

DU PROFIL A L'AVION COMPLET

Nous venons d'étudier l'aérodynamique d'un profil et les effets des différents éléments que l'on peut ajouter à ce profil.

En fait, les résultats ont été mesurés en soufflant sur une tranche constante de ce profil dans une veine d'air de la largeur de la tranche.

Pour passer à l'avion complet, il faut

- transformer ce profil en une véritable aile et prendre en compte :
 - ♦ l'allongement de l'aile. C'est le rapport entre l'envergure et la corde aérodynamique moyenne qui caractérise le fait que l'aile a une extrémité libre. Au niveau de cette extrémité apparaissent des tourbillons marginaux liés à la déflexion des écoulements intrados / extrados. La traînée induite par la génération de ces tourbillons, peut atteindre 37 % de la traînée totale sur un gros porteur moderne,
 - ♦ sa forme en plan (l'évolution de la corde de référence le long de l'envergure),
 - ♦ éventuellement l'évolution du profil le long de l'envergure,
 - ♦ éventuellement le vrillage de l'aile,
 - ♦ ...
- ajouter un fuselage qui permette au moins le transport d'un pilote et des systèmes nécessaires au vol de l'avion et à sa mission. Ce fuselage va créer des perturbations qu'on essaiera de minimiser par :
 - ♦ la position haute de l'aile : protection de l'extrados,
 - ♦ des congés de raccord fuselage - voilure : les KARMAN du nom d'un ingénieur aérodynamicien,
 - ♦ la loi des aires : évolution continûment dérivable de la section, selon l'axe longitudinal de l'avion, de l'ensemble de l'avion afin de minimiser les traînées d'interaction.
- ajouter éventuellement un empennage :
 - ♦ vertical uniquement, ex : MIRAGE 2000,
 - ♦ vertical et horizontal classique, ex. : FALCON,
 - ♦ vertical et horizontal canard, ex.: RAFALE,
 - ♦ sans empennage : ailes volantes B2 par exemple.

1 Le rôle de l'empennage sur un avion classique

1.1 L'empennage horizontale

Il a pour objet de stabiliser l'avion en l'empêchant de pivoter autour de son centre de gravité.

On a vu que pour qu'un avion se maintienne en équilibre en vol, il faut que les forces exercées sur celui-ci obéissent aux équations :

- poussée = traînée
- portance = poids

Ces deux équations seraient suffisantes si les points d'application des quatre forces étaient confondus. Ce n'est pas le cas, il faudra donc, en outre, pour éviter toute

rotation autour de son centre de gravité, que les moments de ces forces autour de ce centre de gravité soient nuls ou s'annulent entre eux. Prenons-les une à une :

- par définition, le moment du poids est nul.
- en ce qui concerne la traction ou la propulsion, cela peut être prévu dès la conception, en calant l'arbre d'hélice ou la tuyère d'éjection, sur un axe qui passe par le centre de gravité. Si ce calage n'est pas possible (c'est le cas d'un multimoteurs de transport dont un des moteurs tombe en panne), le moment sera équilibré avec le moment aérodynamique.
- en ce qui concerne la résultante aérodynamique, étant donné que la position de son centre de poussée varie avec l'incidence, on va forcément voir apparaître un bras de levier, par rapport au centre de gravité qui lui est fixe, et donc un moment de cette force qui va prendre des valeurs différentes.

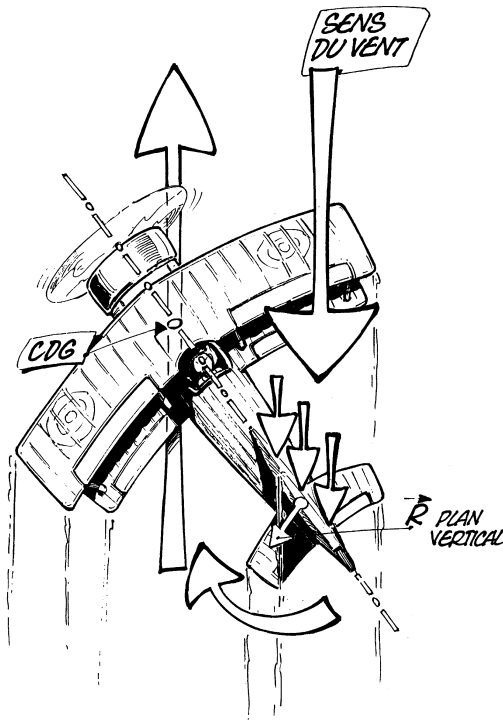
Pour équilibrer ce moment, et éventuellement celui créé par la traction ou propulsion, on installe un appendice, qu'on appelle empennage horizontal, classique s'il est en arrière de la voilure ou canard s'il est en avant, dont la propre résultante aérodynamique va elle-même créer un moment annulant le précédent.

