

MESURE DU CENTRAGE D'UN PLANEUR

Le Versoud, 18 avril 2009

Casting	DG-400 F-CFVA Vincent Jovet Yves Sargentini
Texte et photos	Claude Lacombe

De passage au Grenoble Vol à Voile, au Versoud, pour rencontrer Yves Sargentini, restaurateur et pilote du Bréguet Br-905S Fauvette n° 43 F-CCJM, j'ai eu la chance d'assister à la mesure du centrage du planeur DG-400 de Vincent Jovet



*Centrage d'une aile volante
Backstrom EPB-1C (échelle 1/4)
avant son premier vol (Rétroplane, juillet 2007)*

Remarque : L_{AV} , distance en projection horizontale entre le bord d'attaque de l'aile et l'axe de la roue avant est trop petite pour être visible sur le schéma (le profil est bien celui du DG-400 à l'échelle)

Dans le cas d'un modèle réduit, la détermination du centrage ne pose aucun problème particulier. L'usage de bouteilles d'eau n'est pas obligatoire, on peut aussi utiliser des supports achetés à prix d'or dans le commerce spécialisé.

En grandeur, ce n'est pas beaucoup plus compliqué, il suffit de disposer d'une balance de pesée adaptée au poids du planeur et d'un décimètre.

On va voir en effet, que la mesure presque banale des deux masses M_{AV} et M_{AR} , d'une part, et des trois longueurs L_{AV} , L et h d'autre part permet de déduire très simplement la position du centre de gravité, L_G (schéma 1).

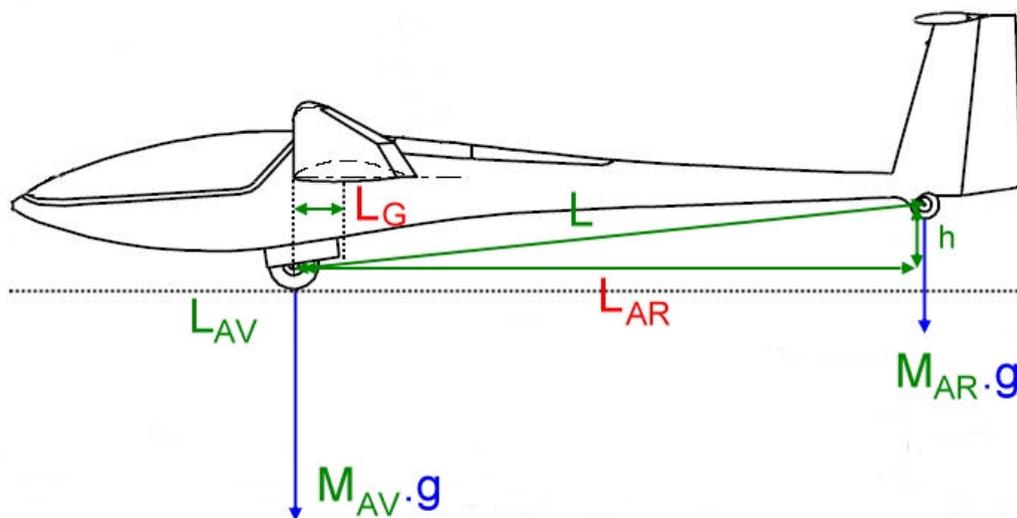


Schéma 1.



Vincent est bien motivé pour mener à bien la mesure du centrage de son planeur. Bien que cela ne fasse pas très pro, il n'a pas le crayon sur l'oreille car il ne tenait pas, à cause des lunettes.

1) Les mesures des masses doivent se faire planeur en ordre de vol :

Ici le planeur étant équipé d'un dispositif d'envol incorporé, il a fallu remplir le réservoir de carburant. Le pylône doit être rétracté, le parachute et les équipements mobiles en place dans le cockpit...

2) Le planeur est monté sur la balance, et les ailes maintenues horizontalement.



3) Il faut ensuite donner au planeur son assiette de vol. Un cric hydraulique placé sous la roulette de queue fait parfaitement l'affaire.

Pendant le positionnement longitudinal du planeur, Yves, très concentré, assure la manœuvre du cric pendant que Vincent contrôle l'assiette.

L'assiette est donnée par l'angle de l'arête supérieure de la poutre arrière avec l'horizontale : la valeur de cet angle est donnée par le constructeur.

4) Les pesées, on l'a dit, doivent être faites le planeur étant en configuration de vol : le pilote doit donc être dans le cockpit, et la verrière fermée (si, si, il y a bien une variation significative de la mesure si elle reste ouverte).

La pesée avant peut maintenant être effectuée :

$$M_{AV} = 399,5 \text{ kg}$$

(on n'oublie pas bien sûr de tarer la balance pour ne pas compter la masse de la planchette et des cales sous la roue)



5) On peut maintenant faire la pesée au niveau de la roue arrière.

L'assiette du planeur ne doit pas avoir modifiée et le pilote doit toujours être dans le cockpit.

