

Résistance de l'air en fonction de la vitesse du vent

– Mesure de la pression avec le manomètre de précision

Objectifs expérimentaux

- Vérifier si la traînée augmente avec l'aire de la section transversale d'un corps.
- Vérifier si la traînée augmente avec la vitesse d'écoulement.

Notions de base

La résistance de l'air ou traînée aérodynamique F est définie comme la composante de force générée par frottement dans le sens de l'écoulement ou dans le sens opposé au déplacement d'un corps :

$$F = c_w \cdot A \cdot p_d \quad (I)$$

Le coefficient de traînée c_w est constant pour de petits nombres de Mach. La surface A désigne l'aire maximale de la section transversale du corps dans le sens de l'écoulement. La pression dynamique p_d dépend de la vitesse d'écoulement v :

$$p_d = \frac{\rho}{2} v^2 \quad (II)$$

Masse volumique de l'air : $\rho = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Dans cette expérience, on positionne trois corps (disques plats) dans le flux d'air et on mesure la traînée F pour différentes vitesses d'écoulement.

On détermine indirectement la vitesse d'écoulement v à l'aide d'une sonde manométrique (ou antenne) de Prandtl et d'un manomètre. Orientée dans le sens de l'écoulement, la sonde manométrique de Prandtl mesure la différence de pression entre la pression totale p_{tot} et la pression statique p_s :

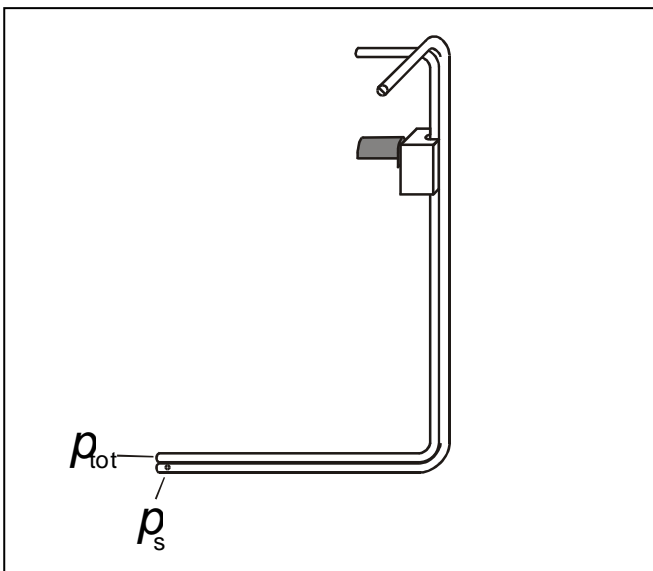
$$p_d = p_{\text{tot}} - p_s \quad (III)$$

La vitesse d'écoulement v peut ensuite être calculée avec la formule suivante :

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (p_{\text{tot}} - p_s)} \quad (IV)$$

N. B. : cette expérience est étroitement liée au TP P1.8.6.2 consacré à la détermination de la traînée en fonction de la forme du corps.

Fig. 1 Sonde manométrique de Prandtl pour mesurer la pression statique p_s et la pression totale p_{tot}



Matériel

1 ventilateur aspirant/refoulant.....	373 041
1 veine d'essais pour l'aérodynamique	373 06
1 sonde manométrique de Prandtl.....	373 13
1 dynamomètre sectoriel 0,65 N	373 14
1 accessoires de mesure 1	373 071
1 chariot de mesure pour le tunnel aérodynamique	373 075
1 manomètre de précision	373 10
1 pied en V, petit	300 02
1 socle	300 11
1 tige, 47 cm, 12 mm Ø.....	300 42

En option :

1 CASSY Lab 2.....	524 220
<i>Complément : 1 PC avec Windows XP ou version plus récente</i>	

Consignes de sécurité

Veillez respecter les remarques de sécurité mentionnées dans le mode d'emploi du ventilateur aspirant/refoulant.

Avant d'enlever la grille de protection ou la buse,

- débrancher la prise secteur et
- attendre au moins 30 secondes jusqu'à ce que le ventilateur soit totalement arrêté.

Montage

Installer les appareils ainsi qu'illustré sur la fig. 2. Le côté refoulement du ventilateur aspirant/refoulant doit être tourné vers la veine d'essais pour l'aérodynamique. Laisser un espace libre d'env. 1 m devant le côté aspiration et derrière la veine d'essais.

