

TP 5

Mécanique des fluides en soufflerie

Travail préliminaire.

Commencer par lire le TP entier en diagonal, en prenant en note les informations qui vous paraissent importantes. Répondez ensuite aux questions suivantes.

- Quelle est la masse volumique de l'air dans les CNTP ? sa viscosité ?
- Quelles sont les hypothèses d'application du théorème de Bernoulli ? Quelle est son interprétation physique ?
- Savez-vous expliquer le fonctionnement d'un tube de Pitot ?
- On donne l'expression de la norme de la force de trainée

$$F = \frac{1}{2} C_x \rho S v^2$$

pour un objet dans un écoulement à la vitesse v . Quelle est la direction de la force de trainée ? Que savez-vous dire sur le coefficient de trainée C_x ?

- Le calcul d'un débit volumique prend très souvent la forme

$$D_v = \iint_S \vec{v} \cdot d\vec{S} = \iint_S v dS = v \iint_S dS = v S$$

Discuter chacune des égalités successives en donnant l'hypothèse qui permet de l'écrire.

Le TP se décompose en deux parties indépendantes (étude expérimentale du tube de Venturi et étude expérimentale de la conservation du débit volumique d'une part, étude des forces de trainée et de portance d'autre part). Vous devez consacrer environ 1h à chacune des parties (vous passerez alors d'une soufflerie à l'autre).

1 Étude expérimentale de l'effet Venturi

Dans cette partie, il est très intéressant, avant de manipuler, de réfléchir à ce que vous devez observer : quelle est la zone de plus forte vitesse ? de plus forte pression ? etc... On considère le dispositif en figure 1.

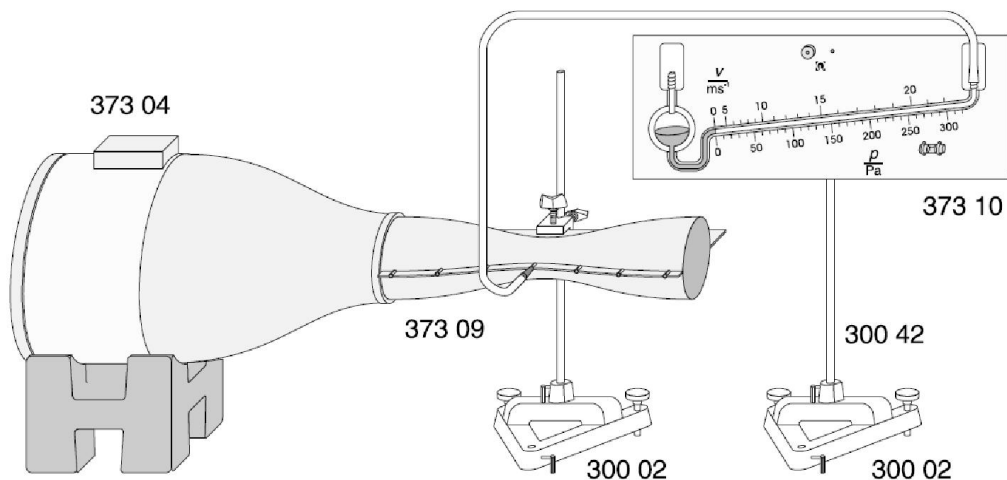


FIGURE 1 – Dispositif pour l'étude de l'effet Venturi.

Il est constitué d'une soufflerie (373 04), d'un tube Venturi (373 09) ainsi que d'un manomètre différentiel à eau colorée (373 10).

1.1 Utilisation du manomètre et mesure de la pression

Le manomètre permet de mesurer la pression à différents endroits du tube. Il est directement gradué en Pascal (échelle du bas, ne pas tenir compte de l'échelle du haut). Pour que les graduations soient fidèles, il faut que le manomètre soit bien horizontal. On peut contrôler l'horizontalité avec un niveau à bulle.

► Commencez par vous familiariser avec l'utilisation du manomètre : lorsque les deux extrémités sont reliées à l'atmosphère ambiante, à quel niveau doit-être l'eau colorée? Allumer la soufflerie et placer l'une des extrémités dans l'écoulement, puis l'autre. Comment se comporte l'eau colorée?

Conclusion. Le manomètre ne permet la mesure de différence de pression que si la plus haute pression est du côté du réservoir. Vous devrez vous-même veiller à ce que ce soit le cas, en inversant les tuyaux lorsque c'est nécessaire.

Utilisation dans le tube de Venturi. Commencez par boucher chacune des prises d'air sur le côté du tube à l'aide des batonnets. Pour mesurer la pression **absolue** P_i au niveau de l'une des prises, retirez le batonnet de celle-ci et connectez un tube du manomètre à la prise. L'autre tube peut être abandonné dans l'atmosphère ambiante. Régler le débit de la soufflerie de telle sorte à ce que la plus petite pression reste mesurable par le manomètre.

1.2 Tube de Pitot et mesure de la vitesse

► Branchez le tube de Pitot sur le manomètre, et mesurez la vitesse de l'écoulement en sortie du tube de Venturi. Utilisez pour cela les graduations du haut sur le manomètre. Vérifiez que cette vitesse est globalement homogène sur la section de sortie.

