

# Calcul complet du centrage et du calage d'un planeur

Matthieu SCHERRER  
matthieu.scherrer.04@supaero.org

Septembre 2003

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Les mesures utiles du planeurs</b>	<b>3</b>
1.1	Géométrie de l'aile . . . . .	3
1.2	Géométrie du stab . . . . .	4
1.3	Géométrie du fuselage . . . . .	5
1.4	Résultat : le volume de stab $V_S$ . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Détermination du centrage et du V longitudinal par "la règle de l'usage"</b>	<b>6</b>
2.1	Trouver le centrage . . . . .	6
2.2	Trouver le V longitudinal . . . . .	6
2.2.1	Corriger le changement de profil ( $\alpha_0$ ) . . . . .	7
2.2.2	Pour les pinailleurs, corriger le changement d'allongement $\lambda$ . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Se donner les moyens de tout faire en théorie</b>	<b>8</b>
3.1	Aspect centrage : détermination de la marge statique . . . . .	8
3.1.1	Détermination du foyer du planeur complet . . . . .	8
3.1.2	Passage du centrage sur la corde moyenne à la marge statique . . . . .	10
3.2	Détermination du V longitudinal théorique . . . . .	11

# Introduction

Voici un petit résumé de ce qu'il faut mettre en œuvre pour calculer le calage et le centrage d'un planeur, avec une précision suffisante. Il s'agit d'une compilation de différentes sources écrites, qui permet de résoudre en pratique le problème du centrage et du calage.

Le besoin de mettre tout ceci au propre vient du fait qu'il m'a fallu régler un planeur atypique, un Nimbus 4D. L'allongement très important de ce planeur m'a amené à poser la question : quels réglages ?

Toutes les applications numériques seront donc faites pour ce planeur. Cependant la méthode s'applique pour tout planeur.

La conclusion de ce travail sera certainement que c'est très lourd à mettre en place. Du point de vue de l'efficacité, des règles de bon sens se basant sur l'expérience sont certainement aussi valables, sinon plus !

# Chapitre 1

## Les mesures utiles du planeurs

Afin de calculer complètement le calage et le  $V$  longitudinal d'un planeur, ou bien de reproduire celui d'un planeur existant, il faut connaître un certain nombre de paramètres sur le planeur.

### 1.1 Géométrie de l'aile

Voici les grandeurs les plus importantes :  
La géométrie précise de l'aile est donnée en Fig. 1.3, je ne répéterai donc pas tout.

Grandeur	Symbole	Valeur pour le Nimbus 4d
Envergure	$b$	$4\text{ m}$
Surface	$S$	$45\text{ dm}^2$
Corde moyenne	$CM$	$118\text{ mm}$
Allongement de l'aile	$\lambda_A$	36

On calcule l'allongement  $\lambda_A$  et la corde moyenne  $CM$  de l'aile à partir des différentes mesures de base de l'aile.

#### Détermination de l'allongement

Connaissant la surface  $S$  et de l'envergure  $b$ , on peut calculer l'allongement  $\lambda_A$  par la formule :

$$\lambda = \frac{b^2}{S}$$

Où  $b$  est l'envergure. Pour l'aile du Nimbus 4D, avec toutes les dimensions en  $dm$ , on trouve :

$$\lambda_A = \frac{40^2}{45_{Nimbus4D}} = 36$$

## Détermination de la corde moyenne

Il existe une formule qui donne la corde moyenne  $CM$ , mais elle est relativement complexe pour des ailes à plusieurs cassures :

$$CM = \frac{2}{3S} \sum_{i=1}^N l_i (C_{i-1}^2 + C_{i-1}C_i + C_i^2) \quad (1.1)$$

Avec pour une aile à  $N$  cassures, ( $l_i, i = (1, 2, \dots, N)$ ) la longueur des panneaux successifs, ( $C_i, i = (0, 1, \dots, N)$ ) les cordes successives le long de l'envergure. Bref, c'est du barbare...

