

Travaux pratiques d'aérodynamique en soufflerie

Dahia Chibouti

dahia.chibouti@univ-eiffel.fr

2022-2023

Table des matières

1	Introduction	2
2	Description du dispositif expérimental	2
2.1	Composantes du dispositif expérimental	3
2.1.1	Balance aérodynamique	3
2.1.2	Support de modèle, rapporteur et tube de Pitot	3
2.1.3	Manomètre à 6 tubes d'eau	3
2.1.4	Maquettes	5
2.1.5	Boitier de commande	6
2.2	Montage des maquettes et mise sous tension de la soufflerie	6
2.2.1	Montage de la balance et d'une maquette	6
2.2.2	Démarrage de la soufflerie	7
2.2.3	Arrêt de la soufflerie	8
2.2.4	Arrêt d'urgence de la soufflerie	8
2.2.5	Démarrage à une vitesse donnée	8
2.3	Analyse théorique	8
2.4	Pression dynamique	8
2.5	Masse volumique et vitesse de l'air dans le banc d'essai	9
2.5.1	Force de l'écoulement sur l'obstacle	9
3	Travail à réaliser	10
3.1	Trainée et portance (ou coefficient de trainée et de portance) sur maquette dans un écoulement	10
3.1.1	Effets de la vitesse	10
3.1.2	Effets de l'angle d'attaque sur le modèle à profil d'aile	12
3.2	Distribution de pression autour d'un obstacle à profil cylindrique immergé dans un fluide en mouvement	13

1 Introduction

On définit l'aérodynamique comme étant la branche de la dynamique des fluides qui s'intéresse aux écoulements autour d'objets. On parlera alors de mobile lorsque l'objet immergé est en déplacement dans un fluide au repos et de maquette (ou obstacle) lorsque l'objet immergé est fixe dans un fluide en mouvement. Tout objet immergé dans un écoulement est soumis à un ensemble de force appelé « efforts aérodynamiques » qui représente les forces que l'écoulement exerce sur l'objet. On distingue les actions de pression autour de l'objet (surpression en amont et dépression en aval) et les actions de frottement sur la paroi de l'objet (influence de la viscosité du fluide). La résultante de toutes ces forces s'applique au "centre de poussée". Cette résultante peut se décomposer suivant l'axe perpendiculaire à l'écoulement ou suivant l'axe parallèle à l'écoulement. On parle alors respectivement de portance et de trainée.

Le but de ce TP est d'étudier expérimentalement l'évolution des efforts aérodynamiques sur trois maquettes à profils aérodynamiques différents (NACA 0020, cylindre, plaque plate) en fonction des caractéristiques de l'écoulement et de la position desdites maquettes.

2 Description du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est présenté sur la Fig. 1.

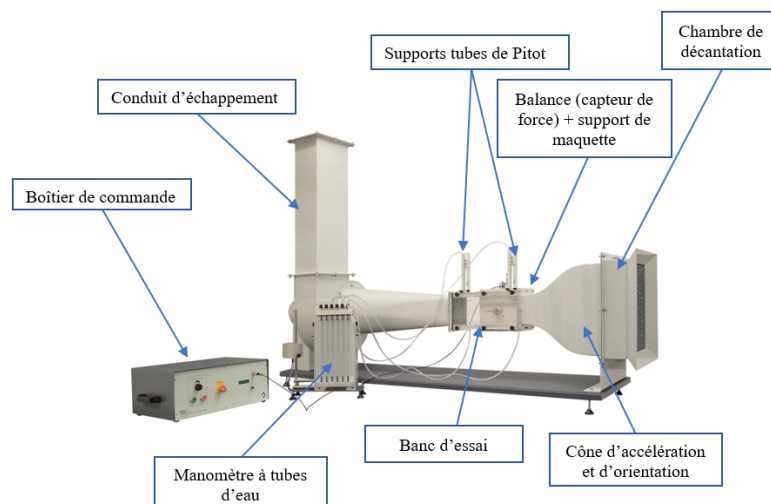


FIGURE 1 – Dispositif expérimental (soufflerie vue arrière)

L'air aspiré dans l'atmosphère passe par une chambre de décantation où il est séparé de particules susceptibles de détériorer ou d'obstruer le tunnel aérodynamique. Une fois la zone de décantation passée, l'air traverse un cône conçu pour lui donner une accélération linéaire. L'écoulement d'air traverse ensuite la section de mesure (banc d'essai), puis une grille de protection

avant d'entrer dans le diffuseur à l'extrémité duquel se trouve un ventilateur axial à vitesse variable. La grille de protection permet de retenir une maquette après un possible décrochage de celle-ci sous l'effet des forces aérodynamiques, protégeant ainsi le ventilateur d'une éventuelle détérioration. Après la traversée du ventilateur, l'air est rejeté dans l'atmosphère par une conduite d'échappement orienté vers le haut. Une commande électronique (situé dans le boîtier de commande) permet de contrôler la vitesse du ventilateur et donc de celle de l'air traversant le banc d'essai.

Le banc d'essai de section carrée avec un toit, un plancher et deux façades en plexiglas est de dimension : 125 mm \times 125 mm et 350 mm de longueur. La plaque de la façade avant ainsi que celle du plancher sont dotées d'orifices centraux permettant l'introduction du support des maquettes. Deux tubes de Pitot sont fixés sur le toit à l'aide de supports gradués pour la mesure de la pression totale à l'entrée et à la sortie de la section de mesure. Deux petits orifices du plancher et connectés à deux tubes du manomètre permettent de mesurer la pression statique à l'entrée et à la sortie du banc d'essai.

