

A placer sur le site de IA en réponse à Mr Dumas

YY : Les gouvernes, autour des trois axes

Gouvernails de direction et de profondeur, ailerons.

Symboles, abréviation, indices utilisés

a : indice pour aileron.

a : Pente de la portance d'un plan ($\Delta C_z / \Delta \alpha$).

b : hauteur ou envergure (bec, gouverne, aile).

c : indice pour « charnière ».

C : coefficient sans dimension (C_c , C_x , C_z).

K : Coefficient ou facteur.

F : force.

l : corde moyenne.

m : indice pour « mobile » (gouverne : l_m, S_m).

q : pression dynamique = $0,5 \rho V^2$.

S (sans indice) : surface totale du plan.

v : indice pour l'empennage vertical.

V : vitesse.

Z : force de portance.

Lettres grecques :

α : incidence.

δ° : angle de braquage d'une gouverne.

Δ : variation d'une grandeur.

(Δ) : supplément à une grandeur.

λ : allongement.

SOMMAIRE

Symboles, abréviations, indices	page 1
1 : Données de base , sans calculs	page 2
Mode d'action	page 2
Efforts	page 3
2 : Méthode de calcul	page 5
Mode d'action	page 5
Efforts	page 6

YY- 1 : Données de base :

YY- 11 : Introduction :

Un avion qui ne comporterait pas de gouvernes pourrait parfaitement voler ; les modèles réduits dits « de vol libre », par opposition aux modèles pilotés qui apparurent après 1940, aux USA, ne pouvaient être réglés qu'au sol ; on imagine les difficultés de ces réglages « intellectuels » et non pas « aux fesses ».

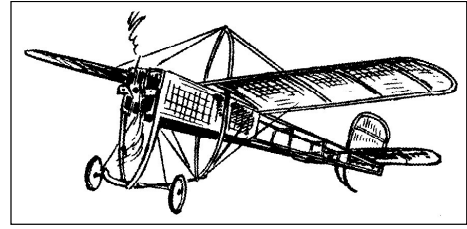


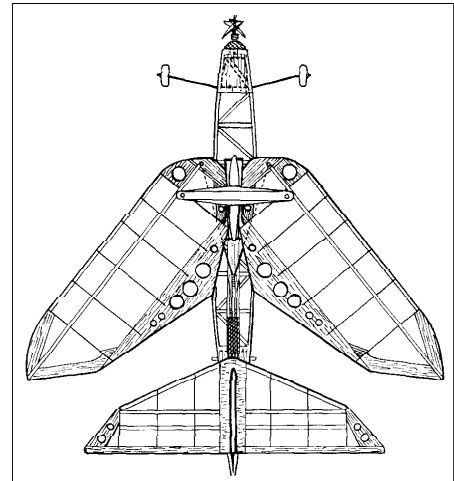
Figure 1.1 : Deux modèles réduits à moteur caoutchouc, sans gouvernes.
En haut, le MB 02, créé par Maurice Bayet en 1912, alors qu'il était âgé de dix ans .
En dessous, le P – 52 de Jaques Péguilhan, à flèche variable, de 1968.

De tels appareils ne peuvent avoir qu'un équilibre stable autour de chacun des trois axes, et donc :

- un seul équilibre lacet / roulis, donnant une ligne droite ou des virages, suivant la puissance en jeu.
- un seul équilibre en tangage, donc avec une trajectoire montante ou descendante , suivant la vitesse de vol.

Les gouvernes permettent le pilotage de l'appareil, c'est à dire le contrôle des divers équilibres nécessaires, suivant les phases du vol. Ce sont :

- Le gouvernail de direction, pour les équilibres autour de l'axe de lacet.
- Le gouvernail de profondeur, pour les équilibres autour de l'axe de tangage.
- Les ailerons, pour les équilibres autour de l'axe de roulis.