Le mieux est d'utiliser le programme "Corde Moyenne" De JC Etiemble, disponible sur internet, il fait ça très bien.

Pour le Nimbus 4D, le résultat est donné en Fig. 1.3.

On trouve notamment :

$$CM_{Nimbus4D} = 118mm$$

Données (mm)						
	Trapèze 1	Trapèze 2	Trapèze 3	Trapèze 4	Trapèze 5	
Corde Maxi :	150	115	100	75	60	Σ Calcul
Corde Mini :	115	100	75	60	40	
Longueur Trapèze :	1075	375	300	110	150	✕ Efface
Flèche +/- :	-13	2	25	35	60	
Centrage à % :	38					🖨 Imprimer

Résultats			
Envergure :	4 020.00 mm	Distance X :	864.50 mm
Surface :	44.79 dm <sup>2</sup>	Corde moyenne :	118.43 mm
Allongement :	36.08	Distance de centrage :	44.10 mm

FIG. 1.1 – Le calcul grace au programme Corde Moyenne.

## Détermination du foyer de l'aile

On définit le foyer de l'aile comme étant le quart de la corde moyenne. En pratique le calcul peut se faire avec corde moyenne, en demandant la distance de centrage par rapport au bord d'attaque pour un centrage de 25% (1/4 de la corde moyenne). Pour le Nimbus 4D on trouve :

$$X_{Foyer\ Aile\ Nimbus4D} = 1/4 * 118mm = 29mm$$

Ce point correspond à une distance par rapport au bord d'attaque, à l'emplanture.

## 1.2 Géométrie du stab

Voici les grandeurs les plus importantes :

Grandeur	Symbole	Valeur pour le Nimbus 4d
Surface du stab	$S_S$	$3.45\ dm^2$
Allongement du stab	$\lambda_S$	6.1
Envergure stab	$b_S$	$460\ mm$

Là encore l'allongement du stab  $\lambda_S$  peut être calculé :

$$\lambda_S = \frac{4.6^2}{6.1\ Nimbus4D} = 6.1$$

## 1.3 Géométrie du fuselage

Le fuselage est principalement défini par sa longueur arrière, et notamment le bras de levier entre l'aile et le stab. On considère  $l$  la distance entre le bord d'attaque de l'aile à l'emplanture et le quart de la corde du stabilisateur.

Pour plus de précision dans la suite, on peut également prendre en compte la hauteur  $h$  entre l'axe de la corde de l'aile et la position du stabilisateur.

Grandeur	Symbole	Valeur pour le Nimbus 4d
Longueur fuselage arrière	$l$	$750\ mm$
Position foyer aile	$X_{Foyer\ Aile}$	$29\ mm$
Bras de levier	$BL = l - X_{Foyer\ Aile}$	$721\ mm$
Hauteur du stab	$h$	$225\ mm$

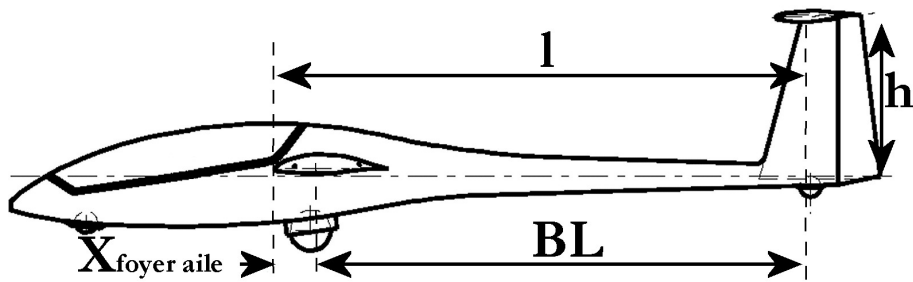


FIG. 1.2 – Les mesures du fuselage.

## 1.4 Résultat : le volume de stab $V_S$

Le but de réunir routes ces mesures, c'est entre autre de calculer le volume de stab...