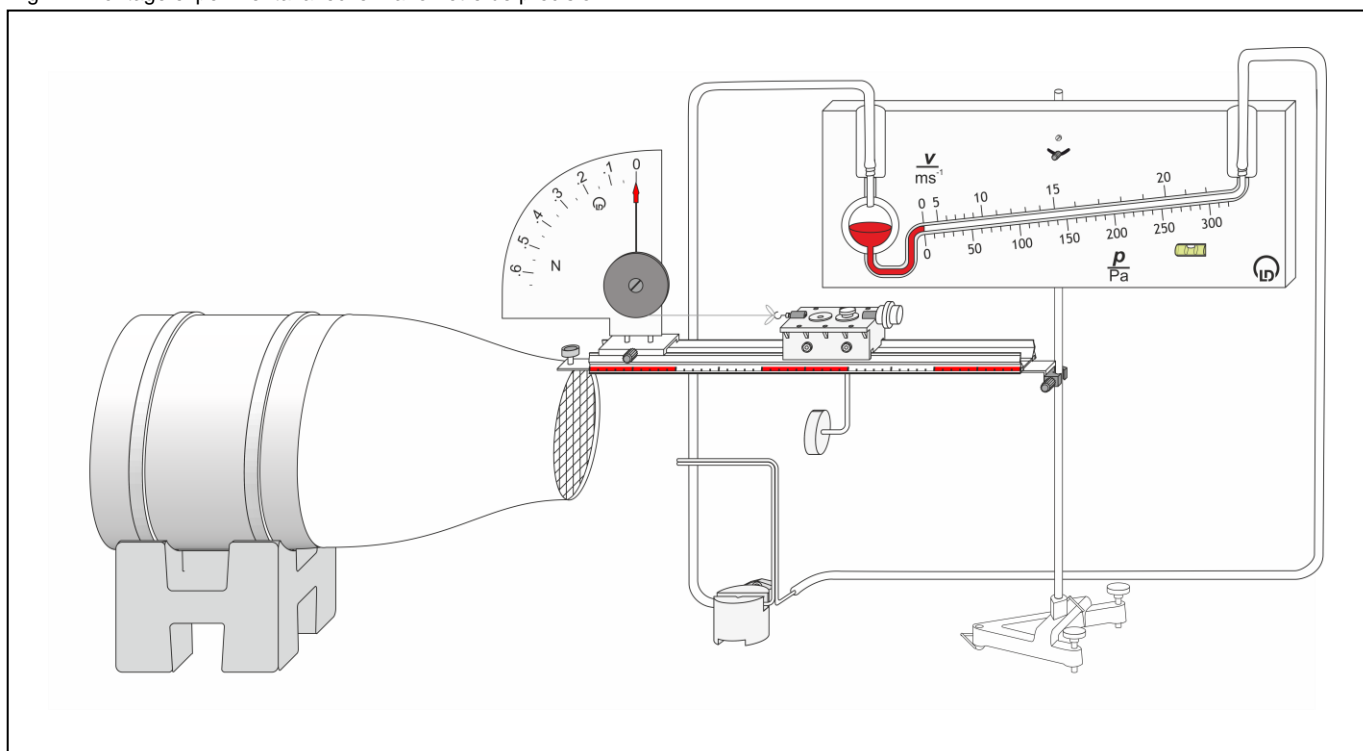
- Positionner le manomètre de précision parfaitement à l'horizontale. Si nécessaire, rajouter du liquide manométrique dans le réservoir.
- Raccorder le tuyau du manomètre de précision au raccord pour surpression (à gauche).
- Raccorder l'autre extrémité du tuyau à la sortie de mesure pour p_{tot} de la sonde de Prandtl (cf. fig. 1).
- De la même manière, raccorder le raccord pour dépression (à droite) du manomètre de précision à la sortie de mesure pour p_s de la sonde de Prandtl (cf. fig. 1).

N. B. : il est primordial de ne pas intervertir les connexions étant donné que la pression statique relative p_s dans le flux d'air devient négative.

- S'assurer que le rail de guidage est horizontal et parfaitement parallèle à l'écoulement.
- Installer le chariot de mesure ainsi qu'illustré sur la fig. 2. Pour commencer, monter le plus petit corps de résistance (disque de 40 mm Ø) et placer le chariot de mesure sur le rail de guidage. Le contrepoids de 50 g est décisif pour l'exactitude des résultats de mesure.
- Fixer le cordon pour la transmission de la force du dynamomètre sectoriel 0,65 N au crochet du chariot de mesure de façon à ce qu'il soit à l'horizontale. Il doit être plaqué contre le boîtier rainuré à ressort.
- Repousser le chariot du dynamomètre sectoriel 0,65 N jusqu'à ce que le cordon soit presque tendu.