2.1 Composantes du dispositif expérimental

2.1.1 Balance aérodynamique

La balance aérodynamique permet de mesurer la trainée et la portance exercées sur la maquette par l'écoulement. Elle est reliée au boîtier de commande qui se charge d'afficher la valeur de la force mesurée. Les différentes vues des composants sont présentées en Fig. 2.

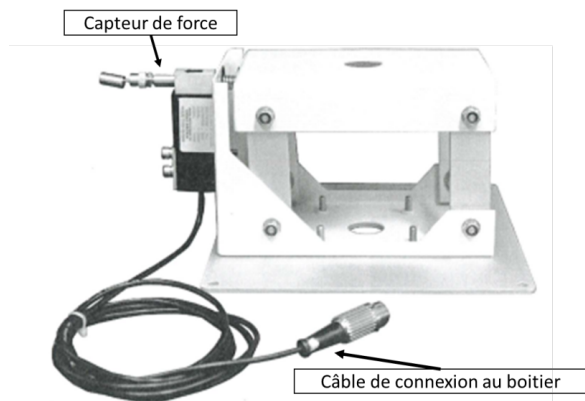
2.1.2 Support de modèle, rapporteur et tube de Pitot

La Fig. 3 présente :

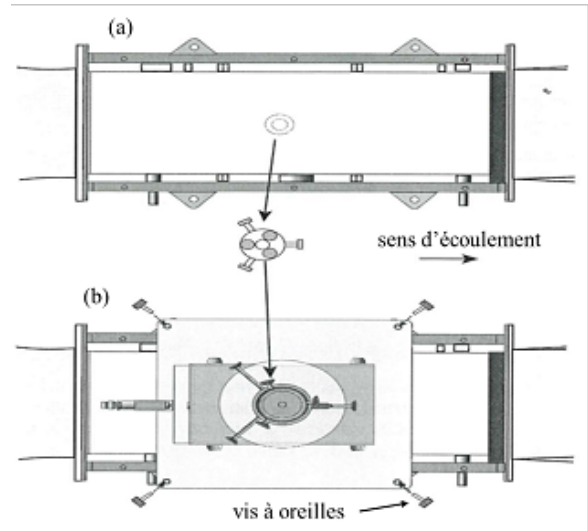
- Le support de modèle (a) dont le rôle est de fixer les maquettes à la balance au moyen de ses vis à tête moletées.
- Le rapporteur (b) qui sert à imposer un angle d'attaque donné à la maquette se trouvant dans le banc d'essai.
- Le tube de Pitot (c) porté par un support gradué permet de mesurer la pression totale à une hauteur donnée dans le banc d'essai. La hauteur souhaitée est obtenue en agissant simultanément sur la vis à tête moletée et le tube de Pitot

2.1.3 Manomètre à 6 tubes d'eau

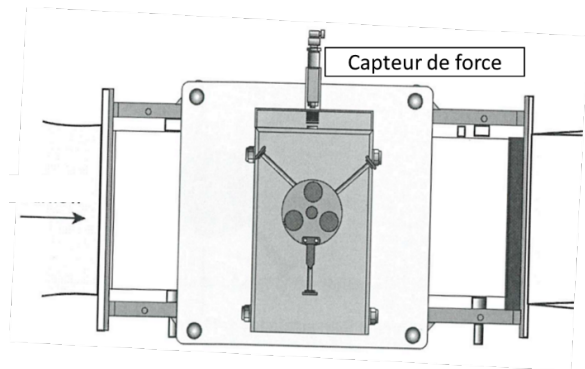
C'est un manomètre utilisant l'eau comme fluide de travail avec une échelle calibrée en mm de manière à mesurer la pression en mm de colonne d'eau (mm H₂O). Un colorant (bleu) ajouté à l'eau assure une meilleure lecture de la hauteur d'eau dans les tubes (Fig. 4).