Le volume de stab  $V_S$  est une grandeur caractéristique qui donne une idée des proportions du stabilisateur. Ainsi, deux planeur qui ont le même volume de stab ont à peu près le même comportement aérodynamique en tangage.

$V_S$  est donné par :

$$V_S = \frac{BL}{CM} \frac{S_{stab}}{S_{aile}} \quad (1.2)$$

Pour le Nimbus 4D on trouve :

$$V_{SNimbus4D} = 0.47$$

Ce qui n'est pas si faible finalement (quand on voit le stab ridiculement petit...).

Classiquement pour des F3B par exemple, le volume de stab est compris entre  $V_S = 0.4$  (Ellipse 2) et  $V_S = 0.5$  (Caracho 3.1)

## Chapitre 2

# Détermination du centrage et du V longitudinal par "la règle de l'usage"

Cette méthode, qui consiste à reproduire ce qui se fait déjà, est la méthode utilisée le plus souvent, et elle est très efficace la plupart du temps. Elle se base sur le fait que l'on peut reproduire, sur un nouveau planeur, le réglage d'un planeur de référence que l'on connaît bien.

Cependant, en toute rigueur, il faut avoir sous la main un planeur plus ou moins comparable au planeur que l'on veut régler. Dans le cas du Nimbus 4D, je ne connaissais pas de planeur de référence avec un tel allongement. C'est pour cela que je présente en § 3.2 ici le calcul complet.

### 2.1 Trouver le centrage

La méthode pour reproduire le centrage d'un planeur connu est la plus utilisée. Son utilisation la plus basique, c'est de chercher la corde moyenne  $CM$ , et de centrer à 33%. Puis on ajuste en vol.

On peut quand même faire un peu mieux, pour converger plus vite vers un résultat intéressant en vol. La méthode c'est en deux mots :

- Trouver un planeur qui ressemble au planeur que l'on veut régler, **notamment en terme de volume de stab**.
- Regarder à combien de % de la corde moyenne ce planeur de référence est centré.
- Centrer le nouveau planeur comme le planeur que l'on copie.

### 2.2 Trouver le V longitudinal

Concernant la reproduction du V longitudinal, c'est un peu plus compliqué que pour le centrage. Il y a deux raisons principales qui peuvent faire que le planeur de référence et le planeur à régler diffèrent :



1. Le profil, au travers de son angle de portance nulle  $\alpha_0$ .
2. Dans une moindre mesure, l'allongement  $\lambda$ .

Cependant, on peut corriger les effets du changement de  $\alpha_0$  et de  $\lambda$ .

De la même façon que pour le centrage, il faut effectuer plusieurs étapes pour :

- Trouver un planeur qui ressemble au planeur que l'on veut régler, **notamment en terme de volume de stab**.
- Regarder quel est le V longitudinal de ce planeur.
- Effectuer les corrections liées au changement de profil (et éventuellement aussi au changement d'allongement).
- Construire le même V longitudinal sur le nouveau planeur en conséquence.

Nous allons voir les corrections à apporter pour pouvoir reproduire par la règle de l'usage le V longitudinal d'un planeur de référence sur un nouveau planeur à régler.

Dans la suite, on prend un planeur de référence, dont le V longitudinal est  $V_{ref}$ , l'allongement  $\lambda_{ref}$  et le profil possède un angle de portance nulle  $\alpha_{0ref}$ . On veut connaître le V longitudinal  $V$  d'un nouveau planeur à régler, dont l'allongement est  $\lambda$  et le profil possède un angle de portance nulle  $\alpha_0$ .

### 2.2.1 Corriger le changement de profil ( $\alpha_0$ )

Le changement de profil peut avoir comme conséquence la modification de l'angle de portance nulle  $\alpha_0$ .

Il faut reporter cette différence sur le nouveau V longitudinal de la façon suivante :

$$V = V_{ref} - (\alpha_{0ref} - \alpha_0) \quad (2.1)$$

### 2.2.2 Pour les pinailleurs, corriger le changement d'allongement $\lambda$

Une modification de l'allongement modifie l'écoulement tridimensionnel sur l'aile, de même que la deflexion de l'aile sur le stab, et donc son efficacité.