La mesure donne $M_{AR} = 31 \text{ kg}$

6) Pour pouvoir calculer les moments des poids, il faut mesurer la position de leur point d'application. On choisit le plan vertical passant le bord d'attaque de l'aile comme origine des longueurs.

Pour le poids sur la roue avant, il faut donc mesurer la distance entre le bord d'attaque et l'axe de la roue (en projection horizontale bien sûr).

Un cadenas qui se trouva it là par hasard a été réquisitionné sans que personne ne lui demande son avis, et a fait, ma foi, un fil à plomb tout à fait convenable pour matérialiser la verticale du bord d'attaque.

$$L_{AV} = 42 \text{ mm}$$

L'axe de la roue est très légèrement en arrière du bord d'attaque.



7) Pour le poids sur la roulette arrière, il faut mesurer la projection horizontale de la distance entre le bord d'attaque de l'aile et l'axe de la roue arrière (L_{AR} sur les schémas 1 et 2).

On mesure l'entraxe des deux roues $L = 4134 \text{ mm}$ et la différence de hauteur des deux axes $h = 500 \text{ mm}$. Attention, ce n'est pas la différence de hauteur des points d'appui des roues qu'il faut mesurer, mais bien la différence de hauteur des axes (schéma 2).

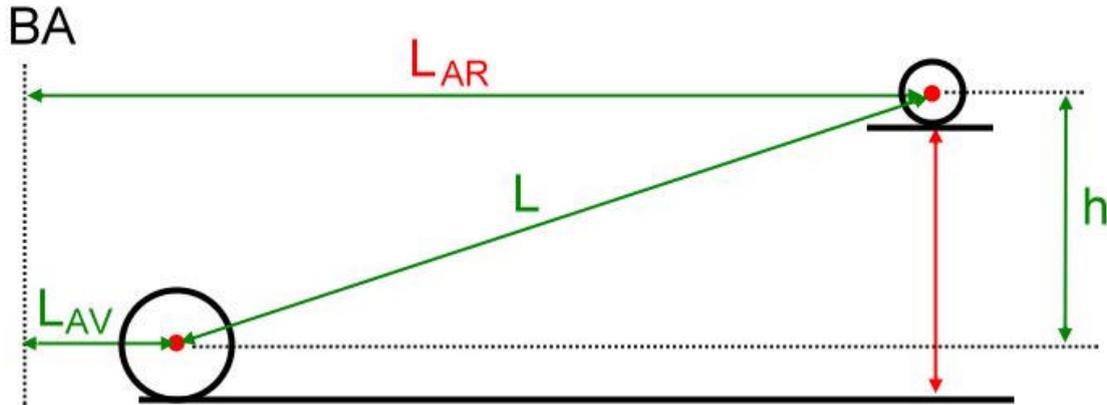


Schéma 2.

Pythagore, à l'aide ! (schéma 2)

$$L_{AR} = L_{AV} + \sqrt{L^2 - h^2} = 42 + 4104 \quad \mathbf{L_{AR} = 4146 \text{ mm}}$$

8) Position du centre de gravité du planeur par rapport au bord d'attaque

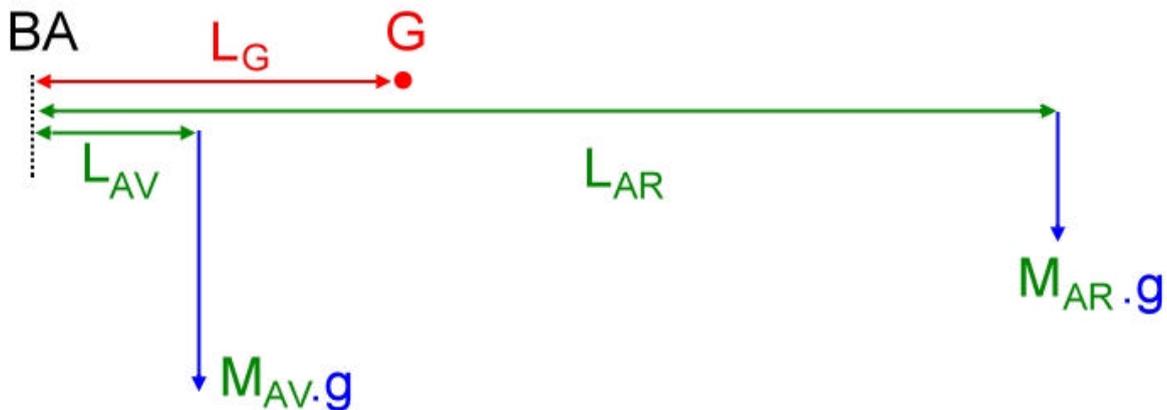


Schéma 3.