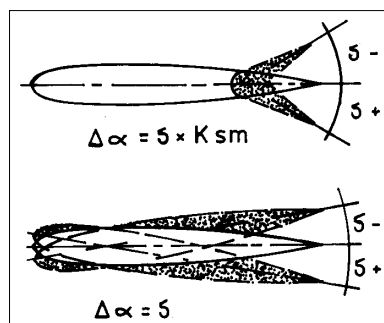
Deux considérations dimensionnent les gouvernes :

- 1 - Il faut qu'elles soient assez puissantes, aux basses vitesses, pour contrer les rafales ou pour contenir un déséquilibre volontaire, sur l'un ou plusieurs axes ; en effet, la sensation de sécurité qu'elles procurent alors, près du sol et pas très loin du décrochage, est indispensable pour que le pilote ait toute confiance dans sa machine.
- 2 - Aux vitesses élevées, la maniabilité nécessaire doit pouvoir être obtenue sans efforts excessifs sur les commandes ; cette exigence complique leur conception.

YY- 12 : Mode d'action des gouvernes :

YY-121 : Aérodynamique :

Une gouverne est constituée par un volet, articulé à l'arrière d'un plan dont la partie avant est fixe (plan fixe de profondeur, dérive, ailes). Une gouverne monobloc, totalement mobile, comporte 0% de surface fixe et 100% de surface mobile.



Le braquage (δ), (fig.1.2) modifie l'incidence de la surface entière, d'autant plus qu'il est important, en agissant :

- indirectement par déformation du profil, c'est le cas du volet.
- directement, c'est le cas du monobloc.

Figure YY-1- 2 : En bas, une gouverne monobloc qui donne une variation d'incidence globale égale au braquage ; $\Delta\alpha = \delta$. En haut, gouverne/volet et plan fixe, donnant une variation d'incidence $\Delta\alpha = \delta \times Ksm$, (voir le § 123).

Cette variation d'incidence entraîne une variation de la force portante produite par la surface totale.

Attention, l'incidence de décrochage est modifiée par le braquage ; par exemple, sur une aile, le braquage d'un aileron fait décrocher la partie de l'aile concernée, 2 à 3 ° plus tôt si le braquage est dans le même sens que l'incidence (vers le bas, de signe +, en vol normal), et inversement.

YY- 122 : Mécanique :

1 - équilibre : La variation de la force portante (ou plutôt du coefficient de portance C_z , car la vitesse est supposée invariable) donne une variation du moment (force x par le bras de levier) autour de l'axe concerné, axe qui passe par le C.G..

2 - stabilité : Ainsi qu'il a été montré lors de l'étude de la stabilité, le braquage d'une gouverne ne modifie pas directement la stabilité de l'équilibre autour de l'axe concerné si les bras de levier restent proportionnels... et si les interactions sont négligées.

3 - maniabilité : L'avion stable s'oppose, par définition, aux variations d'équilibre, mêmes voulues ; il faut donc, pour un effet donné, braquer une gouverne d'autant plus que la stabilité est grande. Par exemple :

-- Une forte stabilité en lacet entraîne un fort braquage du gouvernail de direction, pour maintenir un dérapage donné ; figure XX 1.6.

-- Un dièdre important demande beaucoup de débattement aux ailerons, pour maintenir un dérapage donné, ou une glissade ; figure XX 2.5.

-- Le gouvernail de profondeur doit avoir un débattement d'autant plus important que l'avion est centré plus avant ; inversement, si le C.G. se trouve au foyer, la stabilité est nulle ... et l'avion peut prendre toutes les positions d'équilibre, sans qu'il soit nécessaire de pousser ou tirer sur le manche.

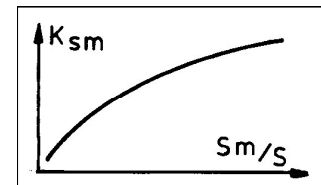
On pourrait penser que stabilité et maniabilité s'opposent, mais ce n'est vrai que lorsque les gouvernes sont trop petites ou peu efficaces. Il est dangereux de diminuer une stabilité pour augmenter une maniabilité ; il vaut mieux modifier les gouvernes, de préférence lors de la conception.

