

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

– Mesure de la pression avec un capteur de pression et CASSY

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 :

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

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 ρ_d dépend de la vitesse d'écoulement v :

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

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 ρ_{tot} et la pression statique ρ_s :

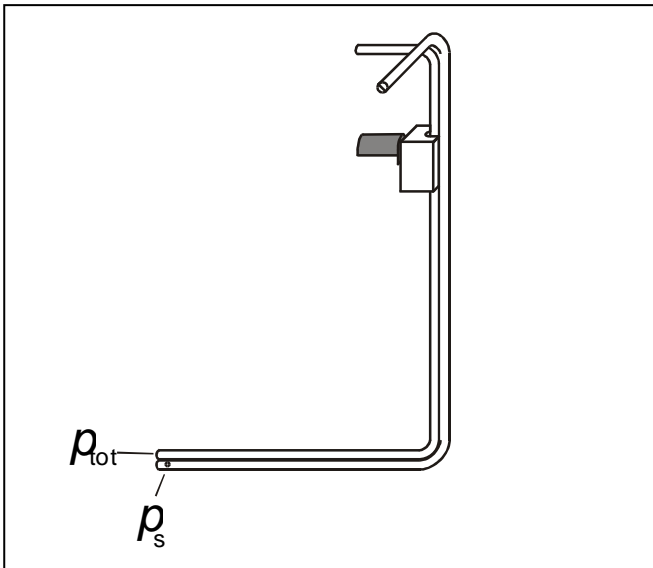
$$\rho_d = \rho_{\text{tot}} - \rho_s \quad (III)$$

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

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

N. B. : cette expérience est étroitement liée au TP P1.8.6.5 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 ρ_s et la pression totale ρ_{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 Sensor-CASSY 2.....	524 013
ou	
1 Mobile-CASSY.....	524 009A
ou	
1 Pocket-CASSY 2 Bluetooth.....	524 018
1 CASSY Lab 2.....	524 220
1 capteur de pression S, ± 70 hPa.....	524 066
1 pied en V, petit.....	300 02
1 socle.....	300 11
1 tige, 47 cm, 12 mm \varnothing	300 42

Complément : 1 PC avec Windows XP ou version plus récente

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.

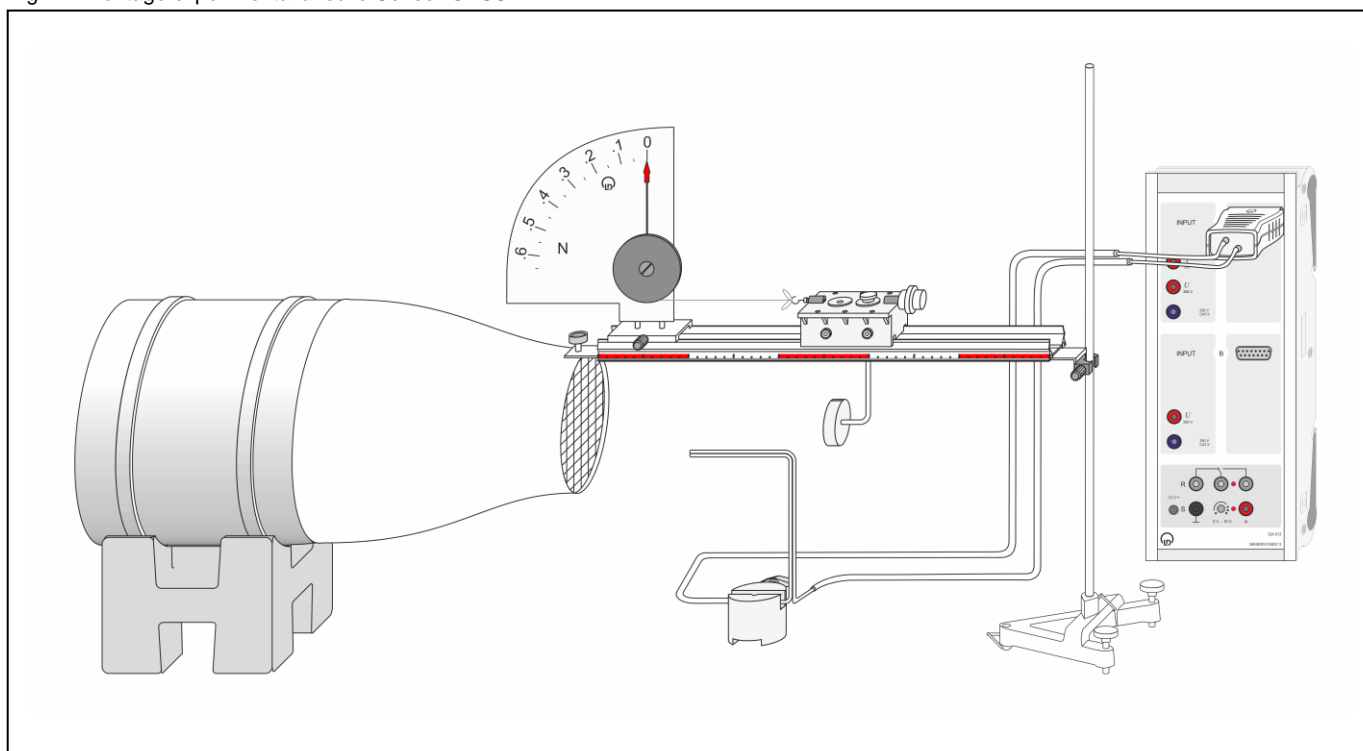
- Enficher le capteur de pression S, ± 70 hPa à l'entrée A du Sensor-CASSY 2 (fig. 2) ou du Mobile-CASSY (fig. 4).
- Raccorder le tuyau de 3 mm du raccord de pression p_1 (en haut) du capteur de pression S au tuyau de 5 mm de la sonde manométrique de Prandtl.
- Raccorder l'autre extrémité du tuyau de 5 mm à la sortie p_{tot} de la sonde de Prandtl (cf. fig. 1).
- De la même manière, raccorder le raccord de pression p_2 (en bas) du capteur de pression S à la sortie 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 \varnothing) 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 13, 373 075 et 524 066.