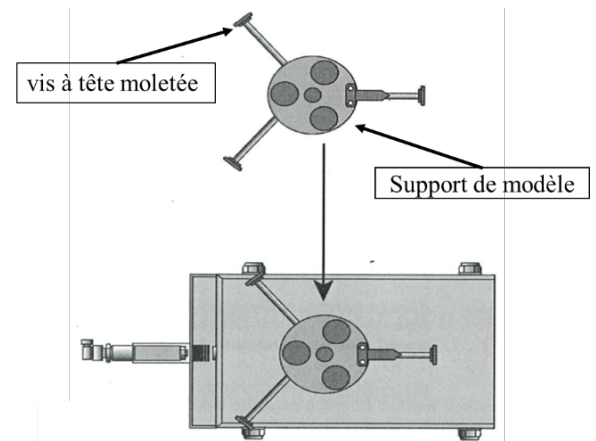
(a) Balance aérodynamique



(b) Montage de la balance sur le banc d'essai



(c) Position capteur de force pour une mesure de la portance



(d) Montage du support de modèle sur la balance

FIGURE 2 – Éléments et montage de la balance aérodynamique

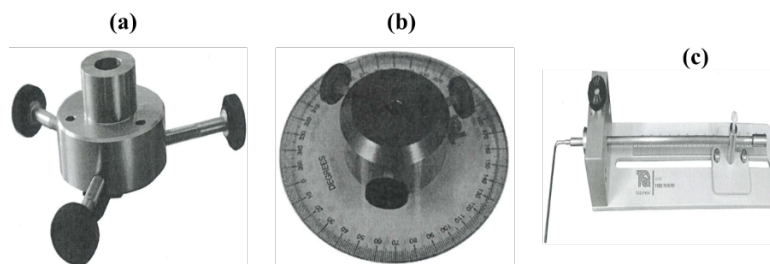


FIGURE 3 – Support modèle, rapporteur et tube de Pitot

L'alimentation en eau de tous les tubes du manomètre s'effectue par un réservoir d'eau réglable en hauteur. Selon le principe des vases communicants, lorsque les tubes sont ouverts à l'atmosphère, la hauteur d'eau dans ces derniers est la même que celle dans le réservoir d'alimentation. Les tubes étant connectés à leur base à un collecteur commun, lui-même connecté au réservoir d'alimentation.

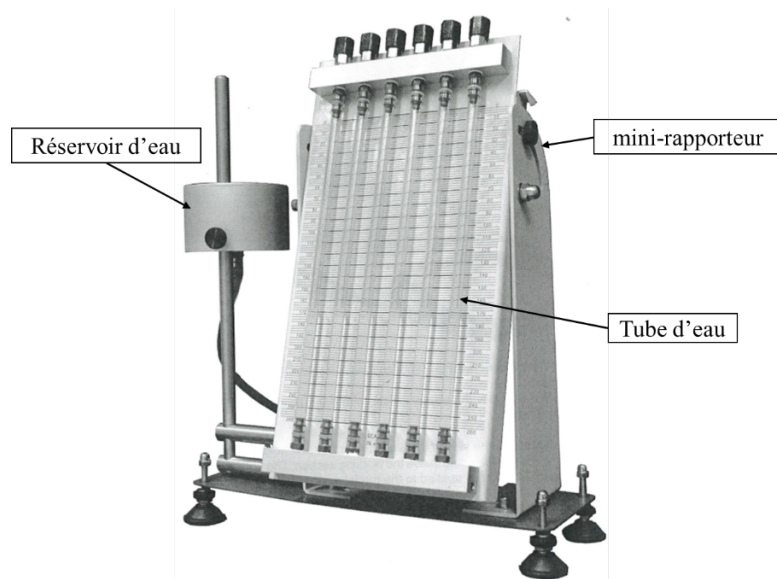


FIGURE 4 – Manomètre hydrostatique à eau

Afin d'augmenter la sensibilité du manomètre à la détection des faibles variations de pression, le manomètre est doté d'un système d'ajustage de l'inclinaison. Ledit système est composé d'une vis à tête moletée, d'un pointeur et d'un mini-rapporteur qui permettent de fixer l'angle d'inclinaison désiré.

Note : On a $1 \text{ mm H}_2\text{O} = 9.81 \text{ N/m}^2 = 9.81 \text{ Pa}$ et $P_{reelle} = P_{lue} \times \cos(\alpha)$ avec α l'angle d'inclinaison du manomètre par rapport à la verticale.

2.1.4 Maquettes

Trois maquettes peuvent être utilisées pour cette manipulation dont les formes et les dimensions sont précisées sur la Fig. 5. Tous les modèles ont la même envergure : 123 mm

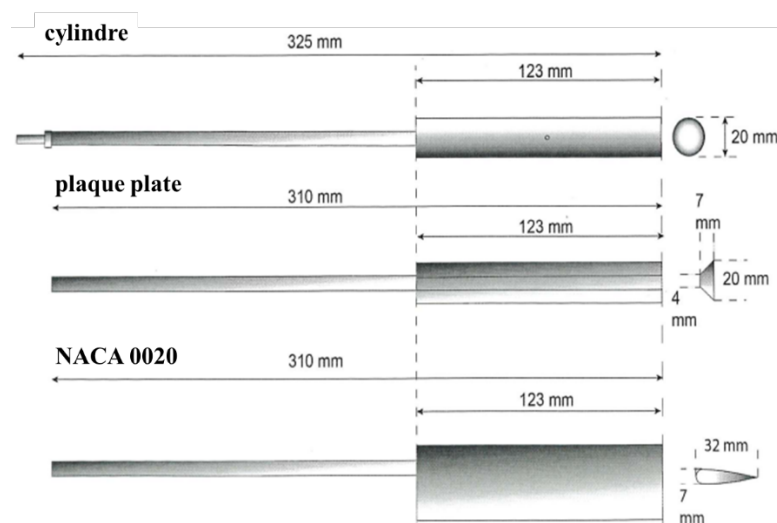


FIGURE 5 – Maquettes utilisées dans le TP

2.1.5 Boîtier de commande

Le boîtier de commande permet d'alimenter la soufflerie, de contrôler la vitesse du ventilateur (donc de l'écoulement de l'air) et d'afficher les valeurs des forces mesurées (Fig.6). Il est doté à l'avant :