YY- 123 : Efficacité :

1231 : en fonction du rapport des surfaces (S mobile/S totale) :

L'efficacité augmente rapidement, puis progresse moins vite lorsque le rapport devient plus grand :

S_m / S	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70	1
K_{sm}	0	0,29	0,45	0,55	0,65	0,72	0,85	1

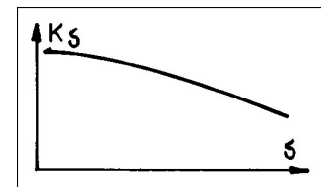


Par exemple, une gouverne faisant 0,30 fois la surface totale, braquée de 1° , provoque une variation d'incidence de $0,55^\circ$ pour toute la surface.

1232 : en fonction du braquage :

Au delà de 7° de braquage, l'efficacité est réduite par décollement et turbulences des filets d'air en arrière de la charnière :

Braquage δ°	7	10	15	20	25	30	35	40	+
$K\delta$	1	0,95	0,85	0,78	0,70	0,60	0,55	0,50	0,25

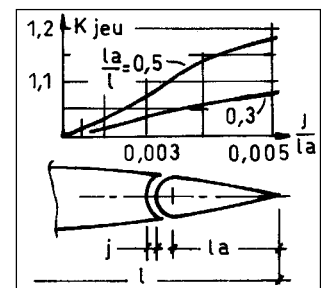


Par exemple, braquer une gouverne de 20° ne donne qu'un résultat égal à $0,78 \times 20 / 7 = 2,23$ fois celui obtenu par 7° de braquage.

1233 : en fonction de l'étanchéité de la charnière :

Car le braquage crée un différentiel de pression entre les deux faces du plan ; fermer, par un joint souple, le jour existant entre les parties (fixe et mobile) augmente l'efficacité. La note 632 du NACA rapporte des essais en vol ayant montré une efficacité accrue de 20% (ailerons de corde égale à 18% de celle de l'aile, avec un jour de 5 mm), et de 33% pour un rapport des cordes de 9%, avec un jour de 7 mm.

On pourra compter, en moyenne, sur un coefficient multiplicateur de 1,15.



YY- 13 : Efforts sur les gouvernes et les commandes :

On considère deux sortes d'efforts :

Ceux qui sont dus aux réactions aérodynamiques, qui donnent un moment de charnière « M_c » sur les gouvernes, et ceux qui sont dus au pilote lorsqu'il exerce un effort maxi sur les commandes.

Pour les calculs de résistance : Les efforts maxi ont été d'abord fixés par le bon sens, et des mesures, puis par les règlements ; ils servent à dimensionner les circuits de commande ainsi que la structure des gouvernes, avec les coefficients de sécurité nécessaires.

Exemples :

Les efforts normaux de pilotage :

Pour qu'un appareil soit considéré comme plaisant à piloter, et que ses commandes soient jugées homogènes, une vieille règle veut que les efforts sur les commandes soient dans la proportion :

ailerons : 1. / profondeur : 2. / direction : 4.

Efforts en daN ou kg	FAR 23	JAR 22
Ailerons, manche	18 à 30	30
Ailerons, volant	18 à 22	30
Profondeur, manche	45 à 75	35
Profondeur, volant	45 à 89	35
Palonnier	58 à 89	90

Si l'on veut déterminer les valeurs des réactions dans les commandes, les calculs à effectuer sont assez complexes ; il est bon, néanmoins, de connaître les facteurs qui interviennent.

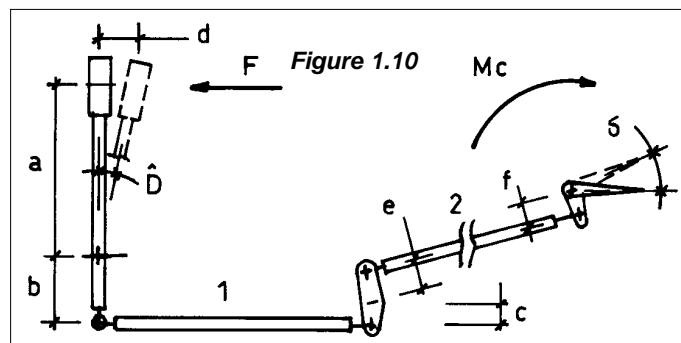
Afin que les forces à fournir soient moins importantes, les courses du manche et du palonnier devraient être les plus grandes possible, avec un grand effet de levier ; mais elles sont limitées par le rayon d'action des bras et des jambes, ainsi que par l'espace disponible.