Fig. 2 Montage expérimental avec le Sensor-CASSY 2

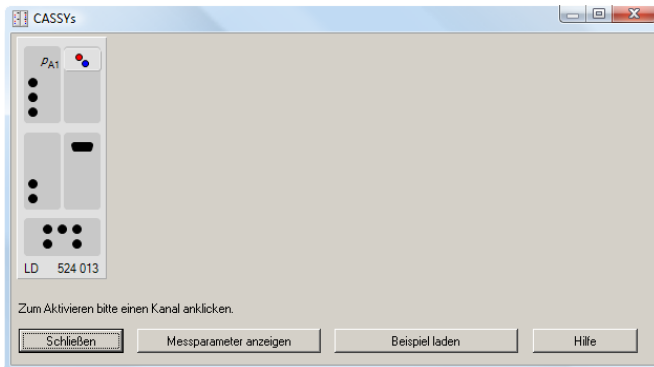


Manipulation


- Lancer le logiciel CASSY Lab 2 ou l'installer si cela n'est pas encore fait.

a) Mesure avec le Sensor-CASSY 2


- [Charger les paramètres dans CASSY LAB 2.](#)
- Le capteur de pression S connecté est affiché lorsque le Sensor-CASSY 2 est en marche et branché à l'ordinateur via le port USB.
- Activer le capteur de pression S connecté à l'entrée A en cliquant sur .






N. B. : pour plus d'informations sur la connexion des capteurs avec le Sensor-CASSY 2, consulter le guide utilisateur de CASSY Lab 2 ou l'aide en ligne.

- Mettre le capteur de pression S à zéro en cliquant sur . Pour ce faire, marquer le sous-menu « Pression relative p_{A1} » dans la fenêtre « Paramétrages ». 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.

- Noter la valeur indiquée par le dynamomètre sectoriel dans CASSY Lab 2, dans la colonne pour la traînée F (côté gauche de la fenêtre).
- Afin d'enregistrer la vitesse d'écoulement v correspondante avec CASSY Lab 2, cliquer sur  juste après avoir relevé F .
- Lentement augmenter la vitesse du ventilateur 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. : le bouton  apparaît dans la fenêtre  « Paramétrages » lorsque « Pression relative p_{A1} » est marquée dans le sous-menu de « Modules CASSY ». Conseil : activer le bouton  avant chaque série de mesures.

b) Mesure avec le Mobile-CASSY

N. B. : pour enregistrer automatiquement les valeurs de la pression, suivre les instructions du point a).




- Mettre Mobile-CASSY en marche avec .
- Ouvrir le menu principal en réappuyant sur .
- Sélectionner le sous-menu « Grandeurs mesurées » avec  ou  puis valider avec le bouton  droit.
- Sélectionner le sous-menu « p » avec le bouton  droit.
- Sélectionner « Corriger l'offset » et mettre la valeur de la pression à zéro en appuyant sur le bouton  droit.
- Appuyer sur le bouton  puis sur le bouton  gauche pour afficher la valeur actuelle de la pression.

N. B. : il est recommandé de mettre la valeur de la pression à zéro avant chaque série de mesures. Pour plus d'informations sur l'utilisation du Mobile-CASSY, voir le mode d'emploi (524 009A).

- 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.