► L'écoulement peut-il être considéré comme incompressible? Un critère pour cela est que le nombre de Mach $\mathcal{M} = v/c$, avec c la célérité du son dans le milieu, doit être petit devant 1.

À partir de la conservation du débit, obtenir alors les vitesses v_i au niveau de chaque prise d'air par le calcul. On donne les caractéristiques suivantes pour le tube de Venturi.

Prise d'air	1	2	3	4	5	6	7
Diamètre du tube (mm)	100	90	66,5	50	66,5	90	100

Tableau : Géométrie du tube de Venturi.

1.3 Vérification du théorème de Bernoulli

Pour chaque prise d'air i , calculer la charge $\mathcal{C}_i$ définie par

$$\mathcal{C}_i = \frac{1}{2} \rho v_i^2 + P_i$$

On donne si besoin $\rho = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pour l'air. Quelle est l'unité de $\mathcal{C}_i$? Que représente-t-elle? Conclure et avancer des hypothèses pour justifier que la relation de Bernoulli n'est pas parfaitement satisfaite.

2 Étude expérimentale de la conservation du débit volumique

On considère le dispositif de la figure 2. La soufflerie est en aval de l'écoulement. Le tube de Pitot (373 13) permet de mesurer la vitesse grâce au manomètre différentiel à eau colorée, en utilisant la graduation du haut.

► (Travail non guidé) Utiliser le dispositif pour vérifier la conservation du débit volumique. On donne les sections à plusieurs niveaux de la rampe. Interpréter et discuter vos résultats. On pourra faire un schéma et dessiner des lignes de courant pour identifier dans le calcul de D_v du travail préliminaire quelles égalités ne sont pas vérifiées ici.

Position	1	2	3	4	5	6
Section (m^2)	0,020	0,019	0,018	0,017	0,016	0,015

Tableau : Géométrie de l'écoulement au dessus de la rampe.

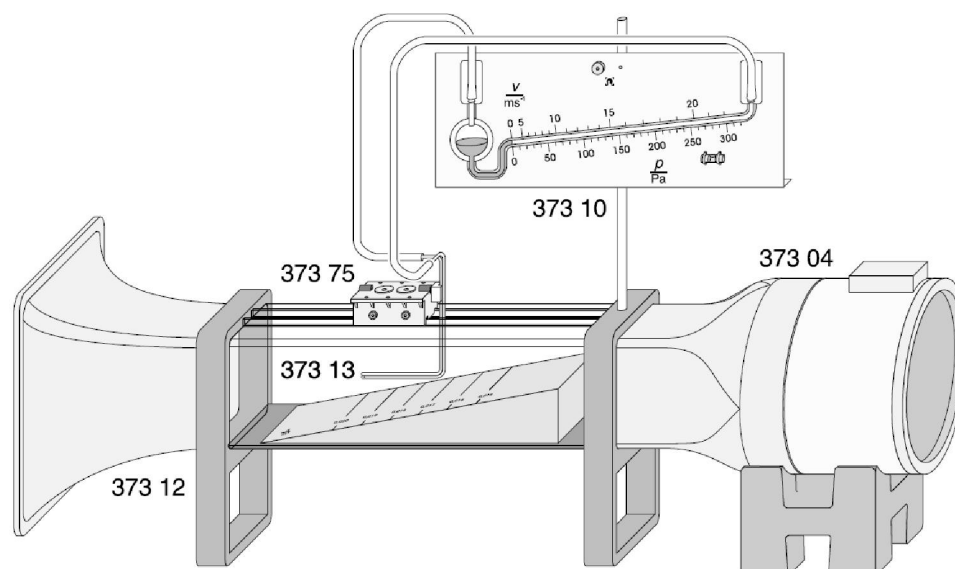


FIGURE 2 – Dispositif pour l'étude de la conservation du débit volumique.

3 Mesure de force exercée par un écoulement

3.1 Mesure de la force de trainée

À grand Reynolds, le coefficient de trainée C_x est constant, si bien que la norme de la force de trainée est proportionnelle au carré de la vitesse.

$$F = \frac{1}{2} C_x \rho S v^2$$

Dans cette expression, S est la surface orthogonale à l'écoulement, souvent appelée **surface efficace**.

On considère le dispositif de la figure 3.

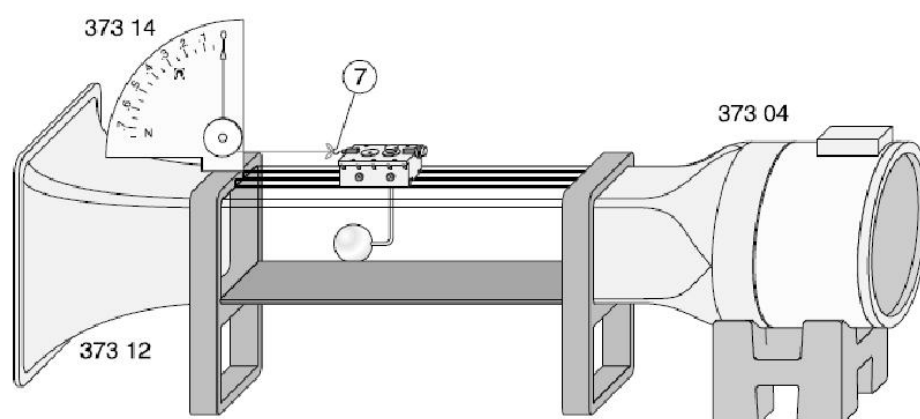


FIGURE 3 – Dispositif pour la mesure d'une force de trainée.

