

Incidence – Angle of attack

Tout pilote souhaite lors du vol rester dans les limites du domaine de vol, notamment en se gardant des marges par rapport au décrochage.

Après lecture du manuel de vol nous connaissons notre vitesse de décrochage et appliquons à cette vitesse un coefficient multiplicateur (1,45 en évolution et 1,3 en finale généralement).

Pourtant nous savons aussi que la vitesse de décrochage augmente lors d'un virage ou d'une ressource (application d'un facteur de charge), et même si c'est moins évident sur avion léger, cette vitesse augmente lorsque la masse augmente (p.ex. sur A340 on passe de 130kts à vide à 180kts à la masse maxi décollage). La vitesse est donc un assez mauvais indicateur de la performance aérodynamique de l'aile il faut appliquer des corrections à la vitesse de décrochage du manuel pour bien connaître nos marges.

Pour voir comment la connaissance de l'incidence va nous simplifier la vie, quelques petits rappels d'aérodynamique et de mécanique du vol.

Les équations du vol stabilisé sont :

$$n M g = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_z \quad \text{la portance équilibre le poids apparent}$$

$$T = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_x \quad \text{la traction équilibre la traînée}$$

n : facteur de charge

M : masse (kg)

g : accélération de la pesanteur (m/s^2)

T : traînée, traction (N)

ρ : masse volumique de l'air (kg/m^3)

S : surface portante (m^2)

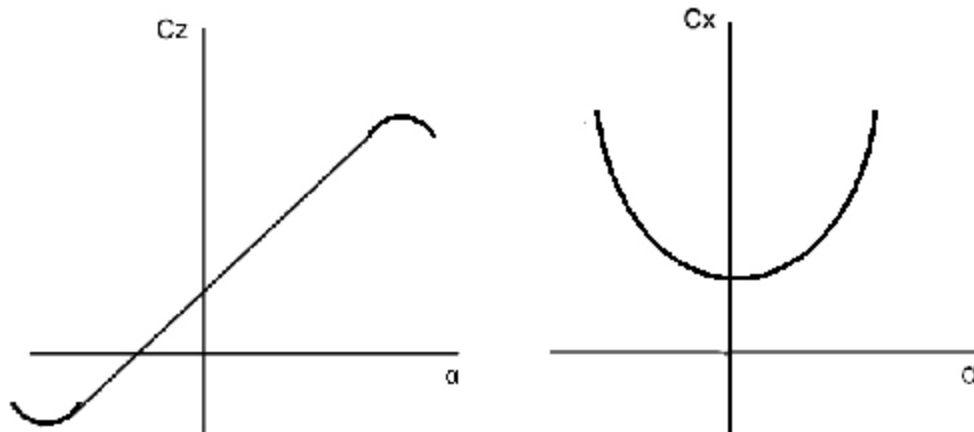
V : vitesse de l'écoulement (m/s) : vitesse calibrée (CAS), c'est la vitesse indiquée si l'erreur instrumentale est nulle

C_z : coefficient de portance du profil (sans unité)

C_x : coefficient de traînée du profil (sans unité)

Les coefficients C_z et C_x sont fonctions de l'angle d'incidence du profil (angle of attack pour les anglo-saxons), c'est à dire l'angle que fait la ligne de référence du profil avec la direction de l'écoulement. C'est d'ailleurs la façon dont varient ces coefficients avec l'angle d'attaque qui détermine les performances d'un profil.

Observons de plus près les variations de C_z et C_x en fonction de l'angle d'attaque dénommé α , sur les figures ci dessous.

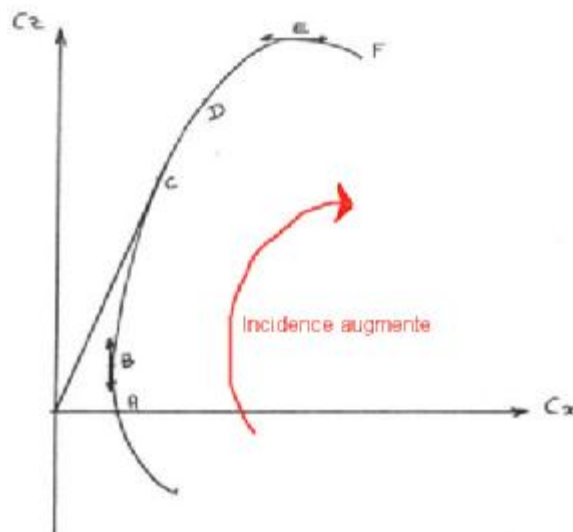


On voit que la courbe représentant le C_z en fonction d' α est une droite. Le C_z croît linéairement avec α , jusqu'à une valeur C_z max, au-delà de laquelle le profil décroche, l'angle d'incidence étant trop important pour que l'écoulement de l'air autour du profil se fasse régulièrement.

Le C_x , quant à lui, n'est pas une fonction linéaire d' α . La courbe ressemble plus à une parabole. De plus, on remarque, contrairement au C_z , le C_x n'est jamais nul.

A un angle d'incidence correspondent une valeur de C_z et une valeur de C_x .

On peut rassembler les deux courbes de la figure ci-dessus en une seule, en traçant pour un profil donné le C_z en fonction du C_x . La courbe bien connue est la polaire du profil.