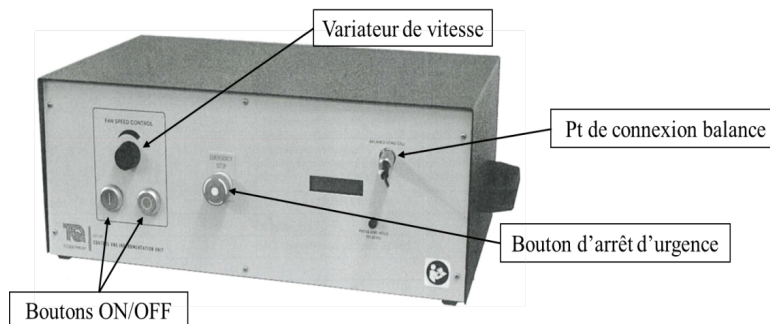


FIGURE 6 – Boîtier de commande

- D'un bouton d'arrêt d'urgence qu'il convient d'armer en le tournant légèrement dans le sens trigonométrique avant la mise sous tension du boîtier
- D'un bouton ON (1) pour la mise en route du ventilateur et d'un bon OFF (0) pour l'arrêt du ventilateur
- D'un bouton (variateur de vitesse) permettant de contrôler la vitesse du ventilateur
- D'une prise de connexion de la balance au boîtier

À l'arrière, le boîtier est doté :

- D'une prise de connexion du ventilateur au boîtier
- D'une fiche permettant l'alimentation du boîtier en énergie électrique

2.2 Montage des maquettes et mise sous tension de la soufflerie

2.2.1 Montage de la balance et d'une maquette

Précautions à observer avant de commencer :

1. Vérifier que le commutateur principal (à l'arrière du boîtier) et celui du ventilateur sont désactivés ;
2. Vérifier que le potentiomètre de vitesse est à zéro ;
3. Vérifier que le manomètre incliné contient de l'eau colorée ;

Pour monter la balance et une maquette sur le banc d'essai, il faut :

1. Se placer en face du banc d'essai de sorte que l'air circule de votre gauche vers votre droite dans le tunnel aérodynamique.

2. Enlever le collier de serrage protégeant l'orifice central de la plaque transparente avant du banc d'essai (cf. Fig. 2(b)).
3. Fixer la balance sur le cadre en s'aidant des vis à oreilles avec rondelles et au besoin d'un maillet (cf. Fig. 2(b)). L'orientation du capteur de la balance dépend du type de force à mesurer. Si la balance est fixée de manière à diriger le capteur horizontalement (orienté vers la gauche), la force mesurée est la Trainée (cf. Fig. 2(b)). Si la balance est fixée de manière à diriger le capteur verticalement (orienté vers le haut), la force mesurée est la Portance (cf. Fig. 2(c)).
4. Fixer le support de modèle sur la balance (voir Figure 5). La petite flèche noire du support de modèle devrait être orientée vers la droite lors de la mesure de la trainée et vers le bas lors de la mesure de la portance.
5. Enlever la plaque transparente du banc d'essai opposée à celle sur laquelle a été fixée la balance en dévissant les six vis à tête moletées (**attention à ne pas perdre les rondelles des vis**).
6. Insérer la maquette désirée dans le banc d'essai en faisant glisser sa tige à travers le trou situé au centre du support de modèle. Positionner correctement la maquette de manière à avoir l'angle d'attaque initial désiré (zéro degré pour le profil d'aile).
7. Fixer la maquette en serrant les trois vis à tête moletées du support de modèle.
8. Placer le rapporteur à l'arrière du support de modèle et le positionner de sorte que la flèche noire du support de modèle pointe vers le zéro du rapporteur pour la mesure de la trainée (ou vers 270° pour la mesure de la portance). Fixer le rapporteur à la tige de la maquette en serrant ses trois vis à tête moletées.
9. Remonter la plaque transparente qui avait été démontée à l'arrière du banc d'essai. Le banc est prêt pour les essais avec la maquette montée.

2.2.2 Démarrage de la soufflerie

1. Vérifier que la prise d'alimentation principale du boîtier est bien branchée ;
2. Activer le commutateur principal (position 1) à l'arrière du boîtier de commande ;
3. Faire tourner le variateur de vitesse (potentiomètre de vitesse) dans le sens trigonométrique pour fixer la vitesse de l'écoulement à la plus petite valeur ;
4. Presser le bouton de couleur verte (à l'avant du boîtier) pour mettre en marche le ventilateur ;
5. Tourner progressivement le potentiomètre de vitesse dans le sens des aiguilles d'une montre afin d'atteindre la vitesse souhaitée dans le banc d'essai.

2.2.3 Arrêt de la soufflerie

1. Tourner progressivement et lentement le potentiomètre de vitesse dans le sens trigonométrique jusqu'à la valeur minimale ;
2. Presser sur le bouton de couleur rouge marqué "0" (à l'avant du boîtier) pour arrêter le ventilateur ;
3. Désactiver le commutateur principal (position 0) à l'arrière du boîtier de commande ;
4. Débrancher la prise d'alimentation du boîtier ;

2.2.4 Arrêt d'urgence de la soufflerie

1. Presser sur le bouton rouge d'arrêt d'urgence du boîtier ;
2. Tourner le potentiomètre de vitesse dans le sens trigonométrique jusqu'à la valeur minimale ;
3. Désactiver le commutateur principal (position 0) à l'arrière du boîtier de commande ;
4. Débrancher la prise d'alimentation du boîtier ;
5. Pour réactiver le bouton d'arrêt d'urgence, il faut le tourner légèrement sans le sens des aiguilles d'une montre.