N. B. : pour toute information supplémentaire, consulter les modes d'emploi 373 10, 373 13 et 373 075.

Fig. 2 Montage expérimental avec le manomètre de précision



Manipulation

a) Mesure sans CASSY Lab 2

- Régler le ventilateur aspirant/refoulant sur la vitesse minimale (c.-à-d. : potentiomètre en butée gauche). Le mettre ensuite en marche.
- Augmenter lentement la vitesse du ventilateur jusqu'à ce que le dynamomètre sectoriel indique plus de 0,01 N pour la traînée F .

N. B. : pour minimiser les erreurs de mesure dues au frottement, pousser délicatement le chariot de mesure dans le sens opposé à l'écoulement puis le relâcher. Lorsque le dynamomètre sectoriel n'oscille plus, avant tout s'assurer que le cordon est encore dans la rainure du boîtier à ressort. Répéter cette opération plusieurs fois pour ainsi déterminer une bonne valeur moyenne.




- Relever la pression dynamique p_d ainsi que la vitesse d'écoulement v juste après la traînée F et noter toutes les valeurs dans un tableau.
- Lentement augmenter la vitesse du ventilateur aspirant/refoulant jusqu'à ce que la vitesse d'écoulement v soit env. 2 m/s plus élevée.
- Recommencer les étapes précédentes jusqu'à ce que la déviation de l'aiguille du dynamomètre sectoriel 0,65 N soit quasiment maximale.
- Pour voir ce qui se passe avec un autre corps, créer une nouvelle colonne dans le tableau. Changer de corps (disques : 40 mm Ø, 56 mm Ø et 80 mm Ø) et recommencer les étapes précédentes.

b) Mesure avec CASSY Lab 2

- Lancer le logiciel CASSY Lab 2 ou l'installer si cela n'est pas encore fait.
- [Charger les paramètres dans CASSY LAB 2.](#)
- Régler le ventilateur aspirant/refoulant sur la vitesse minimale (c.-à-d. : potentiomètre en butée gauche). Le mettre ensuite en marche.
- Lentement augmenter la vitesse du ventilateur jusqu'à ce que le dynamomètre sectoriel indique plus de 0,01 N pour la traînée F .

N. B. : pour minimiser les erreurs de mesure dues au frottement, pousser délicatement le chariot de mesure dans le sens opposé à l'écoulement puis le relâcher. Lorsque le dynamomètre sectoriel n'oscille plus, avant tout s'assurer que le cordon est encore dans la rainure du boîtier à ressort. Répéter cette opération plusieurs fois pour ainsi déterminer une bonne valeur moyenne.

- Relever la pression dynamique p_d juste après la traînée F et noter les deux valeurs dans le tableau « $F(p_d)$ [manu.] » (côté gauche de la fenêtre). La vitesse d'écoulement v est calculée automatiquement dans le tableau « $F(v)$ ».
- Lentement augmenter la vitesse du ventilateur aspirant/refoulant jusqu'à ce que la vitesse d'écoulement v soit env. 2 m/s plus élevée.
- Recommencer les étapes précédentes jusqu'à ce que la déviation de l'aiguille du dynamomètre sectoriel 0,65 N soit quasiment maximale.
- Pour voir ce qui se passe avec un autre corps, cliquer sur le menu déroulant #1 ▾ et sélectionner la prochaine série de mesures. Changer de corps (disques : 40 mm Ø, 56 mm Ø et 80 mm Ø) et recommencer les étapes précédentes.

N. B. : pour enregistrer d'autres séries de mesures en plus des trois qui sont préparées, ouvrir « Mesurer » dans la barre de menus puis sélectionner  « Ajouter une nouvelle série ». Sélectionner le tableau « $F(v)$ » et cliquer une fois sur . Ouvrir la fenêtre  « Paramétrages » et marquer « $F(v)$ » dans le sous-menu « Représentations ». Cliquer sur le bouton « Ajouter une nouvelle courbe » puis sélectionner « $F\#4$ » dans le menu déroulant pour l'« axe y ». Procéder de même pour le tableau « $F(p_d)$ ».

Exemple de mesure

Fig. 3 Traînée F en fonction de la pression dynamique p_d pour le plus petit corps (disque, 40 mm \emptyset). La ligne continue correspond à une droite passant par l'origine : $y = B x$.