Darrol Stinton, dans « The design of the aeroplane », donne les valeurs suivantes :

- Ailerons, de chaque coté : manche 190 mm, volant 90° .
- Profondeur : 125 mm poussé, 250 mm tiré.
- Direction, de chaque coté : 75 mm.

Sur la figure 1.10, les notations sont :

- a, b, c, e, f = bras de levier ; d = demi course.
- D° et δ° = débattements angulaires de la commande et de la gouverne.
- M_c = moment de charnière ;
- F = force exercée par la commande.



Le moment de charnière est proportionnel à :

- Le carré de la vitesse de vol.
- L'incidence de la surface dont fait partie la gouverne.
- Le braquage de la gouverne.
- Le produit (surface mobile x corde mobile, ce qui fait intervenir le carré de la corde de la gouverne.

⇒⇒ A surface et braquage égaux, l'effort sera moins grand avec une gouverne étroite et longue.

Dans la bielle 2, le moment de charnière donne une force $F_2 = (M_c / f)$.

Dans la bielle 1, on a : $F_1 = (M_c / f) (e / c)$, et,

Dans le manche, ou le palonnier : $F = (M_c / f) (e / c) (b / a)$.

En cas de commande directe, ou par câbles, s'il n'y a pas de relai : $(e / c) = 1$.

Cette relation permet de pré-estimer les forces, mais elle ne tient pas compte des variations des bras de levier lors des rotations, car les axes des pivots ne sont pas toujours alignés avec les ancrages des transmissions.

Une deuxième relation, $F \times a \times D^\circ = M_c \times \delta^\circ$, permet d'utiliser directement le braquage choisi.

La force est donc : $F = (M_c \times \delta^\circ) / (a \times D^\circ)$.

Commentaires :

Mais la course d étant limitée, on voit qu'une modification du braquage maxi oblige à modifier les bras de levier ; par exemple, une augmentation du braquage de la gouverne, qui conduit à un moment de charnière plus grand, provoque une deuxième augmentation de la force F, par diminution du bras de levier.

⇒⇒ Une réduction de la corde de la gouverne, accompagnée d'une réduction de la surface, demandera plus de braquage pour un même résultat ; la réduction de l'effort sera réelle, mais moins importante qu'espéré.

Afin d'éviter les erreurs, un tracé au 1/5 ou au 1/10 permet de tout définir, à partir du braquage δ et de la course de la commande.

Les variations de l'effort, tout au long du vol, viennent principalement des variations de la vitesse, ce qui peut poser des problèmes sur des avions ayant un grand écart de vitesse, avec des commandes trop légères aux basses vitesses, ou trop lourdes à vitesse maxi.

C'est rarement le cas sur les avions légers, sauf pour les « ULM » volant de 65 km/h à 300 km/h.