Si bien qu'il faut envisager aussi de changer le calage en fonction de l'allongement. Mais cet effet est quand même moins important que celui de  $\alpha_0$ , surtout si les allongements sont proches.

Voici de quoi calculer le nouveau V, en fonction des  $\alpha_0$  et des allongements  $\lambda$ .

$$V = \frac{1 - \frac{2}{\lambda_{ref}}}{1 - \frac{2}{\lambda}} (V_{ref} - \alpha_{0ref}) - \alpha_0 \quad (2.2)$$

# Chapitre 3

## Se donner les moyens de tout faire en théorie

Bon maintenant relevons les manches, branchons la calculette entre les deux oreilles et allons y.

On va voir que si vraiment on veut faire un calcul, et que celui-ci en vaille la peine, il faut pas mal de travail...

### 3.1 Aspect centrage : détermination de la marge statique

La grandeur "efficace" du centrage du point de vue de la dynamique (test du piqué), c'est la marge statique. Il s'agit de la distance du CG au foyer du planeur complet, divisé par la corde moyenne  $CM$

$$Marge\ statique = \frac{X_{CG} - X_{Foyer}}{CM}$$

Il faut donc, notamment, déterminer la position du foyer global.

Une marge statique de 0% correspond à un planeur limite instable, une grande valeur de marge statique correspond à un planeur qui remonte fort au test du piqué. En pratique, il est souhaitable d'avoir une marge statique de l'ordre de 10-15%, voire 20%. Un tel réglage correspond à un planeur qui remonte légèrement lors du test du piqué.

Voici comment, en pratique, trouver tout ça.

#### 3.1.1 Détermination du foyer du planeur complet

Dans un premier, temps, il faut déterminer la position du foyer du planeur complet.

Le foyer du planeur complet est un point particulier, dont la position dépend des allongements de l'aile  $\lambda_A$  et du stab  $\lambda_S$ , du volume de stab, des bras de levier du fuselage, et de la position du stab.

Le foyer du planeur complet sur une configuration classique (pas un canard...) se trouve derrière le point de 25% de la corde moyenne qui est notre point de référence. Voici quelle est la valeur  $\Delta X_{foyer}$  du "recul" du foyer depuis le point de 25% de la corde :

$$\Delta X_{Foyer\ complet} = \left( V_S (1 - \hat{\epsilon}) \frac{a_{stab} C_{z_{\alpha\ stab}}}{a_{aile} C_{z_{\alpha\ aile}}} \right) CM \quad (3.1)$$

Avec (attention accrochez vous !)

- $V_S$  le volume de stab vu en Eq. 1.2 (Au fait,  $V_{SNimbus4D} = 0.47$ ).
- $\hat{\epsilon}$  qui décrit l'interaction de l'aile sur le stab est qui est donné en première approximation par :

$$\hat{\epsilon} = \frac{4}{\lambda_A + 2}$$

Cependant cette formule que l'on trouve assez facilement dans la littérature ne prend pas du tout en compte la position du stab. Il s'agit en fait de l'interaction d'un stab placé "très loin" de l'aile.

Une valeur plus réaliste, mais moins pratique à utiliser est donnée par la grosse formule :

$$\left\{ \begin{array}{l} \hat{\epsilon} = \frac{2}{\pi} \frac{1}{1 + \sqrt{1 + \lambda_A^2/4}} \left[ \left( 1 + \frac{r_x}{\sqrt{\pi^2/16 + r_x^2 + r_h^2}} \right) \frac{\pi/4}{\pi^2/16 + r_h^2} + \frac{\pi/4}{\sqrt{\pi^2/16 + r_x^2 + r_h^2}} \frac{r_x}{r_x^2 + r_h^2} \right] \\ \text{Où :} \\ r_x = \frac{2 BL}{b}, \text{ lié au bras de levier } BL \text{ du stab} \\ r_h = \frac{2 h}{b}, \text{ lié à la hauteur } h \text{ du stab} \\ \text{(pour un stab en V, on prendra } h \text{ la demi hauteur du stab)} \end{array} \right.$$

