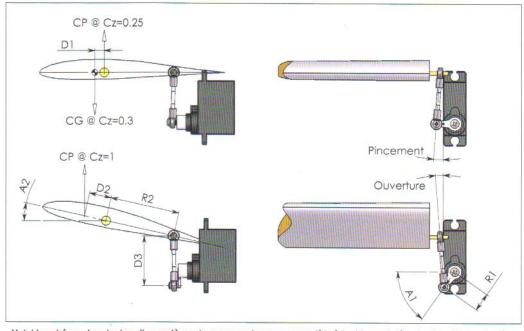
Les secrets du succès

Depuis une dizaine d'années, j'utilise une méthode pour dimensionner tous mes modèles à incidence intégrale à commande directe, qu'il s'agisse de planeurs ou d'avions. A la fois simple et pratique, elle m'a permis de faire évoluer des machines allant du micro planeur au planeur F3F de 2,40 m capable de dépasser largement les 200 km/h, avec aux commandes de simples servos standard.

> Texte & illustrations Franck AGUERRE



Voici le schéma de principe d'un système de commande pour un modèle à incidence intégrale. Les ailes, articulées sur un axe qui est leur clé, pivotent intégralement pour assurer les fonctions de roulis («ailerons») et de tangage (profondeur). Ces deux fonctions sont naturellement mixées à l'émetteur.

ourquoi une méthode alors que le fonctionnement de ce système paraît d'une simplicité biblique ? Simplement parce que les efforts générés par les ailes peuvent être bien plus importants que les capacités mécaniques des servos qui les commandent, particulièrement à haute vitesse. Le but est donc de trouver la meilleure position de la clé d'ailes et les bras de levier adéquats pour réduire au maximum les efforts transmis aux servos tout en garantissant un bon feeling de pilotage.

Bien appréhender le «pourquoi» du «comment»

Il faut d'abord comprendre que les efforts aérodynamiques ne s'exercent pas au même endroit sur une aile suivant la vitesse de vol, et que ce comportement dépend en outre des caractéristiques du profil utilisé. Hormis les profils parfaitement biconvexes symétriques, tous les profils présentent ce phénomène que l'on appelle «variation du centre de poussée», à des degrés d'importance divers. Ce centre de poussée (CP) est le point géométrique du profil où

la force de portance s'exerce sans couple. Il recule au fur et à mesure que l'angle d'attaque du profil diminue, ce qui correspond à une diminution du coefficient de portance (Cz) et une augmentation de la vitesse. Ce phénomène se quantifie par une variable, nommée coefficient de moment (Cm). Plus cette variable est importante, plus le centre de poussée va se déplacer en fonction de la vitesse de vol et de l'incidence. Sur un modèle à incidence intégrale, ce centre de poussée «baladeur» devient la principale cause de problème quand la clé d'ailes est mal positionnée :

- si la clé est trop avant, il y a danger de ne plus pouvoir redresser quand la vitesse devient trop importante (CP migrant vers l'arrière).
- si la clé est trop arrière, il y a danger de ne plus pouvoir sortir d'un virage serré (CP migrant vers l'avant).

La méthode en question a été développée pour l'utilisation de commandes directes reliant les servos aux ailes, mais il est possible de la transposer à un système à renvoi en tenant compte des nouveaux bras de leviers. Elle s'appuie sur :

- le calcul de la corde moyenne de l'aile (Cmoy), ainsi que de la surface d'aile (S).
- les polaires du profil, à défaut le Cm0 (coefficient de moment à portance nulle, quand Cz = 0).

- une estimation de la vitesse de vol en palier (V).
- la formule très connue de la position du centre de poussée d'un profil (CP = 0.25-Cm/Cz).

Avant de poursuivre, il faut noter quelques informations importantes:

- 1 les calculs ne sont donnés que pour des incidences positives, car les efforts en jeu y sont plus importants, donc plus défavorables, que pour des incidences négatives.
- 2 cette méthode impose de sélectionner, a priori, un modèle de servo pour mesurer son palonnier. Le calcul permet ensuite de vérifier l'adéquation de ce servo par rapport aux efforts en jeu.
- 3 les servos peuvent être positionnés devant ou derrière la clé d'ailes, indifféremment. Seul compte le respect des bras de levier qui seront donnés plus loin. De même, les servos peuvent être mis côte à côte ou en vis à vis suivant les croquis joints.
- 4 que ce soit pour le calcul de la surface de l'aile ou la position des centres de poussée, l'aide d'un logiciel sera très utile. Je vous recommande sans réserve «CordeMoyenne», gratuit sur internet. Merci encore à son auteur, car c'est un outil très simple et tellement pratique!