(BA : bord d'attaque, G centre de gravité)

Par définition du centre de gravité, les moments des poids mesurés, par rapport à ce point, sont égaux (en module)

Si L_G est la distance entre bord d'attaque et centre de gravité :

$$(L_{AR} - L_G) \cdot M_{AR} \cdot g = (L_G - L_{AV}) \cdot M_{AV} \cdot g$$

(g accélération de la pesanteur puisqu'on exprime le moment des poids)

D'où la position du centre de gravité par rapport au bord d'attaque :

$$L_G = \frac{L_{AR} \cdot M_{AR} + L_{AV} \cdot M_{AV}}{M_{AR} + M_{AV}}$$

$$\text{Soit } L_G = \frac{4146 \times 31 + 42 \times 399,5}{31 + 399,5} \quad \mathbf{L_G = 337,5 \text{ mm}}$$

On exprime souvent la position du centre de gravité en % de la corde de l'aile à l'emplanture, (ou de la corde moyenne), toujours par rapport au bord d'attaque.

Pour le DG 400 la corde à l'emplanture vaut $\mathbf{C = 849 \text{ mm}}$

(valeur trouvée sur le plan 3 vues, sur le site du constructeur Glaser Dirks)

$$100 \cdot \frac{L_G}{C} = 100 \cdot \frac{337,5}{849} = 39,7 \%$$

9) Incertitudes sur la mesure

Exprimons la différentielle logarithmique de L_G c'est-à-dire $d(\ln L_G)$

$$\frac{dL_G}{L_G} = \frac{dL_{AR} \cdot M_{AR} + dL_{AV} \cdot M_{AV} + L_{AR} \cdot dM_{AR} + L_{AV} \cdot dM_{AV}}{L_{AR} \cdot M_{AR} + L_{AV} \cdot M_{AV}} = \frac{dM_{AR} + dM_{AV}}{M_{AR} + M_{AV}}$$

L'incertitude relative (majorant de l'expression précédente)

$$\frac{\Delta L_G}{L_G} = \frac{\Delta L_{AR} \cdot M_{AR} + \Delta L_{AV} \cdot M_{AV} + L_{AR} \cdot \Delta M_{AR} + L_{AV} \cdot \Delta M_{AV}}{L_{AR} \cdot M_{AR} + L_{AV} \cdot M_{AV}} + \frac{\Delta M_{AR} + \Delta M_{AV}}{M_{AR} + M_{AV}}$$

Les incertitudes sur les mesures des masses sont les mêmes (la même balance a été utilisée pour les deux mesures : $\Delta M_{AV} = \Delta M_{AR} = \Delta M = 1 \text{ kg}$ (la balance affiche à 1 kg près))

Les incertitudes sur la mesure des longueurs n'est pas la même :

$\Delta L_{AV} = 2 \text{ mm}$ (incertitude sur les reports avec l'équerre fil à plomb...)

$\Delta L_{AR} = 5 \text{ mm}$ (mesure faite avec un mètre souple, positionnement sur l'axe des roues...)

$$\frac{\Delta L_G}{L_G} = \frac{\Delta L_{AR} \cdot M_{AR} + \Delta L_{AV} \cdot M_{AV} + L_{AR} \cdot \Delta M + L_{AV} \cdot \Delta M}{L_{AR} \cdot M_{AR} + L_{AV} \cdot M_{AV}} + \frac{2 \cdot \Delta M}{M_{AR} + M_{AV}}$$

$$\frac{\Delta L_G}{L_G} = \frac{\Delta L_{AR} \cdot M_{AR} + \Delta L_{AV} \cdot M_{AV}}{L_{AR} \cdot M_{AR} + L_{AV} \cdot M_{AV}} + \left[\frac{L_{AR} + L_{AV}}{L_{AR} \cdot M_{AR} + L_{AV} \cdot M_{AV}} + \frac{2}{M_{AR} + M_{AV}} \right] \Delta M$$

Application numérique :

$$\frac{\Delta L_G}{L_G} = \frac{5 \times 31 + 2 \times 399,5}{4146 \times 31 + 42 \times 399,5} + \left[\frac{4146 + 42}{4146 \times 31 + 42 \times 399,5} + \frac{2}{31 + 399,5} \right] \cdot 1$$

$$\frac{\Delta L_G}{L_G} = 0,04 \quad \text{soit une précision} \quad 100 \cdot \frac{\Delta L_G}{L_G} = 4\%$$

$$\text{précision de la mesure} \quad \frac{\Delta L_G}{L_G} = 4 \%$$

Incertitude absolue $\Delta L_G = 337,5 \times 0,04 = 13 \text{ mm}$

Finalement :

$$\mathbf{L_G = 337 \pm 13 \text{ mm}}$$

10) Autres mesures

Il est possible de calculer séparément le moment du pilote. Cela peut être intéressant, par exemple dans le cas où le planeur est piloté par des personnes de poids différents, pour calculer le centrage selon le pilote, connaissant juste le poids de ce dernier.

Il suffit de refaire les deux pesées ci-dessus, mais sans le pilote dans le cockpit. On en déduit aisément le moment du poids du pilote, puis son bras de levier.

De même pour divers accessoires un peu lourds (batterie, bombonnes à oxygène...), afin de connaître le centrage selon la présence ou non (ou la place) de ces accessoires dans le planeur.

Pour plus de commodité, on peut, comme l'a fait Vincent, rassembler tous ces petits calculs dans une feuille de calcul de tableur.