- [Charger les paramètres dans CASSY LAB 2.](#)
- Relever la pression p_d correspondante 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 automatiquement calculée dans le tableau « $F(v)$ ».
- Lentement augmenter la vitesse du ventilateur jusqu'à ce que la pression dynamique p_d soit env. 30 % 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 . 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 \varnothing). La ligne continue correspond à une droite passant par l'origine : $y = B x$.

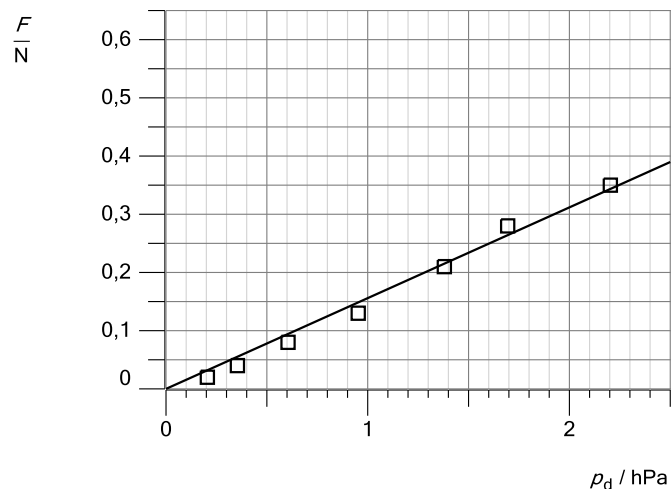
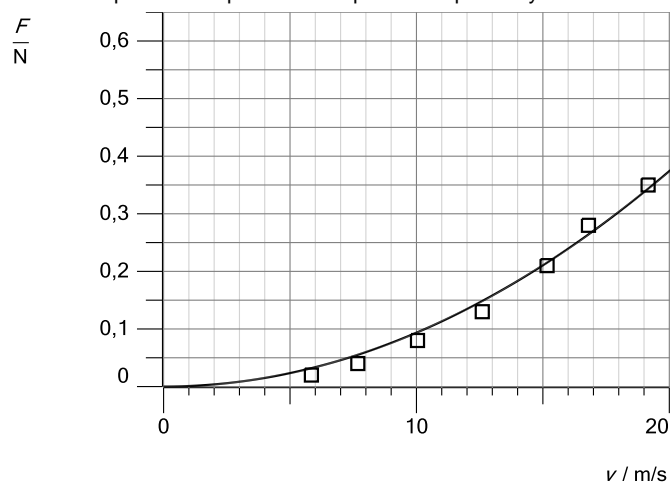


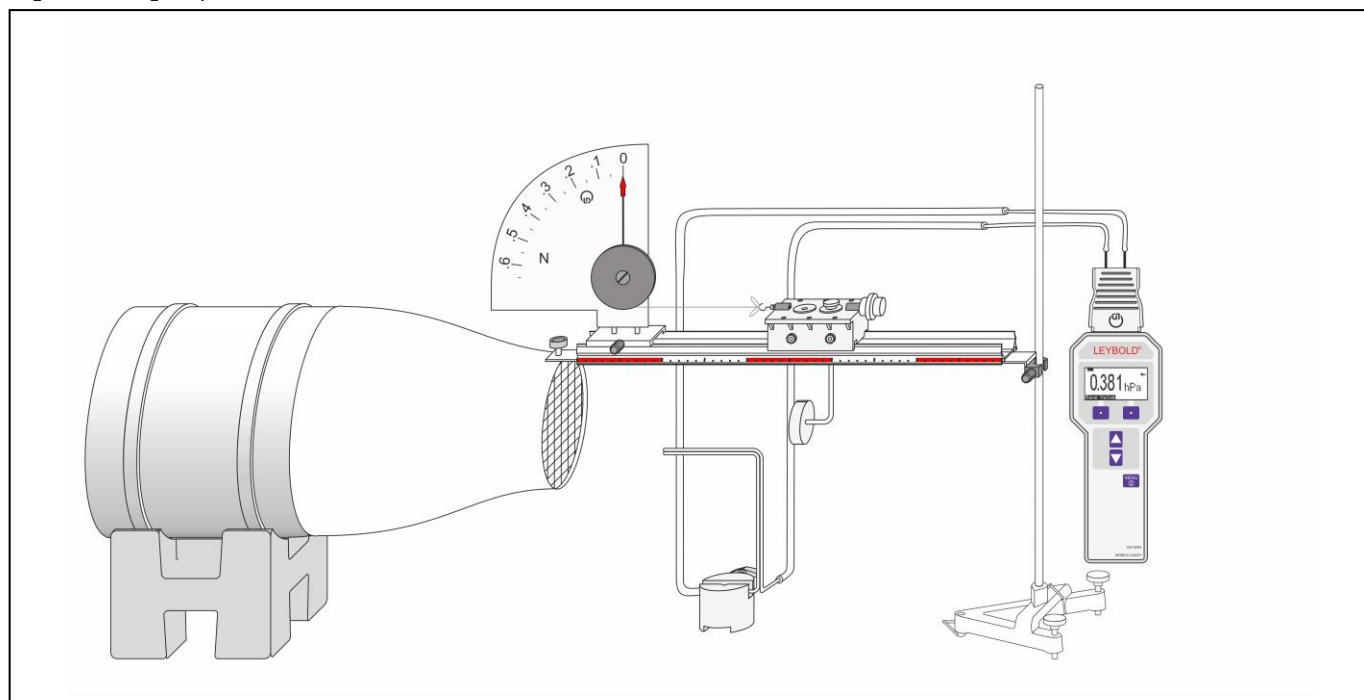
Fig. 5 Traînée F en fonction de la vitesse d'écoulement v pour le plus petit corps (disque, 40 mm \varnothing). La ligne continue correspond à une parabole à équation simplifiée : $y = C x^2$.