► Régler le débit de la soufflerie au maximum et mesurer la vitesse à l'aide d'un anémomètre (ou en lisant les graduations du potentiomètre de réglage). Évaluer alors le nombre de Reynolds. On rappelle la valeur de la viscosité de l'air $\eta = 1,8 \times 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$. Quel est l'autre nom de cette unité ? Conclure quant à la valeur du nombre de Reynolds.

► Il y a quatre profils avec une surface efficace identique égale à $23,76 \text{ cm}^2$. À l'aide du chariot et du vernier (373 14), mesurer la trainée F pour chacun des profils. En déduire le coefficient de trainée correspondant. Remplir le tableau suivant.

Profil	Disque	Sphère	Demi-sphère	Profil cylindro-conique	Profil cylindro-conique à l'envers
F (N)					
C_x					

Tableau : Tableau à reproduire et à compléter.

Attention. Le dynamomètre se lit comme suit : .1 N signifie 0,1 N.

► Interpréter vos mesures : quel profil est le plus aérodynamique ? Le moins aérodynamique ?

3.2 Mesure d'un coefficient de trainée

On souhaite mesurer un coefficient de trainée plus précisément que précédemment. Pour cela, on propose de faire varier la vitesse sur un profil donné, de mesurer la trainée, et de réaliser un ajustement des données.

► (Travail non guidé) Obtenir le coefficient de trainée de la sphère. On attend théoriquement 0,47.

3.3 Influence de la section efficace

On dispose de deux autres disques de sections efficaces S égales à 12,56 cm² et 49,02 cm² respectivement. Pour une vitesse donnée, vérifier que F/S est à peu près constant pour les trois disques.

3.4 Mesure d'un coefficient de portance [Facultatif]

On considère le dispositif de la figure 4. Il permet de mesurer à la fois la force de trainée F par le dynamomètre (373 14) et la force de portance par (373 08).

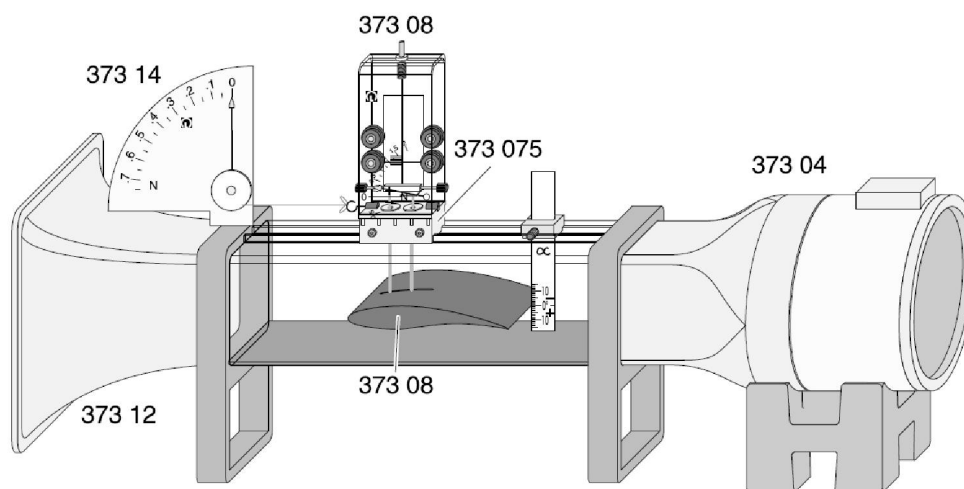


FIGURE 4 – Dispositif pour la mesure d'une force de portance.

La norme de la portance P s'exprime par

$$P = \frac{1}{2} C_z \rho S v^2$$

où C_z est le coefficient de portance. Quelle est sa direction ? Le dispositif permet de mesurer la trainée et la portance simultanément en fonction de l'angle α que fait le profil avec la vitesse relative du fluide appelé angle d'attaque. Cet angle est directement lisible sur la balance aérodynamique qui permet de mesurer la portance ou peut être mesuré à l'aide de la règle (étalonnée spécifiquement pour cette longueur d'aile : on règle le 0 sur le bord d'attaque (point de contact avant) puis on mesure l'angle d'inclinaison sur le bord de fuite (point de contact arrière) comme sur le schéma ci-dessus).

► Régler le débit de la soufflerie au maximum et effectuer la mesure de la portance et de la trainée pour différents angles d'attaque pour une vitesse constante. Tracer alors la portance P en fonction de la trainée F lorsque l'angle varie. Commenter et expliquer la notion d'angle de décrochage.