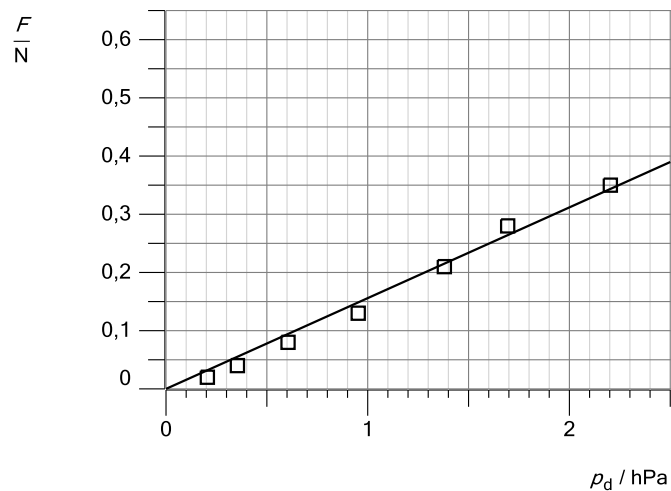
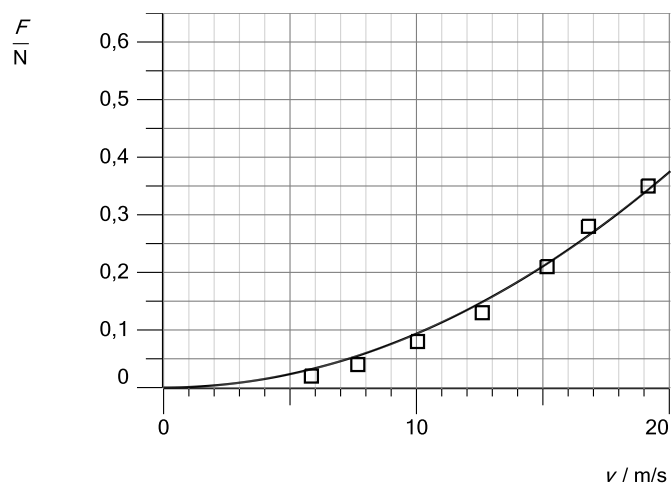


Fig. 4 Traînée F en fonction de la vitesse d'écoulement v pour le plus petit corps (disque, 40 mm \emptyset). La ligne continue correspond à une parabole à équation simplifiée : $y = C x^2$.



Tab. 1 Pression dynamique p_d , vitesse d'écoulement v et traînée F résultante pour le plus petit corps (disque, 40 mm \emptyset)

$\frac{p_d}{\text{hPa}}$	$\frac{v}{\frac{\text{m}}{\text{s}}}$	$\frac{F}{\text{N}}$
0,205	5,8	0,02
0,354	7,7	0,04
0,605	10,0	0,08
0,953	12,6	0,13
1,380	15,2	0,21
1,694	16,8	0,28
2,203	19,2	0,35

Exploitation et résultats

Fig. 5 Traînée F en fonction de la pression dynamique p_d pour trois corps (disques plats : 40 mm Ø, 56 mm Ø, 80 mm Ø) avec différentes aires de section transversale. Les lignes continues correspondent à des droites passant par l'origine : $y = B \cdot x$

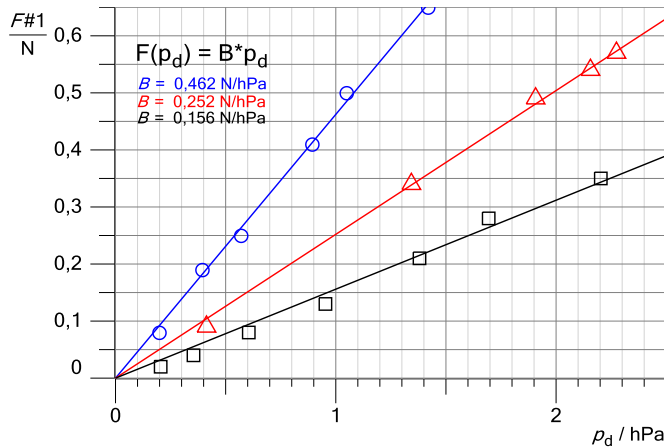
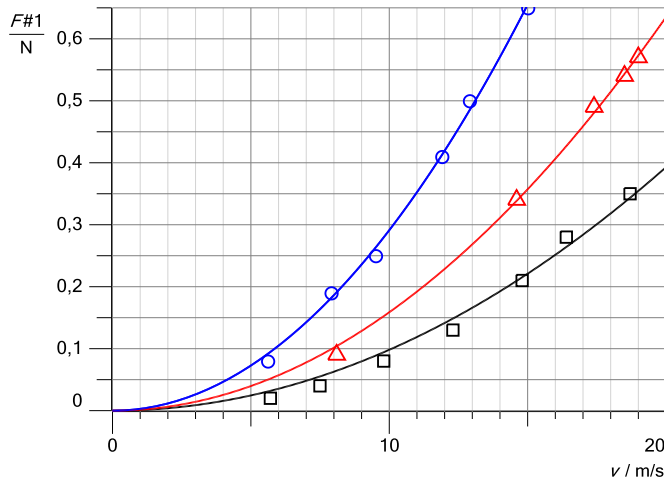


Fig. 6 Traînée F en fonction de la pression dynamique p_d pour trois corps (disques plats : 40 mm Ø, 56 mm Ø, 80 mm Ø) avec différentes aires de section transversale. Les lignes continues correspondent à des paraboles à équation simplifiée : $y = B \cdot x^2$.