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

$\frac{p_d}{\text{hPa}}$	$\frac{v}{\frac{\text{m}}{\text{s}}}$	$\frac{F}{\text{N}}$
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

Fig. 4 Montage expérimental avec le Mobile-CASSY



Exploitation et résultats

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 droites passant par l'origine : $y = B \cdot x$

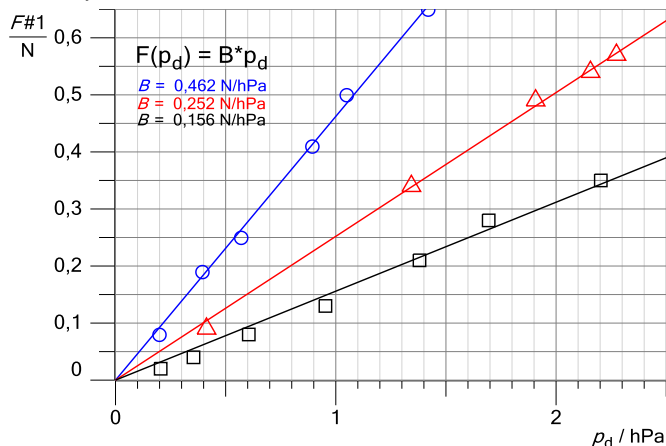
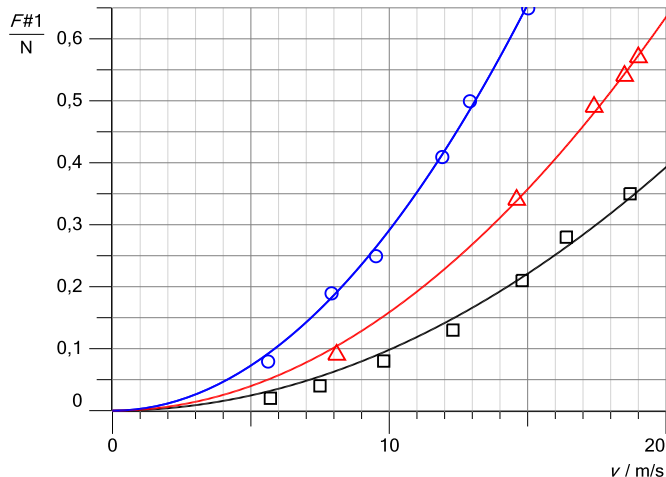


Fig. 7 Traînée F en fonction de la pression dynamique p_d pour trois corps (disques : 40 mm Ø, 56 mm Ø, 80 mm Ø) avec différentes aires de section transversale. Les lignes continues correspondent à des paraboles à équation simplifiée : $y = B \cdot x^2$.



Lorsque l'aire A de la section transversale du corps double, la traînée F double elle aussi (par ex. : sur la fig. 6, 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. 7) :

$$F \propto v^2$$

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 \square « 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 « $\$A\$ = 0,0156$ 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	

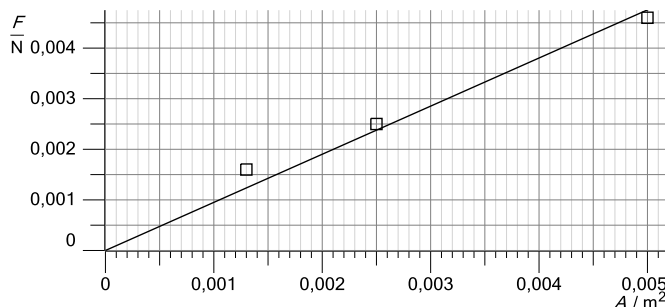


Fig. 8 Traînée F de disques en fonction de l'aire A de la section transversale. Valeurs calculées à partir des fonctions de modélisation des trois séries de mesures pour $p_d = 1$ Pa.

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 P1.8.6.5.