5 • pour les calculs de polaire, beaucoup de souffleries numériques sont maintenant disponibles. De quoi s'y perdre... Deux logiciels se détachent toutefois du lot, que je vous conseille sans réserve d'autant plus qu'ils sont gratuits : XFLR5, sur base Xfoil - une référence (bientôt détaillé dans Modèle Mag) -, et JavaFoil, sur base Eppler. A noter que XFLR5 intègre un calcul d'aile complète : polaires d'aile en tenant compte du nombre de Reynolds de chaque corde, «vrai» centre de portance, répartition de portance... Un régal vous dis-je!

Je vous propose maintenant de suivre, étape par étape, ce cheminement en s'appuyant sur un exemple simple : l'Integral Velocity 2 (IV 2) présenté dans ce numéro avec son plan encarté. Les caractéristiques de ses ailes sont les suivantes : simple trapèze, cordes de 146 et 87 mm, envergure de 840 mm, flèche au bord d'attaque de 59 mm, surface de 9,8 dm2, profil FAD 05

Choix du profil

Au sujet des modèles à incidence intégrale, on peut souvent entendre qu'il faut privilégier un profil ayant un faible coefficient de moment. C'est tout à fait exact dans le sens où le positionnement de la clé d'ailes devient ainsi beaucoup moins critique. Mais ce critère peut conduire à évincer des profils répondant pourtant mieux au domaine de vol de son futur appareil. La méthode que je vous propose contourne cette difficulté, et permet d'utiliser des profils ayant un Cm0 jusqu'à - 0.06 pour des modèles rapides à - 0.1 pour des modèles plus tranquilles, ce qui correspond à la grande majorité des profils pour modèle réduit. Dans les calculs qui vont suivre. l'idéal est d'utiliser le Cm moyen (pour les incidences positives), que l'on déduit des polaires du profil. A défaut, on utilise le Cm0, ce qui n'est pas optimal mais suffisant dans la plupart des cas.

Application à l'IV 2

Pour le FAD 05, la valeur movenne de Cm est d'environ -0,04.

Détermination de la position de la clé

La clé d'ailes doit se trouver à l'emplacement du centre de poussée correspondant à la vitesse de vol en palier du modèle, qui généralement équivaut à un Cz de 0.25. Ce n'est pas très rigoureux (le Cz est fonction de la charge alaire et de la vitesse de vol), mais cette valeur moyenne convient à la grande majorité de nos modèles. En vol, le centre de poussée se trouve alors

quasiment tout le temps devant la clé : l'effort vers chaque servo est donc toujours dans la même direction, ce qui permet d'accepter des jeux mécaniques «normaux» sans problème. Attention néanmoins car, lors d'une prise de badin, le centre de poussée passe derrière la clé, ce qui se traduira par une instabilité en tangage si le jeu des commandes est trop important.

Application à l'IV 2

La position de la clé se trouve à : 0.25+0.04/0.25 = 0.41, soit 41% de la corde moyenne. Cela donne 75.8 mm depuis le bord d'attaque de l'emplanture.

Détermination du centre de gravité

Même formule, mais avec Cz = 0.3, ce qui donne un centrage confortable, c'est-à-dire neutre avec une marge de stabilité suffisante.

· Application à l'IV 2

La position du CG se trouve à : 0.25+0.04/0.3 = 0.383, soit 38.3% de la corde movenne. Cela donne 72.6 mm depuis le bord d'attaque de l'emplanture, soit D1 = 3.2 mm. La marge de stabilité est de 2.7% (= 41%-38.3%). C'est une valeur faible, mais parfaitement adaptée à un modèle rapide et neutre.

Détermination du centre de poussée à incidence maxi

Même formule, avec Cz = 1, ce qui correspond à un coefficient de portance maximal pour la plupart des profils. Ce centre de poussée est utilisé pour le calcul du couple maxi sur les servos car. avec la position de la clé d'ailes définie précédemment, l'effort maximal sur les servos correspond au Cz maxi. A noter que l'on peut directement calculer D2 en connaissant simplement la corde moyenne : D2 = -3 * Cmoy * Cm.