Cette polaire possède quelques points caractéristiques :

- point A : point de portance nulle à l'intersection de la polaire et de l'axe des C_x ; il donne la traînée à portance nulle.
- point B : point de traînée minimale; déterminé avec la tangente verticale à la courbe.
- point C : point de finesse maxi, déterminé avec la tangente à la courbe qui passe par l'origine; c'est le point pour lequel on a le plus grand rapport C_z/C_x .
- point D : point de vitesse de chute minimale déterminé par le calcul de C_z^3/C_x^2 mini.
- point E : point de portance maximale, déterminé avec la tangente horizontale à la courbe.
- point F : point de décrochage.

Il est à noter que sur cette polaire, chaque point correspond à une incidence donnée, les incidences augmentent dans le sens de la flèche rouge.

Tout cela pour dire que si l'on connaît l'incidence, on connaît directement C_z et qu'il suffit de mettre en place un système d'alerte lorsqu'on s'approche de l'incidence de décrochage.

Naturellement cette alarme ne se produira pas à la même vitesse indiquée en fonction des conditions de masse et de facteur de charge. (Voir l'équation de sustentation, si M ou n augmente, V doit augmenter).

Il est à noter que si notre système de mesure est assez précis on connaîtra également les incidences de finesse max et de chute minimale (qui est aussi celle de l'autonomie horaire maximale sur avion à piston) : là également en fonction de la masse, la vitesse sur trajectoire de ne sera pas même.

Par exemple, un avion lourd aura la même finesse que le même avion plus léger mais ira plus vite sur la trajectoire, voilà pourquoi certains planeurs transportent du ballast (à finesse égale, le plus lourd arrive en premier)

En conclusion, la connaissance d'un paramètre unique permet de déterminer le point de fonctionnement aérodynamique souhaité. Les militaires utilisent d'ailleurs ce principe depuis assez longtemps, l'US Navy a diminué de moitié ses accidents d'appontage en passant au pilotage à l'incidence dans les années cinquante. Cette méthode n'est pas ou peu utilisée en aviation civile (les Mercure et les Corvette étaient équipés), sans doute par manque de matériel fiable au niveau de l'aviation générale ce qui empêche une formation de masse à ce type de pilotage. Les premiers pas sont d'ailleurs surprenants, il faut se forcer à réfléchir: par exemple, en palier quand l'incidence est trop forte il faut augmenter le régime moteur alors qu'avec notre paramètre habituelle la vitesse c'est l'inverse !!!

Comment mesurer l'incidence

Mesure directe par une girouette : cette solution est adoptée sur les avions militaires et de transport. Il est d'ailleurs intéressant de noter que l'incidence est mesurée sur les avions de transport mais n'est pas présentée au pilote car non utilisée pour le pilotage !

Pour les avions légers, deux systèmes utilisent ce principe :

HCI Alphaprobe : chez Spruce

Installation d'un mat avec une girouette, information visuelle et auditive.



RiteAngle@ de EM Aviation

Installation d'un mat et d'une girouette sous l'aile, informations visuelles et auditives, une correction pour la position des volets, calibration en vol, système autonome batterie de secours en option.



Mesure indirecte par capteur de pression :

Advanced Flight System.

Le système AFS utilise deux capteurs de pressions sur l'extrados et l'intrados de l'aile, ainsi la pression totale et la pression statique du circuit avion pour calculer un coefficient de pression proportionnel à l'incidence.

Il existe deux types de calculateurs : le modèle Sport avec un indicateur à 8 LED et le système PRO avec un indicateur plus complexe.

Les deux systèmes proposent des informations visuelles et auditives, une correction pour la position des volets. Pour le modèle PRO une alarme train. Les deux systèmes doivent être calibrés au sol et en vol.

AOA Pro



23

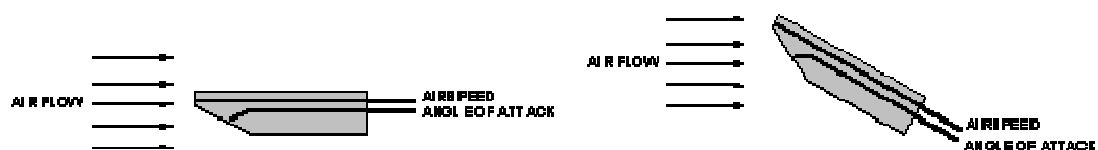
AOA Sport



24

Dynon

Le système Dynon utilise un tube Pitot particulier avec deux prises de pression, il doit être calibré en vol et propose des alarmes auditives. La prise supérieure du pitot est insensible à la variation d'angle d'incidence alors que la prise inférieure va voir la pression mesurée se modifier en fonction de cet angle. Ensuite un calculateur va prendre en compte ces pressions pour en tirer un angle d'incidence.



Lift Reserve Indicator

Le système LRI nécessite l'installation d'un mat particulier sur une trappe de visite d'intrados, il mesure une différence de pression entre deux capteurs et présente l'information sur un instrument analogique ou digital. A noter que l'instrumentation analogique ne nécessite pas d'alimentation électrique.



Attention :

Cet article est purement informatif, il ne constitue en aucune façon une référence que se soit technique ou réglementaire.

Pour toute remarque :
Pascal GROELL
pgroell@hotmail.com
www.notreavion.net

Les sites des fabricants ou revendeurs :

www.aircraftspruce.com

www.riteangle.com

www.advanced-flight-systems.com

www.dynonavionics.com/

www.lriaoa.com/kits.htm ou www.alphasystemsaoa.com/ (en construction)

Je vous suggère de lire le Powerpoint sur le site d'AFS :

www.advanced-flight-systems.com/Support/AOA%20slides.ppt