

Compte-rendu TP Mécanique des fluides

Étude d'un profil d'aile d'avion

Antoine GERMAIN et Nicolas LLORENS
Encadrant : William GILBERT



Sommaire

Introduction	3
I. Expériences réalisées et résultats	3
1) Préparation et étalonnage	3
2) Mesure globale des efforts et polaire de l'aile	4
3) Calcul des coefficients de portance/traînée dus aux seuls efforts de pression	6
II. Interprétation des résultats	7
III. Difficultés rencontrées	7
Conclusion	8

Introduction

Lors de notre travail au centre de l'Yvette, nous avons eu l'occasion d'étudier un profil d'aile d'avion en soufflerie de type Eiffel. Ce type de soufflerie est une soufflerie en circuit ouvert constituée de trois parties : la première est un collecteur convergent, suivi d'une veine d'essais, puis d'un diffuseur divergent abritant le ventilateur.

Le profil d'aile d'avion est situé dans la veine d'essais et est biconvexe symétrique. D'envergure $L = 15$ cm et de corde $l = 10$ cm, son incidence peut être contrôlée par un moteur avec une précision réglable (un degré pour notre part).

De plus, une balance aérodynamique deux directions, à jauges de contraintes, nous permet de mesurer les composantes de l'effort global exercé par l'écoulement sur l'aile selon l'axe x (axe central de la soufflerie) et l'axe z (axe orthogonal à l'axe x et dirigé vers le ciel), soit la traînée et la portance.

Enfin, un multimanomètre composé de colonnes d'eau permettait de mesurer la pression en de nombreux points (onze) répartis sur l'intrados.

I. Expériences réalisées et résultats

1) Préparation et étalonnage

Dans un premier temps, on se propose de déterminer les caractéristiques du profil d'aile (traînée, portance et finesse) par une mesure globale des efforts à l'aide d'une balance aérodynamique deux axes en vue de tracer la polaire de l'aile. Pour déterminer les coefficients de portance C_z et de traînée C_x , la première chose à faire est d'identifier la relation entre la tension mesurée par la balance et la force correspondante. Après avoir déterminé quel canal mesure la portance (on se place à incidence nulle et la portance doit alors être nulle puisque le profil est symétrique), on réalise plusieurs mesures de tension en appliquant une masse connue sur le profil dans chacune des deux directions (en se servant d'une poulie pour la composante horizontale). On obtient alors la relation entre le poids appliqué et la tension mesurée (Figure 1).

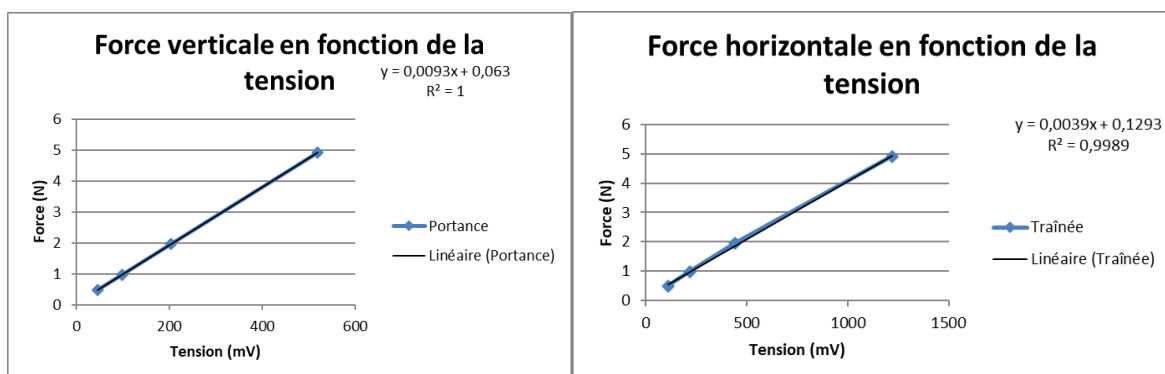


Figure 1 : Relations tensions mesurées - forces exercées

Puis, nous avons fixé une vitesse de référence, repérée grâce à la colonne d'eau correspondante dans le multimanomètre, que nous avons essayé de maintenir durant toutes les expériences. La valeur fixée pour la vitesse de l'écoulement (calculée à l'aide du théorème de Bernoulli) est de : 28,072 m/s. Le nombre de Reynolds est alors de : 18412,574.

2) Mesure globale des efforts et polaire de l'aile

L'objectif de cette partie est de tracer la polaire du profil d'aile, c'est-à-dire la courbe $C_z = f(C_x)$ paramétrée en incidence. On fait varier l'angle d'incidence i degré par degré ($0^\circ < i < 19^\circ$) et on mesure à chaque fois les tensions horizontales T_x et verticales T_z qui nous fournissent la résultante en portance R_z et en traînée R_x grâce à la relation obtenue précédemment. On en profite pour observer le décollement de la couche limite à l'aide de fils attachés à l'extrados.