2.2.5 Démarrage à une vitesse donnée

Certaines expériences doivent être menées à débit d'air constant tout en nécessitant l'arrêt provisoire de la soufflerie. Pour cela, il suffit d'appuyer délicatement sur le bouton de couleur rouge noté "0" (à l'avant du boîtier) pour arrêter le ventilateur. Éviter de toucher au potentiomètre de vitesse et de déplacer, même légèrement, le boîtier de commande. Pour reprendre l'expérience en conservant la vitesse précédente, il suffit alors d'appuyer délicatement sur le bouton de couleur verte noté "1" : la vitesse d'écoulement dans le banc d'essai montera progressivement jusqu'à retrouver la valeur d'avant l'arrêt.

2.3 Analyse théorique

2.4 Pression dynamique

Deux pressions sont mesurées dans la soufflerie afin de déduire la pression dynamique elle-même nécessaire à la détermination de la vitesse de l'air.

- La pression statique (P_s) est celle exercée par l'air au repos sur une surface. Elle est mesurée perpendiculairement à la direction d'écoulement, à l'aide d'un perçage dans le plancher du banc d'essai.
- La pression dynamique ($P_{dyn} = \rho v^2/2$) mesure la contribution de pression engendrée par l'écoulement fluide.

- La pression totale (P_t) est la somme de la pression statique et de la pression dynamique. Elle est mesurée par le tube de Pitot à mi-hauteur (la pression engendrée par le poids du fluide est négligée).

2.5 Masse volumique et vitesse de l'air dans le banc d'essai

La masse volumique de l'air lors de la manipulation doit être correctement évaluée. À l'aide la loi des gaz parfaits, on obtient :

$$\rho = \frac{P_a}{rT_a} \quad (1)$$

avec

- $r = 287 \text{ m}^2/\text{s}^2/\text{K}$ la constante spécifique de l'air
- P_a (en Pa) la pression atmosphérique
- T_a (en K) la température ambiante

La vitesse de l'air dans le banc est déterminée au moyen de l'équation de Bernoulli sous les hypothèses d'un écoulement moyen permanent d'un fluide incompressible et non visqueux. La vitesse U de l'air en amont et aval de l'obstacle est donnée par :

$$U = \sqrt{\frac{2(P_t - P_s)}{\rho}} \quad (2)$$

2.5.1 Force de l'écoulement sur l'obstacle

Les efforts de trainée subis par l'objet sont alors essentiellement dus au déséquilibre des pressions autour de l'obstacle. Le frottement du fluide sur les parois contribue de manière négligeable au bilan de ces forces. Ainsi, la force totale exercée sur un obstacle se décompose en une force de trainée (\vec{D}) parallèle à la direction de l'écoulement, et une force de portance (\vec{L}) perpendiculaire à l'écoulement (Fig. 7).

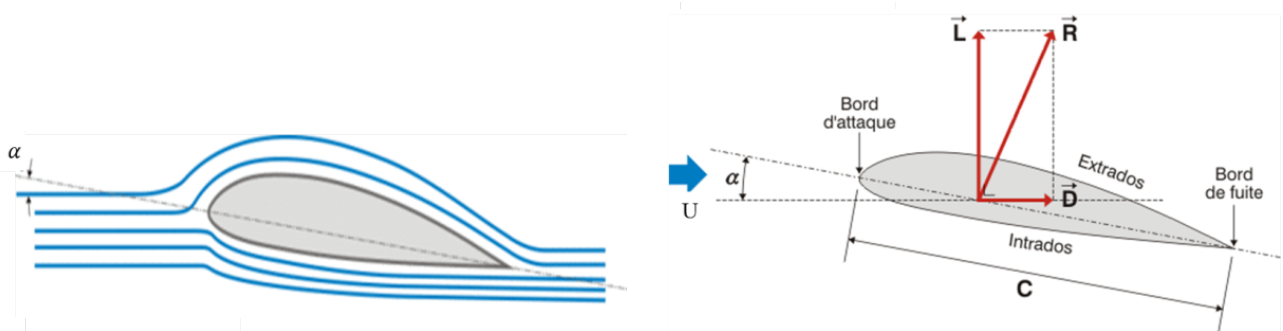


FIGURE 7 – Écoulement autour d'un profil d'aile (NACA 0020)

Ces forces dépendent étroitement de la géométrie du corps immergé. Pour des raisons évidentes de symétrie, la portance sur le cylindre est nulle. Au contraire, un profil d'aile présente un

extrados le long duquel l'écoulement est accéléré. Ainsi, la différence de pression entre les faces de l'aile crée une force de portance, alors que la force de trainée tend à entraîner l'obstacle avec l'écoulement.

Puisque ces forces dépendent à la fois des caractéristiques du fluide et des dimensions de l'obstacle, on préfère en aérodynamique travailler avec deux coefficients adimensionnels que sont le coefficient (C_D) de trainée (Drag) et le coefficient (C_L) de portance (Lift) mais également du coefficient de pression (C_p) :

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho U^2 d}; \quad C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho U^2 d}; \quad C_p = \frac{P_M - P_s}{\frac{1}{2}\rho U^2} \quad (3)$$

avec :

- d la longueur caractéristique de la maquette considérée. Elle est
 - de 20 mm pour le cylindre,
 - de 20 mm pour la plaque plate,
 - de 32 mm pour le profil d'aile,
- D et L la trainée et la portance par unité d'envergure de l'obstacle considéré. *Notons que la balance de la soufflerie mesure la trainée et la portance totale (D_D et L_D) qu'il convient de diviser par l'envergure pour avoir D et L .*
- U la vitesse de l'air en amont de l'obstacle et ρ sa masse volumique.
- P_M la pression totale à la surface du modèle et P_s la pression statique en amont du modèle.