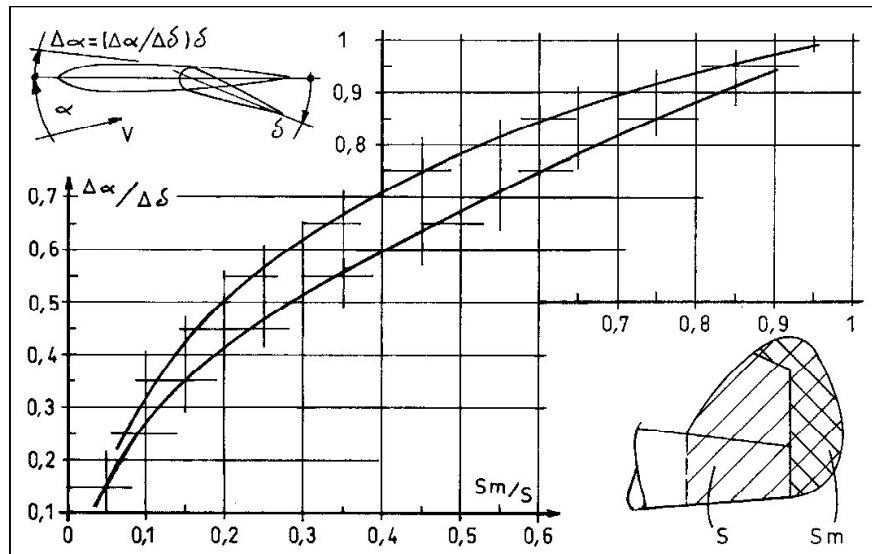
Les commandes ne doivent pas être trop légères, afin que les frictions inévitables ne prennent pas le dessus, et elles doivent être suffisamment lourdes aux grandes vitesses, pour servir de limites naturelles protégeant la structure de l'appareil contre les facteurs de charge trop élevés.

YY 2 : Méthode de calcul :

YY 2- 1 : Mode d'action d'un volet : Figure 2.1.

Figure 2.1 :
Supplément d'incidence ($\Delta\alpha$)
donné par le braquage δ
d'un volet.

La courbe inférieure
correspond à des profils
épais, des fentes non
obturées, des états de
surface dégradés, de faibles
nombres de Reynolds ; c'est
l'inverse pour la courbe
supérieure.
(d'après Hoerner, dans
« Fluid dynamic lift »



Un volet, partie arrière articulée d'un plan, déforme, lorsqu'il est braqué (δ°), la ligne moyenne du profil qui constitue le plan.

Cela donne, à l'ensemble de la surface (S), un supplément d'incidence [$\Delta\alpha$] qui est fonction du braquage et du rapport de sa surface à la surface mobile du volet (S_m).

Le « rendement de braquage » de la gouverne, est défini par le rapport ($\Delta\alpha / \Delta\delta$) = K_{sm} .

Ainsi, l'incidence du plan devient : $[\alpha + (\Delta\alpha)] = [\alpha + K_{sm} \cdot \delta]$.

La figure YY 2.2 montre la répartition des pressions, modifiée sur toute la corde, à laquelle s'ajoute la répartition propre du volet.

YY 2- 12 : Portance du plan :

Le coefficient de portance, $C_z = a \cdot \alpha$, devient :

$$C_z = a \cdot [\alpha + (\Delta\alpha)] = a \cdot \alpha + a \cdot (K_{sm}) \delta$$

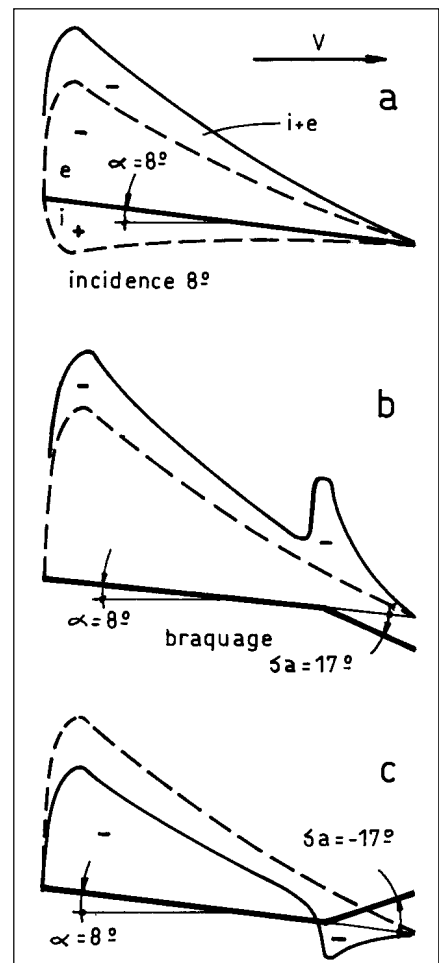
L'augmentation, ou la diminution, du C_z dépendent des signes (+ ou -) respectifs des angles α et δ . (figure 2.2 c)

La force de portance est : $Z = C_z \cdot S \cdot q = a \cdot [\alpha + K_{sm} \cdot \delta] \cdot S \cdot q$.