Une première série de mesure n'a pas aboutie en raison d'un décollement tardif de la couche limite et d'une forte instabilité de la vitesse de l'écoulement. Nous avons préféré recommencer une série de mesures (en faisant varier l'angle d'incidence i par tranche de deux degrés jusqu'à 10° pour gagner du temps). La vitesse était plus stable mais le décollement reste tardif...

Les coefficients de traînée C_x et de portance C_z sont obtenus simplement à partir de la résultante correspondante qu'on divise par une constante. On peut ensuite déterminer la finesse $f = \frac{C_z}{C_x}$ maximale, à savoir $f = 19,360$ pour $i = 8^\circ$. Les différentes mesures et les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Angle i ($^\circ$)	T_z (Portance)	T_x (Traînée)	C_x	C_z	$\frac{C_z}{C_x}$
------------------------	------------------	-----------------	-------	-------	-------------------

2	250	99	0,041	0,312	7,576
4	507	117	0,049	0,633	13,000
6	850	144	0,060	1,061	17,708
8	1110	172	0,072	1,386	19,360
10	1200	191	0,079	1,498	18,848
11	1280	210	0,087	1,598	18,286
12	1345	228	0,095	1,679	17,697
13	1390	250	0,104	1,735	16,680
14	1440	277	0,115	1,797	15,596
15	1460	350	0,146	1,822	12,514
16	1400	400	0,166	1,747	10,500
17	1360	440	0,183	1,698	9,273
18	670	720	0,300	0,836	2,792
19	627	770	0,320	0,783	2,443

On trace finalement la polaire de l'aile (Figure 2).

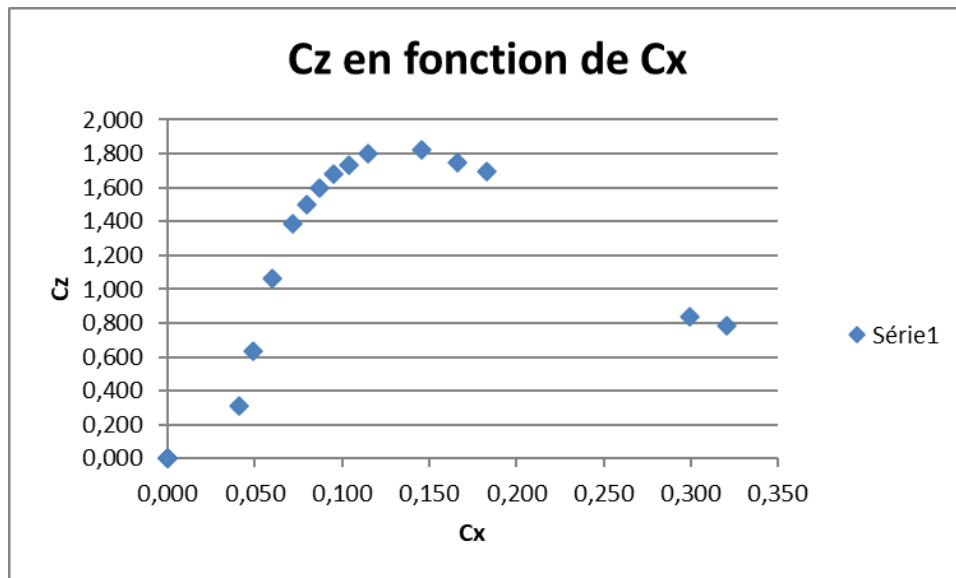


Figure 2: Polaire de l'aile

3) Coefficients de portance/trainée dus aux seuls efforts de pression

Dans cette dernière partie du TP, on cherche à calculer les coefficients de portance et de traînée dus aux seuls efforts de pression, à partir d'un relevé de pressions autour du profil d'aile pour une incidence déterminée.

On se place dorénavant dans le repère (n,t) lié à l'aile et à l'incidence $i = 8^\circ$ (qui maximise la finesse). On réalise alors onze mesures de pression réparties sur l'intrados (les coordonnées des prises de pression dans le repère (n,t) nous sont indiquées) qui nous fournissent le coefficient de pression local K_{pi} . On mesure les pressions sur l'extrados en inclinant le profil symétriquement par rapport à l'incidence nulle ($i = -8^\circ$) et en exploitant la symétrie du profil. On obtient les coefficients K_{pe} . Les coefficients normaux et tangentiels (C_{np} et C_{tp}) dus aux efforts de pression sont reliés aux coefficients K_{pi} et K_{pe} par une relation intégrale. On trace donc pour chacun d'eux la courbe correspondante dans l'optique de calculer l'aire sous celle-ci (Figure 3).