3 Travail à réaliser

3.1 Trainée et portance (ou coefficient de trainée et de portance) sur maquette dans un écoulement

L'objectif ici est de déterminer expérimentalement la force agissant sur un objet immergé dans un fluide en fonction de la vitesse de l'écoulement du fluide, de l'angle d'attaque et de la géométrie de l'objet.

3.1.1 Effets de la vitesse

Le choix des modèles étudiés est fixé dans le tableau récapitulatif des groupes sous <https://elearning.u-pem.fr/>

1. Vérifier que le ventilateur est à l'arrêt, mais que la prise d'alimentation principale du boîtier est branchée.

P_s (mm H ₂ O)	P_t (mm H ₂ O)	ΔP (mm H ₂ O)	ΔP (Pa)	U (m/s)	D_D (N)	D (N/m)	C_D –

TABLEAU 1 – Résultats expérimentaux de l'effet de la vitesse d'écoulement sur une maquette.

- Créer un tableau de résultat semblable au tableau 1 pour le modèle considéré.
- Monter la balance et le modèle choisi comme décrit en Sec. 2.2.1.
- Mettre à zéro la balance.
- Faites tourner le variateur de vitesse (potentiomètre de vitesse) dans le sens trigonométrique pour fixer la vitesse de l'écoulement à la plus petite valeur.
- Presser le bouton de couleur verte (à l'avant du boîtier) pour mettre en marche le ventilateur.
- Noter la température ambiante et la pression atmosphérique.
- Relever la trainée totale D_D .
- Relever la pression totale (P_t) sur le tube de Pitot (à mi-hauteur du banc d'essai) et la pression statique (P_s) en amont du modèle.
- Tourner progressivement le potentiomètre de vitesse dans le sens des aiguilles d'une montre pour augmenter la vitesse d'écoulement de manière à choisir au moins sept vitesses d'écoulement entre la valeur minimale et la valeur maximale (s'arranger à avoir, parmi ces vitesses, $U \approx 30$ m/s). Pour chaque régime d'écoulement, relever les valeurs de la trainée (D_D), de la pression totale (P_t) et de la pression statique (P_s).
- Reprendre la procédure pour l'autre modèle d'étude.
- Arrêter le ventilateur (cf. Sec. 2.2.3), puis calibrer la balance de manière à mesurer la portance (cf. Sec. 2.2.1). Monter le modèle à profil d'aile et reprendre la procédure afin de déterminer expérimentalement la portance en fonction de la vitesse d'écoulement.
- Arrêter le ventilateur de la soufflerie (cf. Sec. 2.2.3)

Analyse des résultats

- Compléter les quatre tableaux (semblable au tableau 1) en calculant la pression dynamique, la force par unité de longueur d'envergure (D ou L) et le coefficient de trainée (C_D) et de portance (C_L).
- Tracer la courbe représentative du coefficient de trainée en fonction de la vitesse d'écoulement en amont du modèle (U) pour les trois modèles.
- Pour le modèle à profil d'aile, tracer la courbe représentative du coefficient de portance en fonction de la vitesse d'écoulement en amont du modèle (U).

4. Commenter en vous aidant de la littérature sur l'évolution de ces coefficients en fonction de la vitesse et conclure.

3.1.2 Effets de l'angle d'attaque sur le modèle à profil d'aile

1. Vérifier que le ventilateur est à l'arrêt, mais que la prise d'alimentation principale du boîtier est branchée.
2. Créer un tableau de résultats.
3. Monter la balance afin de mesurer la portance ainsi que le modèle à profil d'aile comme décrit en Sec. 2.2.1.
4. Monter le rapporteur.
5. Mettre à zéro la balance.
6. Faites tourner le variateur de vitesse (potentiomètre de vitesse) dans le sens trigonométrique pour fixer la vitesse de l'écoulement à la plus petite valeur.
7. Presser le bouton de couleur verte (à l'avant du boîtier) pour mettre en marche le ventilateur.
8. Noter la température ambiante et la pression atmosphérique.
9. Tourner progressivement le potentiomètre de vitesse dans le sens des aiguilles d'une montre pour fixer une vitesse d'écoulement d'environ 30 m/s en amont de l'obstacle.
10. Relever la portance totale L_D
11. Relever la pression totale (P_t) sur le tube de Pitot (à mi-hauteur du banc d'essai) et la pression statique (P_s) en amont du modèle.
12. Augmenter l'angle d'attaque de 0° à 18° par pas de 2° puis de 20° à l'angle de décrochage (chute de la portance) par pas de 5° . Pour chaque angle d'attaque, réajuster la vitesse d'écoulement à 30 m/s et relevez la portance.
13. Arrêter le ventilateur (cf. Sec. 2.2.3), puis monter et calibrer la balance de manière à mesurer la portance (cf. Sec. 2.2.1). Reprendre la procédure afin de déterminer expérimentalement la trainée en fonction de l'angle d'attaque pour les mêmes angles que ceux de la portance.
14. Arrêter le ventilateur de la soufflerie (cf. Sec. 2.2.3)

Analyse des résultats

1. Compléter deux tableaux en calculant la trainée et la portance *par unité de longueur d'envergure* pour chaque angle d'attaque, puis déduire les coefficients de trainée (C_D) et de portance (C_L).
2. Tracer la courbe représentative du coefficient de trainée (C_D) en fonction de l'angle d'attaque.