Figure 2.2 : En **a**, représentation simplifiée des pressions autour d'un plan incliné ; Le trait continu est la somme des traits interrompus.

En **b**, augmentation de la portance, du trait interrompu au trait plein, due au volet baissé. (Ici un aileron dont le braquage est δa).

En **c**, diminution due au volet relevé ; cas d'un aileron levé, ou d'une gouverne braquée contre le vent relatif. (gouvernail contrant un dérapage, ou gouverne de profondeur lors d'évolutions à forte incidence).



YY 2- 2 : Efforts dans les commandes :

La connaissance des forces et moments, même avec une précision relative, depuis le volet jusqu'au pilote, est indispensable pour le dimensionnement des organes, la connaissance des efforts à exercer sur les commandes, et la fixation des vitesses limites des manœuvres.

On peut ainsi les adapter par le biais d'équilibrages aérodynamiques - statiques - dynamiques ; sans parler de la compensation par tab, afin d'annuler les efforts en régime continu.

On a vu, au § 142 ; la formule qui prend en compte les divers bras de leviers, les déplacements angulaires, les forces et les moments à transmettre, en écrivant que le travail effectué est le même tout au long du circuit :

Pour la commande : travail = force x déplacement = $F \times d = F \times a \times \text{tg } D^\circ$.

Pour la gouverne, de manière analogue : $F \times d = Mc \times \text{tg } \delta^\circ$.

$$\text{D'où : } F = Mc (\delta^\circ / a.D^\circ)$$

Par exemple, supposons que l'on ait trouvé un moment de charnière du volet égal à 1 m.kg, pour $\delta = 10^\circ$; si la longueur du manche est de 0,5 m, et que son déplacement angulaire est de 6° , on obtient :

$$\text{Force} = 1 \times (10^\circ / (0,5 \times 6^\circ)) = 3,34 \text{ kg.}$$

Ainsi, on a la force exercée par cette commande particulière, pour 1 m.kg de moment de charnière.

Il est pratique de prendre le même signe, pour son déplacement angulaire, que celui de la gouverne.

YY 2- 21 : Moment de charnière (Mc) et son coefficient (Cc) :

2- 211 : Définition : Les forces aérodynamiques, qui résultent de la répartition des pressions qui règnent sur la surface mobile, donnent, par rapport à la charnière du volet, un moment **Mc**.

$$\text{Le coefficient de moment est : } Cc = Mc / (Sm \cdot lm \cdot qm / q)$$

Il est donc rapporté à la corde (lm) et à la surface (Sm) du volet, *comptées à partir de la charnière* ; ainsi qu'à la pression dynamique relative, au droit de la gouverne.

2- 212 : Origines du moment : La figure 2.1, b et c, a montré les pressions, sur toute la surface et sur le volet, donc la portance sur ce dernier, qui donne un moment de charnière.

Il est intéressant d'observer que ce moment résulte, en fait, de la somme de trois effets dus :

- à la portance de base, courbes en traits interrompus, fonction de l'incidence.
- au supplément de portance, due au $(\Delta\alpha) = Ksm \cdot \delta$, représenté par la « bosse » avant.
- au supplément local de portance, du au braquage du volet lui-même, la « bosse » arrière.

YY 2- 22 : Calculs du coefficient, du moment, et de l'effort:

2- 221 : Le coefficient :