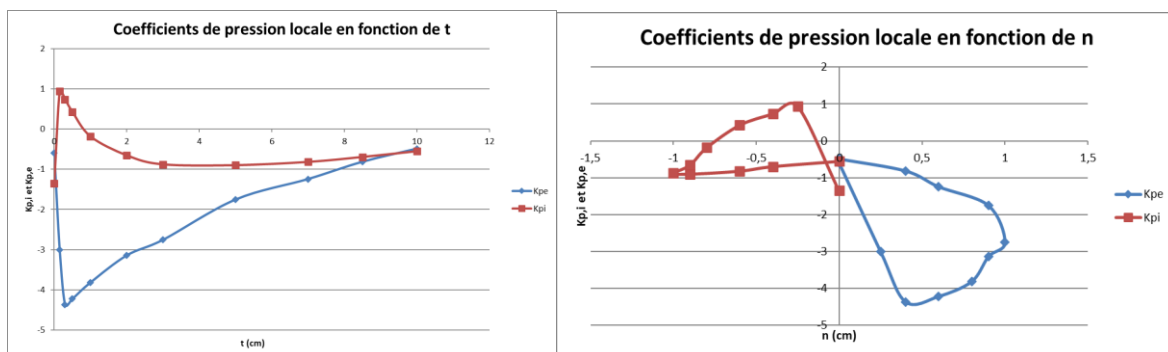


Figure 3: Courbes permettant de calculer C_{np} et C_{tp}

La méthode employée pour calculer l'aire consiste à se servir du logiciel "imageJ". On sélectionne la surface dont on veut connaître l'aire, puis on calcule l'aire "réelle" par un produit

en croix, à partir de l'aire mesurée par le logiciel et de la relation entre ces deux aires obtenue grâce à la mesure par le logiciel d'une aire connue (un carré de côté 1).

On obtient les valeurs suivantes : $C_{t_p} = -0,123$ et $C_{n_p} = 1,424$.

Les coefficients de portance $C_{z,p}$ et de traînée $C_{x,p}$ calculés à partir des coefficients C_{n_p} et C_{t_p} dus aux efforts de pression sont donnés par ($i = 8^\circ$) :

$$\begin{aligned}C_{x,p} &= C_{n_p} \sin(i) + C_{t_p} \cos(i) \\C_{z,p} &= -C_{t_p} \sin(i) + C_{n_p} \cos(i)\end{aligned}$$

On obtient les valeurs suivantes : $C_{z,p} = 1,427$ et $C_{x,p} = 0,076$ qu'on peut comparer avec les valeurs obtenues par la première méthode : $C_z = 1,386$ et $C_x = 0,072$.

II. Interprétation des résultats

Notre première expérience a mené à des valeurs de C_x et de C_z et à une finesse (rapport C_z/C_x) cohérents, avec un rapport maximum observé pour une incidence de 8 degrés, ce qui correspond à ce que l'on observe généralement pour ce type de profil d'aile. Néanmoins, le décollement de la couche limite, caractérisé par le retournement des fils accrochés à l'extrados ainsi que par la chute de la finesse, s'est produite pour une incidence d'environ 17 degrés, ce qui est largement supérieur à ce que l'on pourrait attendre de ce type d'aile (environ 10 à 12 degrés en temps normal).

Concernant les coefficients $C_{x,p}$ et $C_{z,p}$ obtenus avec les mesures des coefficients C_{t_p} et C_{n_p} (eux-mêmes issus des valeurs de $K_{p,e}$ et $K_{p,i}$), la valeur de $C_{z,p}$ est relativement cohérente puisqu'elle est proche de C_z , ce qui correspond à la théorie car la portance n'est due qu'à une différence de pression : $C_{z,p} = C_z$ en théorie.

À l'inverse, le coefficient de traînée due à la pression, légèrement supérieur à celui global, n'est pas conforme aux attentes : la traînée due à la pression est inférieure à la traînée globale, et représente normalement environ 70% de cette dernière : les frottements participent également à la traînée.

III. Difficultés rencontrées

La principale difficulté rencontrée fût la variation de puissance du ventilateur, donc la variation de la vitesse de l'air au cours d'une même expérience. Nos relevés s'intéressant à l'impact de l'incidence de l'aile, nous cherchions à avoir une vitesse constante. Malheureusement, la vitesse baissait anormalement avec l'augmentation de l'incidence (visible grâce aux relevés de pression en entrée de la veine d'essais) et n'était plus celle d'origine lorsque l'on retournait à incidence nulle. Cela a notamment rendu caduque toute notre première

série de mesures visant à calculer C_x et C_z , puisque la vitesse censée rester constante tout au long de nos manipulations a en réalité varié.

Les tensions affichées étant assez instables (même avec le moyennneur) et le moyennneur étant lent à converger, le relevé des tensions T_x et T_z a été difficile et a engendré une incertitude assez grande sur les résultats finaux.

Enfin, le calcul d'aire permettant de déterminer C_{tp} a été complexifié par le fait que la courbe se "recoupe", ce qui a généré une incertitude sur l'aire et donc sur la valeur de C_{tp} .

Conclusion

Pour conclure, ce travail nous aura permis de mettre en application une partie des connaissances vues en MF101 et MF102 tout en découvrant les difficultés d'un travail expérimental : précision des mesures (pression et tension), mise en pratique difficile (vitesse constante)...

Les résultats obtenus restent néanmoins satisfaisants étant données la durée du TP et notre inexpérience, mais certaines incohérences nécessiteraient de creuser plus en profondeur afin de déterminer les causes de ces dernières et d'essayer de les résoudre.