3. Tracer la courbe représentative du coefficient de portance (C_L) en fonction de l'angle d'attaque.
4. Évaluer à partir des courbes l'angle de décrochage, c'est-à-dire l'angle α qui correspond à une chute de la portance.

3.2 Distribution de pression autour d'un obstacle à profil cylindrique immergé dans un fluide en mouvement

L'objectif est de déterminer le coefficient de trainée par une méthode intégrale. Pour ce faire, l'obstacle à profil cylindrique est doté d'un point de prise de pression totale. Le coefficient de pression (C_p , cf. Sec. 2.5.1) sera calculé pour chaque valeur de l'angle d'attaque comprise entre 0° et 180° .

Connaissant $C_p(\theta)$, on montre que

$$\begin{aligned} C_D &= \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p(\theta) \cos(\theta) d\theta \\ &= \int_0^\pi C_p(\theta) \cos(\theta) d\theta \quad (\text{par symétrie haut/bas}) \end{aligned} \quad (4)$$

De plus, le coefficient de pression théorique (écoulement potentiel) est donné par

$$C_{p,t}(\theta) = 1 - 4 \sin^2 \theta \quad (5)$$

Donc, si nous avons la courbe représentative de $C_p \cos \theta$ en fonction de θ , le coefficient de trainée C_D se déduit par simple calcul d'aire comme l'illustre l'exemple de la Fig. 8.

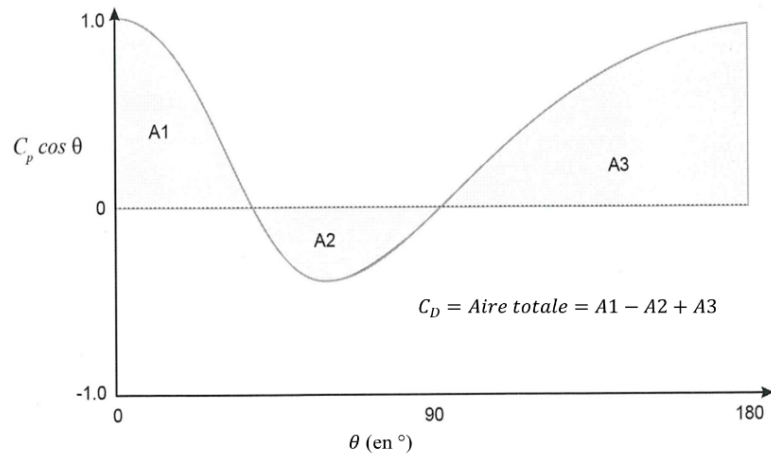


FIGURE 8 – Calcul graphique du coefficient de trainée à partir de la distribution de pression totale autour d'un obstacle à profil cylindrique. Attention, sur la figure, l'angle est en degré.

Pour une courbe discrète, c'est-à-dire dont la fonction f est connue uniquement pour certaines

abscisses x_i , $i = 1, \dots, N$ (et $x_i < x_{i+1}$), une approximation de l'aire A peut être obtenue par :

$$A \approx \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{f(x_{i+1}) + f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} \quad (6)$$

La procédure expérimentale est la suivante :

1. Vérifier que le ventilateur est à l'arrêt, mais que la prise d'alimentation principale du boîtier est branchée.
2. Débrancher le câble de connexion de la balance au boîtier et démonter la balance du banc d'essai (mettre cette dernière en sécurité loin de la soufflerie).
3. Créer un tableau de résultat semblable au tableau 2

θ (°)	$\cos \theta$ —	P_M (mm H_2O)	$P_M - P_s$ (mm H_2O)	$P_M - P_s$ (Pa)	C_p —	$C_p \cos \theta$ —	$C_{p,t}$ —

TABLEAU 2 – Résultats expérimentaux de l'effet de l'angle d'attaque sur les forces subites par une maquette.

4. Monter le modèle à profil cylindrique comme décrit en Sec. 2.2.1.
5. Monter le rapporteur.
6. Connecter le modèle au manomètre.
7. Faites tourner le variateur de vitesse (potentiomètre de vitesse) dans le sens trigonométrique pour fixer la vitesse de l'écoulement à la plus petite valeur.
8. Presser le bouton de couleur verte (à l'avant du boîtier) pour mettre en marche le ventilateur.
9. Imposer la vitesse d'écoulement d'environ 30 m/s et un angle d'attaque nul. Pour ce faire, l'orifice de prise de pression située sur la paroi latérale du cylindre doit faire face directement à l'écoulement.
10. Noter la température et la pression ambiante.
11. Relever la pression à la surface du cylindre (P_M), la pression statique en amont de l'obstacle (P_s) et la pression totale en amont de l'obstacle (P_t).
12. Faire varier l'angle d'attaque de 0° à 180° par pas de 5° tout en vérifiant à chaque fois que la vitesse d'écoulement en amont reste constante et égale à la valeur fixée initialement.
13. Pour chaque valeur de l'angle d'attaque, relever la pression P_M .
14. Arrêter le ventilateur de la soufflerie (cf. Sec. 2.2.3)