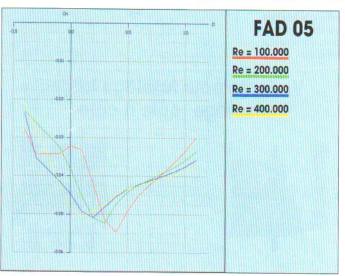
Application à l'IV 2

La position du centre de poussée à portance maxi se trouve à : 0.25+0.04/1 = 0.29, soit 29% de la corde moyenne. Cela donne 61.5 mm depuis le bord d'attaque de l'emplanture, soit D2 = 75.8-61.5 = 14.3 mm.

Détermination des bras de levier

Divers essais et calculs m'ont permis d'aboutir à une relation simple mais universelle entre le bras

Données d'entrée	
Coefficient de moment moyen Surface de l'aile (dm²) Vitesse en palier (m/s) Corde moyenne (mm) Bras de levier servo (mm)	Cm, ou à défaut Cm0 S V Cmoy
Débattement fonction profondeur Débattement fonction aileron Données de sortie	R1 (à choisir entre 8 et 10) +/- 6° +/- 3.5°
Position de la clé d'ailes sur la corde moyenne (%) Position du CG sur la corde moyenne (%) Position du point d'effort maxi par rapport à la clé (mm)	100 * (0.25 - Cm / 0.25) 100 * (0.25 - Cm / 0.3)
Couple maxi sur le servo (kg.cm) Bras de levier aile (mm) Longueur des leviers de commande (mm)	D2 = -3* Cmoy * Cm V ² * S * D2 / 300000 R2 = R1 * 6 D3 = R2 / 2



Voici les polaires Cm-Cz (coefficient de moment par rapport au coefficient de portance) du profii FAD 05 utilisé sur l'IV 2, données pour Re = 100.000. 200.000, 300.000 et 400.000 (valeurs classiques d'utilisation de ce profil). Graphiquement, on en déduit la valeur moyenne de Cm dans les Cz positifs, ici -0.04.

de levier du palonnier du servo (R1) et le bras de levier du système de commande de l'aile (R2). Quel que soit l'appareil étudié, il faut se rapprocher de R1 = R2 / 6. Cette valeur fait correspondre un débattement d'ailes de +/- 8° à un débattement de servo d'environ +/- 57° (avec la longueur du levier de commande calculée ci-dessous). ces deux valeurs angulaires étant proches des capacités maximales de chacun.

Au niveau du servo, l'idéal est de choisir l'un des trous du palonnier situé entre 8 et 10 mm de l'axe de rotation. Dans le cas où vous n'avez pas de servo sous la main pour prendre de mesure, on peut partir sur R1 = 9 mm, ce qui est une valeur passe-partout pour dégrossir le calcul de couple.

· Application à l'IV 2

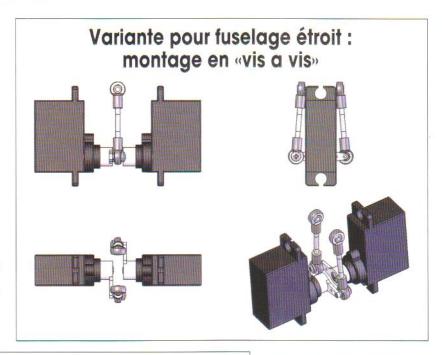
Le servo choisi est a priori un basique de 9 g. Le seul trou du palonnier se trouvant dans la plage

de 8 à 10 mm est à R1 = 8,3 mm. Ce qui donne: R2 = 50 mm.

Détermination des leviers de commande

Chaque levier assure la liaison entre l'aile et le servo, et sa longueur a une influence très importante sur le couple que va subir le servo. L'idéal est d'avoir un levier le plus long possible, mais la place disponible dans le fuselage n'est pas infinie. J'ai donc essayé de trouver un compromis, valable pour la plupart des modèle, qui aboutit à la relation suivante: D3 = R2/2. D'autre part, afin d'optimiser le couple des servos, il faut régler les leviers de manière à ce qu'ils présentent du pincement à incidence nulle, et de l'ouverture à incidence maxi, ces deux angles devant être de même valeur.

TECHNIQUE Système de commande d'une incidence intégrale



Voici les deux variantes du montage des servos dans un fuselage : côte à côte si le fuselage est large, ou en visà-vis si le fuselage est étroit.

Variante pour fuselage large: montage «côte à côte»

 Application à l'IV 2 R2 = 50 mm, donc D3 = 25 mm.