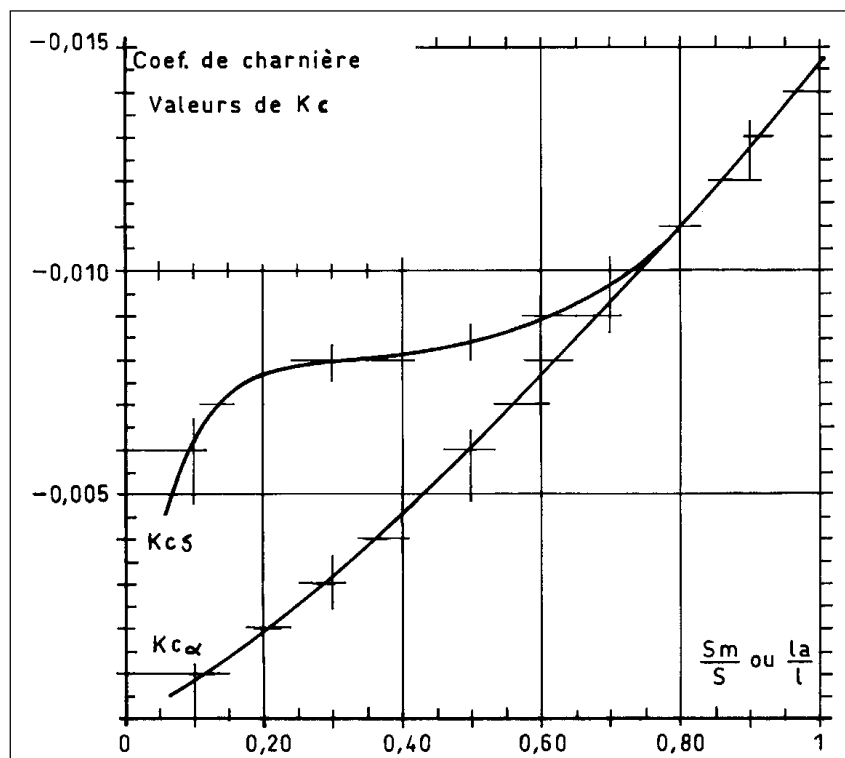
Il a donc trois composantes, réduites à deux, sur la fig. 2.3 :

- Cc_α du à l'incidence.
- Cc_δ du au braquage.

Comme ils sont variables avec la pente de la portance (a) de la surface, la figure donne un facteur Kc , pour α et δ de 1° chacun, et pour une pente égale à $0,064 Cz / ^\circ$.

Figure 2.3 : Calcul des coefficients de moment de charnière d'une gouverne, en fonction du rapport des surfaces (Sm / S) ou des cordes (la/l), pour les ailerons.

Charnières non étanches.



Pour obtenir le coefficient C_c , K_c sera multiplié par α ou δ et par $(a / 0,064)$:

$$C_c = [(K_{c\alpha} \times \alpha) + (K_{c\delta} \times \delta)] (a / 0,064)$$

Pour des charnières étanches : A débattements égaux, les efforts sont multipliés par 1,15.

Mais, à efficacité égale, on supposera qu'ils sont identiques, car les débattements sont moins grands.

2- 222 : Le moment :

La formule est : $M_c = q.C_c.S_m.l_m.(q_m/q)$; Il est donc nécessaire de connaître :

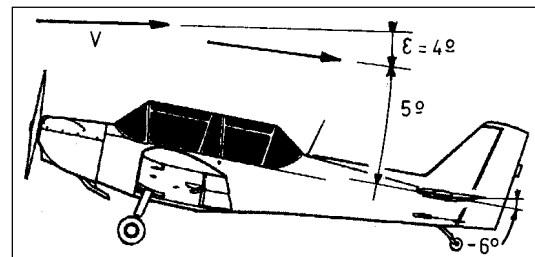
-- La chute de pression dynamique (q_m/q) au droit de la gouverne, variable suivant son emplacement et les diverses excroissances qui la précèdent.

-- La vitesse de vol, car $q = 0,0625 V^2$, en m/s pour obtenir des daN ou Kg par m^2 .

-- La pente « a » du plan dont fait partie la gouverne : $1/a = 10 + (20/\lambda) + (8/\lambda^2)$ avec $\lambda = b^2/S$

-- La surface S_m et la corde l_m de la gouverne ; dans la formule, le produit $S_m.l_m$ montre que le moment croît, en gros, avec le carré de la corde du volet, pour un même braquage ; un essai en vol du NACA, d'ailerons sur toute l'envergure, donnait, pour une corde x 1,67, un effort x 2,38 ; ceci pour des δ procurant le même taux de roulis.