Analyse des résultats

1. Compléter votre tableau de résultat en calculant le coefficient de pression (C_p) expérimental pour chaque angle d'attaque.
2. Calculer le produit $C_p \cos \theta$ pour chaque angle d'attaque.
3. Calculer le coefficient de pression théorique $C_{p,t}$ puis tracer sur un même graphe C_p et $C_{p,t}$ en fonction de θ et commenter.
4. Tracer la courbe représentative du produit $C_p \cos \theta$ en fonction de l'angle d'attaque θ . Utiliser une technique d'intégration numérique (cf. Eq. (6), ou par les méthodes des trapèzes, des rectangles, de Simpson, etc) de votre choix pour déduire le coefficient de trainée C_D . Comparer la valeur trouvée à celle de la Sec. 3.1 et conclure.

3.3 Profil de vitesse amont/aval d'une maquette immergée dans un fluide en écoulement

Remarque : les relevés de cette partie peut être fait en même temps que ceux de la section précédente.

L'objectif ici est de vérifier une autre méthode d'obtention du coefficient de trainée. En effet, on montre que si les vitesses amont (U) et aval (u) sont connues à différentes hauteurs du banc d'essai, on peut déduire le coefficient de trainée par un calcul intégral.

$$C_D = 2 \int_{-h/d}^{h/d} \frac{u}{U} \left(1 - \frac{u}{U} \right) d\frac{y}{d} \quad (7)$$

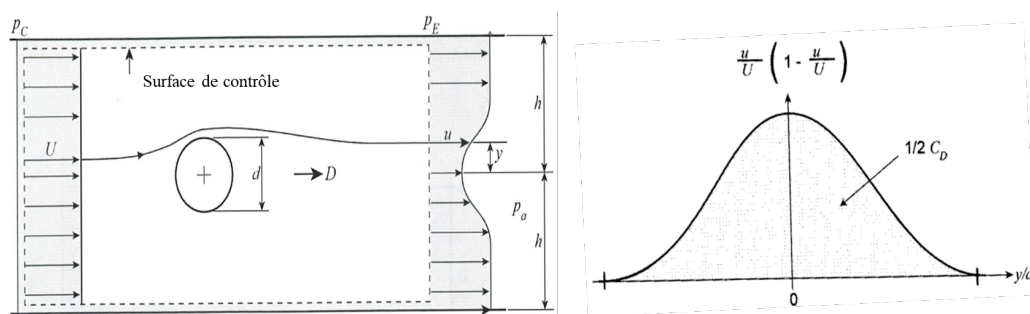


FIGURE 9 – Profils de vitesse.

1. Vérifier que le ventilateur est à l'arrêt, mais que la prise d'alimentation principale du boîtier est branchée.
2. Débrancher le câble de connexion de la balance au boîtier et démonter la balance du banc d'essai (mettre cette dernière en sécurité loin de la soufflerie).
3. Créer un tableau de résultat semblable au tableau 3.

y (mm)	y/d –	$P_{t,a}$ (mm H_2O)	$P_{s,a}$ (mm H_2O)	ΔP (mm H_2O)	ΔP (lue) (mm H_2O)	ΔP (réelle) (mm H_2O)	u (m/s)	$\frac{u}{U} \left(1 - \frac{u}{U}\right)$ –

TABLEAU 3 – Résultats pour le profil de vitesse amont/aval d’une maquette immergée dans un fluide en écoulement

4. Monter le modèle à profil cylindrique comme décrit en Sec. 2.2.1.
5. Faites tourner le variateur de vitesse (potentiomètre de vitesse) dans le sens trigonométrique pour fixer la vitesse de l’écoulement à la plus petite valeur.
6. Presser le bouton de couleur verte (à l’avant du boîtier) pour mettre en marche le ventilateur.
7. Imposer une vitesse d’écoulement d’environ 30 m/s.
8. Incliner le manomètre à tubes d’eau d’un angle de 60° pour une bonne précision de lecture.
9. Noter la température ambiante et la pression atmosphérique.
10. Relever la pression totale (P_t) et statique (P_s) en amont de l’obstacle (le tube de Pitot se trouvant à mi-hauteur du banc d’essai)
11. Déplacer verticalement (du toit au plancher) le tube de Pitot situé en aval de la maquette par pas de 5 mm (proche des parois) et de 2 mm (autour du centre) puis, relever à chaque fois la pression totale ($P_{t,a}$) et statique ($P_{s,a}$).
12. Arrêter le ventilateur de la soufflerie (cf. Sec. 2.2.3)

Analyse des résultats

1. Compléter votre tableau de résultat en utilisant la longueur caractéristique de la maquette d (Fig. 9) pour calculer le rapport y/d pour chaque position du tube de Pitot situé en aval de la maquette.
2. Calculer la vitesse (U) en amont de la maquette puis calculer la vitesse (u) en aval de la maquette pour chaque position du tube de Pitot.
3. Calculer le produit $u/U(1 - u/U)$ pour chaque position.
4. Tracer la courbe représentative du produit $u/U(1 - u/U)$ en fonction du rapport y/d . Utiliser une technique d’intégration numérique de votre choix pour déduire le coefficient de traînée C_D . Comparer la valeur trouvée à celle de la Sec. 3.1 puis conclure.