pilote doit augmenter l'AOA pour que l'appareil se maintienne à l'horizontale. Cela s'explique par le fait que la portance totale doit être égale au poids pour maintenir l'appareil à l'horizontale. La portance étant directement proportionnelle à l'angle d'attaque et à la vitesse, lorsque vous ralentissez, la portance diminue si vous n'augmentez pas l'AOA de l'appareil. En augmentant l'AOA, la portance augmente également jusqu'à ce que l'AOA critique de l'appareil soit atteint. A ce stade, la portance cesse d'augmenter pour se stabiliser ou décroître. Ce point de la courbe de l'AOA est appelé AOA de décrochage. Il est décrit sur la figure ci-dessous.





Lorsque vous augmentez l'AOA sur l'axe horizontal du graphique, le coefficient de portance sur l'axe vertical augmente également. (Coefficient de portance signifie ici portance.) Lorsque l'AOA dépasse le point de décrochage, la portance diminue. Lorsqu'on parle de « décrochage », on imagine le nez de l'appareil qui s'incline vers le bas et le jet perdant de l'altitude. Heureusement, les F-16 ne réagissent pas ainsi. Lorsqu'un F-16 dépasse l'AOA de décrochage, il conserve la même attitude (position du nez en fonction du sol) et ne perd de l'altitude que progressivement. Il ne fond pas brusquement vers le sol et le nez ne s'incline pas. Pour stopper le décrochage, il vous suffit d'augmenter la puissance. Etant donné le rapport poussée-poids élevé, le jet doit normalement accélérer, ce qui entraîne alors une diminution de l'AOA. Pour de plus amples informations sur les décrochages, consultez la mission 7 du **Chapitre 2 : Apprendre à tourner**.