Détermination de l'effort maxi sur le servo

Ce couple correspond à un virage ou une boucle à incidence maximale (8°, correspondant à Cz = 1) à la vitesse maxi en palier. Le couple peut aussi être important avec un piqué en survitesse (migration importante du CP vers l'arrière), mais, avec la cinématique proposée, il sera inférieur au couple maxi dont je vous propose le calcul. En tenant compte de tous les éléments précédents, quelques calculs trigonométriques et aérodynamiques permettent de déterminer le couple maximal au servo. Les lecteurs avertis remarqueront que ce couple est dans le sens de l'augmentation d'incidence de l'aile. En d'autres termes, le servo ne «force» que pour ramener le modèle en palier. A noter que le couple de friction induit par la clé d'ailes n'est pas pris en compte. Pour les curieux, voici le détails des calculs :

· couple sur chaque servo F*D2*R1*cos(A1-A2/2)/ (R2*cos(A2/2)), avec F (effort à Czmax = 1, en kg) = $V^{2*}(S/2)/1517$, avec V en m/s et S en dm2.

Connaissant A1 (57°), A2 (8°), avec la relation R1 = R2 / 6 et en arrondissant légèrement, on arrive à une relation très simple :

- couple = V²*S*D2/300000 avec V en m/s, S en dm² et D2 en mm.
- Application à l'IV 2

Avec une vitesse estimée en pointe à 30 m/s (soit 108 km/h) en virage serré à l'incidence maxi de 8°, on trouve un couple au niveau de chaque servo de 0.42 kg.cm. Ce couple est largement acceptable pour un servo de 9 g basique, ce qui était le choix initial. A noter que 30 m/s à Cz = 1 correspondent à un facteur de charge de 13 G (5.8 kg au total), il faut donc que les ailes et la clé soient capables de supporter une telle contrainte!

Des débattements pour précision et réactivité

De nombreuses expérimentations montrent qu'un débattement de +/- 6° pour la profondeur donne une très bonne sensation au pilote : excellente précision et bonne réactivité. Même si le profil supporte plus d'incidence (on a fait le calcul d'effort à 8°, ce qui peut correspondre à 6° de débattement plus un calage initial à 2°, la plupart des profils supportant + 10°), on peut déjà passer des boucles carrées bien nettes, et il est impossible d'arriver au déclenché, ce qui est très sécurisant. Les ailerons se contentent de +/- 3.5° pour être homogènes, avec éventuellement, suivant les essais, un léger réglage du différentiel d'ailerons. Ces valeurs sont valables de manière universelle, à la condition d'utiliser le profil dans un domaine de vol qui lui correspond. En effet, un profil mal adapté au domaine de vol demandera un différentiel important pour ne pas induire de lacet inverse. Tout dépend des polaires du profil et du calage de vol en palier. Dans le cas d'un profil plutôt porteur utilisé avec un calage faible (vol rapide...), il est classique que le profil traîne plus à faible incidence qu'à forte incidence. Dans ce cas, il faudra régler les débattements avec plus d'incidence positive que de négative (différentiel négatif). A l'inverse, un profil de vitesse pure utilisé avec un calage important (vol lent...) nécessitera moins d'incidence positive et plus de négative autour du neutre (différentiel positif).

Tout cela est bien beau, mais $6^{\circ} + 3.5^{\circ} = 9.5^{\circ}$, ce qui est supérieur à la valeur maximale de 8° utilisée auparavant par le calcul de la cinématique. Incohérence ? En fait, non. Car, hormis pour certaines figures plutôt en rapport avec le vol 3D, la profondeur et les ailerons ne sont jamais utilisés simultanément en butée. C'est donc une erreur que de prévoir les bras de levier afin de pouvoir cumuler ces deux débattements, car cela aboutit à devoir sur-dimensionner inutilement les servos

A vous de jouer...

Voilà, maintenant vous connaissez tous mes secrets. Le compromis entre formalisme puriste et vulgarisation pour le plus grand nombre était difficile à trouver, mais j'espère que tous les lecteurs s'y retrouveront et pourront tirer le meilleur profit de cette présentation. Maintenant, c'est vous de jouer et faire fleurir de nouveaux modèles à incidence intégrale sur nos terrains.

Liens internet

- CordeMoyenne: http://jean-claude.etiemble.com
- XFLR5: http://www.geocities.com/xflr5
- JavaFoil: http://www.mh-aerotools.de/airfoils/javafoil.htm
- Pour enfin connaître les vrais couples de nos servos
- http://www.teaser.fr/~osegouin/aeromode/servos.phtml
- L'encyclopédie du petit aérodynamicien en herbe, pour mieux comprendre le vol de nos modèles :

http://www.chez.com/aerodynamique

Une page qui explique très bien la notion de centrage

http://pierre.rondel.free.fr/centrage.htm