- $a_{stab}$  et  $a_{aile}$  des "facteurs correctifs" liés respectivement à l'allongement  $\lambda_S$  du stab et  $\lambda_A$  de l'aile, comme suit :

$$a_{stab} = \frac{1}{1 + \frac{2}{\lambda_S}}$$

$$a_{aile} = \frac{1}{1 + \frac{2}{\lambda_A}}$$

- Enfin  $C_{z_{\alpha\ stab}}$  et  $C_{z_{\alpha\ aile}}$  décrivent le comportement du profil respectivement du stab et de l'aile.  $C_{z_{\alpha}}$  est la pente de la courbe  $Cz(\alpha)$  En première approximation :

$$\frac{C_{z_{\alpha\ stab}}}{C_{z_{\alpha\ aile}}} = 1.$$

Pour le Nimbus 4D, on trouve en appliquant toutes ces formules :

$$\dot{\epsilon}_{Nimbus4D} = 0.14$$

$$a_{stabNimbus4D} = 0.75$$

$$a_{aileNimbus4D} = 0.95$$

Au bilan, en assemblant tout ça :

$$\begin{aligned} \Delta X_{Foyer\ complet\ Nimbus4D} &= (0.47 (1 - 0.14) \frac{0.75}{0.95}) * 118 \\ &= 38mm \end{aligned}$$

Rappelons que le résultat donne le recul du foyer du planeur complet par rapport au foyer de l'aile à 25% de corde de corde moyenne. Il faut donc corriger pour avoir la distance du foyer complet par rapport au bord d'attaque à l'emplanture :

$$X_{Foyer\ complet} = X_{Foyer\ Aile} + \Delta X_{Foyer\ complet}$$

Le point des 25% de corde est lui situé à  $X_{Foyer\ Aile\ Nimbus4D} = 29mm$  du bord d'attaque à l'emplanture. pour le foyer du planeur complet on a finalement :

$$X_{Foyer\ complet\ Nimbus4D} = 29 + 38 = 67mm$$

On notera au passage que le foyer complet du planeur correspond à la limite arrière de centrage théorique. En réalité, le planeur devient difficile à piloter avant d'en arriver là, mais ca donne malgré tout une petite idée.

### 3.1.2 Passage du centrage sur la corde moyenne à la marge statique

La marge statique, c'est la distance entre le foyer complet de l'aile et le centre de gravité, le tout divisé par la corde moyenne :

$$Mstat = \frac{d_{foyer-CG}}{CM}$$

Avec les mesures précédentes, exprimées en distance par rapport au BA , cela donne :

$$Mstat = \frac{X_{Foyer\ complet} - X_{CG}}{CM}$$

Pour le Nimbus 4D on peut effectuer le calcul pour plusieurs centrage, exprimés là encore en terme de distance au bord d'attaque.

$$Mstat_{Nimbus4D} = \frac{67 - X_{CG} (en\ mm)}{118}$$

Distance du BA à l'implanture en mm	Centrage en % de $CM$	Marge statique en %
30	26	31
35	30	27
40	34	23
45	39	19
50	43	14
55	47	10
60	51	6

Correspondance marge statique / centrage en % de  $CM$ ,  
pour le Nimbus 4D uniquement.

On pourra alors comparer la marge statique obtenue avec le pourcentage de la corde moyenne que cela représente. Le rapport entre les deux dépend beaucoup de l'allongement, et on retrouve pour le nimbus le fait que sur un planeur à grand allongement peut être centré loin sur la corde moyenne.

Si l'on veut une marge statique de l'ordre de 15%, il faut donc pour le Nimbus 4D centrer aux alentours de 42% de la corde moyenne !

## 3.2 Détermination du $V$ longitudinal théorique

A venir...