Lorsque l'aire A de la section transversale du corps de résistance double, la traînée F double elle aussi (par ex. : sur la fig. 5, pour $p_d = 0,8$ hPa, les valeurs des droites de régression sont quasiment sur **0,1 N**, **0,2 N** et **0,4 N**) :

$$F \propto A$$

Les résultats de mesure confirment donc l'équation (I).

Si on remplace la pression dynamique p_d dans l'équation (I), on obtient :

$$F = c_w \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} v^2 \tag{V}$$

La traînée F augmente au fur et à mesure que la vitesse d'écoulement v augmente. La fonction de modélisation est une parabole à équation simplifiée (fig. 6) :

$$F \propto v^2$$

Les résultats de mesure confirment donc l'équation (V).

Information supplémentaire

La fonction $F(A)$ peut également être déterminée par simple échange des corps à vitesse d'écoulement v constante et pression dynamique p_d constante.

Le logiciel CASSY Lab 2 permet de déterminer la fonction $F(A)$ pour des vitesses d'écoulement v et pressions p_d quelconques, même si les séries de mesures ne présentent pas de vitesses d'écoulement ou pressions communes :

- Sélectionner une série de mesures dans la fenêtre graphique pour $F(p_d)$ en cliquant sur son premier ou dernier point de mesure.
- Faire un clic droit sur le point de mesure marqué, sélectionner **f(x)** « Fonction de modélisation » puis **↗** « Droite passant par l'origine ».
- Faire glisser le curseur sur tous les points de mesure avec le bouton gauche enfoncé et la fonction de modélisation choisie apparaît automatiquement.
- Faire un clic droit sur la fonction de modélisation réalisée, sélectionner **+** « Placer une marque » et cliquer sur **ABC** « Texte (Alt+T) ». Un texte du genre « $\$A\$ = 0,0156 \text{ N/hPa}$ » apparaît. L'aire A de la section transversale ne doit pas être confondue ici avec le facteur d'échelle mathématique $\$A\$$. Conseil : renommer $\$A\$$ en $\$B\$$.
- Recommencer ces étapes pour les autres séries de mesures.

Cette analyse a fourni le facteur d'échelle mathématique B pour chaque série de mesures.

Il résulte de l'équation (I) que le facteur d'échelle mathématique B est défini ici sous la forme :

$$B = c_w \cdot A \tag{VI}$$

Pour une aire A connue de la section transversale, les valeurs du coefficient de traînée c_w peuvent être calculées. Il s'ensuit les valeurs pour la fonction $F(A)$ pour une pression dynamique p_d sélectionnable au choix :

$\frac{B}{\frac{N}{Pa}}$	$\frac{A}{m^2}$	c_w	$\overline{c_w}$
0,00462	0,0050	0,9	1,1
0,00252	0,0025	1,0	
0,00156	0,0013	1,2	

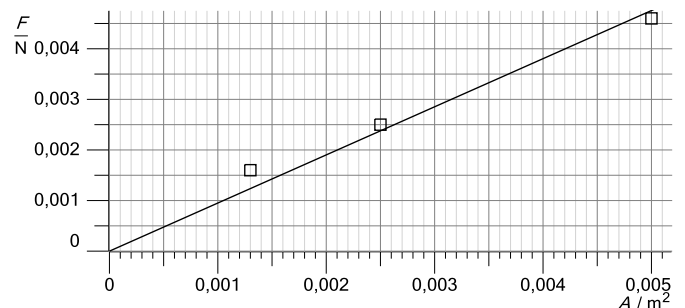


Fig. 7 Traînée F de disques en fonction de l'aire A de la section transversale. Valeurs calculées à partir des fonctions de modélisation des trois séries de mesures pour $p_d = 1$ Pa.

La pente de $\overline{F(A)}$ correspond à $\overline{c_w} \cdot p_d$. Si $p_d = 1$ Pa (pas hPa) est sélectionné, la pente $\overline{F(A)}$ se simplifie et devient $\overline{c_w}$.

N. B. : le coefficient de traînée c_w est déterminé directement dans le TP P1.8.6.2.