Ce second moment est ajusté par la valeur de cette résultante aérodynamique que l'on peut modifier de deux façons, selon l'équipement des avions :

- sur certains avions (nos FALCON et les avions de transport en général) calage en incidence de la partie avant de l'empennage qu'on appelle plan horizontal,
- sur les autres (les avions de tourisme par exemple) : braquage de la partie arrière de cet empennage qu'on appelle gouverne de profondeur.

En simplifiant, on peut dire que l'empennage permet d'ajuster la position du centre de poussée global de l'avion (aile + empennage) au centre de gravité.

1.2 L'empennage vertical



De la même façon, cet appendice a pour objectif de stabiliser l'avion en l'empêchant de pivoter autour de l'axe vertical. Cet effet est obtenu par la création d'un couple de rappel automatiquement créé avec la dissymétrie de l'écoulement.

Si le moment de rappel n'est pas suffisant, le pilote peut agir sur la partie arrière mobile de cet empennage, appelé drapeau ou gouverne de direction, et augmenter ce rappel à volonté.

C'est le cas notamment, sur un multimoteur dont un des moteurs est en panne. Le drapeau va être constamment braqué pour compenser le moment de propulsion.

Figure 1 : Rôle de l'empennage vertical

2 Stabilité, instabilité d'un avion

Nous venons de voir comment s'équilibrait cet avion autour de son centre de gravité, et nous allons maintenant nous intéresser à la **stabilité de cet équilibre**.

Toutes les gouvernes étant bloquées et le pilote n'ayant pas la possibilité de les actionner, quelle est la réaction de l'avion quand celui-ci subit une perturbation qui le fait sortir de cet état d'équilibre (par exemple une rafale verticale modifiant instantanément l'incidence de l'aile) ?

Cet équilibre est-il stable comme celui de la règle suspendue à un clou qui revient à sa position d'origine lorsqu'on la déplace puis la relâche? Ou, au contraire, cet équilibre est-il instable comme celui de cette même règle posée verticalement sur une table et qui tombe à la moindre sollicitation ?

Avant de répondre à cette question nous allons définir, pour un profil, un point spécifique : le **foyer aérodynamique**. C'est le point d'application des variations de portance découlant des variations d'incidence.

Ce point caractéristique est pratiquement fixe. Par opposition au centre de poussée, il ne varie pratiquement pas avec l'incidence dans une plage normale d'utilisation. Sa position ne dépend que de la forme de l'aile.

Lorsqu'on s'intéresse à l'avion complet, le foyer "global" est la combinaison du foyer "principal" de l'aile avec le foyer "secondaire" de l'empennage horizontal (quand ce dernier existe).

Lorsque notre avion subit une rafale verticale ascendante (respectivement descendante), l'incidence de l'aile augmente (respectivement diminue). Cette augmentation (respectivement diminution) d'incidence crée une augmentation (respectivement diminution) de portance qui s'applique, par définition, au foyer global :

- si le foyer est en avant du centre de gravité : l'élément de portance crée un moment à cabrer (respectivement à piquer) qui amplifie le déséquilibre,
- si le foyer est en arrière du centre de gravité : l'élément de portance crée un moment à piquer (respectivement à cabrer) qui annule le déséquilibre.

Ce qui conditionne la stabilité de l'équilibre de l'avion, c'est la position du centre de gravité par rapport au foyer aérodynamique global.

Les MIRAGE 2000 et le RAFALE, avec des centres de gravité reculés en arrière du foyer aérodynamique, sont des avions instables (sauf à l'atterrissage où ils sont à la limite de la stabilité) :

- les effets des braquages sont très efficaces, ils peuvent réagir très rapidement aux ordres de pilotage,
- la liaison entre les commandes et les gouvernes ne peut pas être directe, elle se fait par l'intermédiaire de systèmes électroniques (Commandes De Vol Electriques analogiques pour le MIRAGE 2000 ou numériques pour le RAFALE) pour au moins contrer en permanence cette instabilité, indépendamment des ordres du pilote,

- l'équilibrage du moment aérodynamique de l'aile se fait avec des élévons à piquer porteurs, et donc un gain global en portance, notamment dans les phases d'atterrissages (le MIRAGE 2000 se pose sur des terrains deux fois plus courts que le MIRAGE III, qui est un avion stable). On évite ainsi les défauts des formules DELTA pour les avions stables.

Nos FALCON, comme les autres avions de transports, sont, par-contre, des avions stables :

- on évite ainsi l'étude, l'installation et la maintenance d'un circuit de Commandes De Vol Electriques, encore beaucoup plus cher et complexe que celui des commandes de vol mécaniques classiques,
- l'intérêt du point de vue aérodynamique reste négligeable, et sans commune mesure avec celle obtenue pour une configuration de voilure DELTA et des charges alaires beaucoup plus élevées.