2- 2221 : exemple avec un volet de profondeur : $S = 2 m^2$; $\lambda = 3,5$; $a = 0,061$; $S_m / S = 0,4$; $l_m = 0,3 m$; $V = 30 m/s$; $\alpha_2 =$ assiette 9° -- 4° de déflexion = 5° ; $\delta = -6^\circ$ en vol équilibré ; $q_m / q = 0,9$.



On a $(0,061 / 0,064) = 0,953$ et, sur la figure 2.3, on trouve : $K_{c\alpha} = -0,0045$ et $K_{c\delta} = -0,0082$

$$C_c = [(-0,0045 \times 5) + (-0,0082 \times -6)] \times 0,953 = +0,0267$$

$M_c = 0,0625 \times 0,0267 \times (2 \times 0,4) \times 0,3 \times 30^2 \times 0,9 = 0,324 m.kg$; auquel il faudrait ajouter le moment positif du à la masse du volet, suivant chaque cas particulier.

Effort sur le manche, tel que vu ci-dessus : $F = 0,324 \times 3,34 = 1,08 kg$ ou daN.

La force est positive, vers l'avant, il faut donc tirer sur le manche.

2- 2222 : exemple avec une vitesse et un braquage différents ; reprenons l'exemple ci-dessus, en changeant : $V = 50 m/s$, et un braquage, en évolution, de -10° :

$$C_c = [(-0,0045 \times 8) + (-0,0082 \times -10)] \times 0,953 = +0,0438$$

$$M_c = 0,0625 \times -0,0438 \times 0,8 \times 0,3 \times 50^2 \times 0,9 = 1,56 m.kg ; F = 1,56 \times 3,34 = 5,2 kg.$$

2- 223 : Le cas particulier des ailerons :

Les ailerons ont des braquages de sens contraire et souvent inégaux, alors que les ailes ont la même incidence au départ ; les deux ailerons doivent donc être traités séparément, et les résultats ajoutés.

Exemple avec des ailerons de $S_a = 0,5 + 0,5 m^2$; $l_a = 0,25$; $l_a/l = 0,2$; $\alpha_1 = 5^\circ$; $a_1 = 0,075$; $\delta a = +8, -12^\circ$; manche de $0,5 m$, avec D° , du côté de l'aileron levé, = $-7,5^\circ$; $V = 40 m/s$; $q_m/q = 1$.

On a $0,075 / 0,064 = 1,172$; $K_{c\alpha} = -0,002$ et $K_{c\delta} = -0,0077$

$$C_c \text{ levé} = [(-0,002 \times 5^\circ) + (-0,0077 \times -12^\circ)] \times 1,172 = 0,097$$

$$C_c \text{ baissé} = [(-0,002 \times 5^\circ) + (-0,0077 \times 8^\circ)] \times 1,172 = -0,084$$

$$M_c \text{ levé} = 0,0625 \times 0,097 \times 0,5 \times 0,25 \times 1600 \times 1 = 1,22 m.kg$$

$$M_c \text{ baissé} = 0,0625 \times -0,084 \times 0,5 \times 0,25 \times 1600 \times 1 = -1,06 m.kg$$

$$F = [(1,22 \times -12^\circ / (0,5 \times -7,5^\circ))] + [(-1,06 \times 8^\circ / (0,5 \times -7,5^\circ))] = +6,2 kg$$

Le manche pousse du côté de l'aileron baissé, il faut donc pousser du côté de l'aileron levé.

En conclusion : Il ne faudrait pas croire que ces calculs soient exacts !

Les efforts d'origine aérodynamique dépendent de facteurs difficilement quantifiables, tels que :

- Les variations de pression dynamique locale, dues aux interactions et aux turbulences.
- La géométrie exacte de la gouverne : découpes, joints des charnières.
- La forme de l'arrière du profil, du bord de fuite, les déformations du revêtement.
- Et très certainement d'autres choses.

On obtient donc des ordres de grandeur, disons à + ou - 20% près... Mais c'est déjà pas mal.

