

MP 03 : Dynamique des fluides.

Elio Thellier.

Session 2021.

Introduction

Manip d'introduction qualitative mais digne de susciter l'intérêt du public (particulièrement des vrais élèves) : La balle de ping pong en "lévitation" dans le flux d'air d'un sèche cheveux, même oblique !

- Sèche cheveux (ou sortie d'air comprimé)
- Une balle de beer-pong

Peut être utilisé en intro pour "susciter l'attention" ou alors en conclusion s'il reste 1 min à combler
Attention Il faut savoir bien l'expliquer, c'est sûrement un piège où le jury attend au tournant (il y a de très nombreux niveaux d'explication toujours plus rigoureux, et ils vont donc pouvoir nous mettre à mal). Moi je l'explique comme un effet magnus inversé, c'est à dire que la différence de vitesse ne vient pas de la rotation de la balle mais de l'écoulement en soit (gradient de vitesse qui pointe vers le centre du cylindre flux). La balle se place donc dans la moitié basse de l'écoulement et subit 3 forces qui se compensent : la poussée du flux d'air (colinéaire à l'écoulement), son poids (vertical), et le gradient de pression dû au gradient de vitesse (orthogonal à l'écoulement vers le "haut" mais pas vertical). Là on a expliqué qu'avec le sens de ces 3 forces il peut exister une position d'équilibre, on a pas montrer que c'était stable... Vérifier si le sens de rotation de la balle est cohérent avec l'hypothèse $v_{haut} > v_{bas}$, sinon, tout mettre à la poubelle et ne pas en parler.

1 Vérification de la loi de Bernoulli

- anémomètre à fil chaud
- Soufflerie (corps + ventilateur + alimentation)
- La caisse avec la sonde pitot, le chariot pour la trainée, les formes (sphère, gouttes... pour trainée).
- Un thermomètre pour la température de (l'air de) la salle.

Protocole : On relève simplement ΔP sur la sonde pitot en fonction de la vitesse en soufflerie. Vérifier le zéro du fil chaud et le zéro du pitot et étalonner si nécessaire. Ne pas oublier de retirer totalement le cache du fil chaud, et mettre le point blanc face au vent. Mesurer la vitesse devant le pitot mais bien devant pour ne pas avoir d'influence sur la mesure. Mesurer ΔP qu'une fois le fil chaud retiré, sinon il perturbe l'écoulement.

Exploitation : Pour un écoulement incompressible, d'un fluide parfait (viscosité et pertes de charge négligeables), alors sur une même ligne de courant :

$$\rho \frac{v^2}{2} + \rho g z + P = cste_{ldc}$$

On néglige $\rho g z$, on dit que la vitesse sur la prise d'air face au vent est nulle (on prend la ldc orthogonale à la sonde, condition d'imperméabilité) donc ici $cste_{ldc_1} = P_1$.

Pour la prise d'air parallèle à l'écoulement (disons prise n°2), on néglige l'effet venturi (en effet on mesure v dans la section carrée de la soufflerie, or la vitesse en face de la prise d'air n°2 est plus élevée car la section est "la section carrée de la soufflerie - la section du pitot". La section pitot étant \ll devant l'autre on dit que $v \approx \text{cste}$). Pour cette prise d'air $P_2 + \rho \frac{v^2}{2} = \text{cste}_{ldc_2}$

Comme les ldc_1 et ldc_2 ne sont pas les mêmes on a pas directement Bernoulli, on le fait pour chaque ldc vers l'infini. Or ldc1 et ldc2 sont en tout point identiques à l'infini en amont de l'écoulement donc finalement ils sont reliés et on obtient

$$P_1 - P_2 = \rho \frac{v^2}{2}$$

La pente donne la masse volumique de l'air de la pièce. Vérifier sur [ce site](#) la pression atmosphérique, mesurer avec un thermomètre la température de la pièce, et voir avec simplement $PV = nRT$ la valeur théorique attendue (sachant que $M_{air} = 28.965 \text{ g.mol}^{-1}$ et $R = 8,31446261815324 \text{ J.mol}^{-1}.K^{-1}$. Dans l'année ça collait trop trop bien !

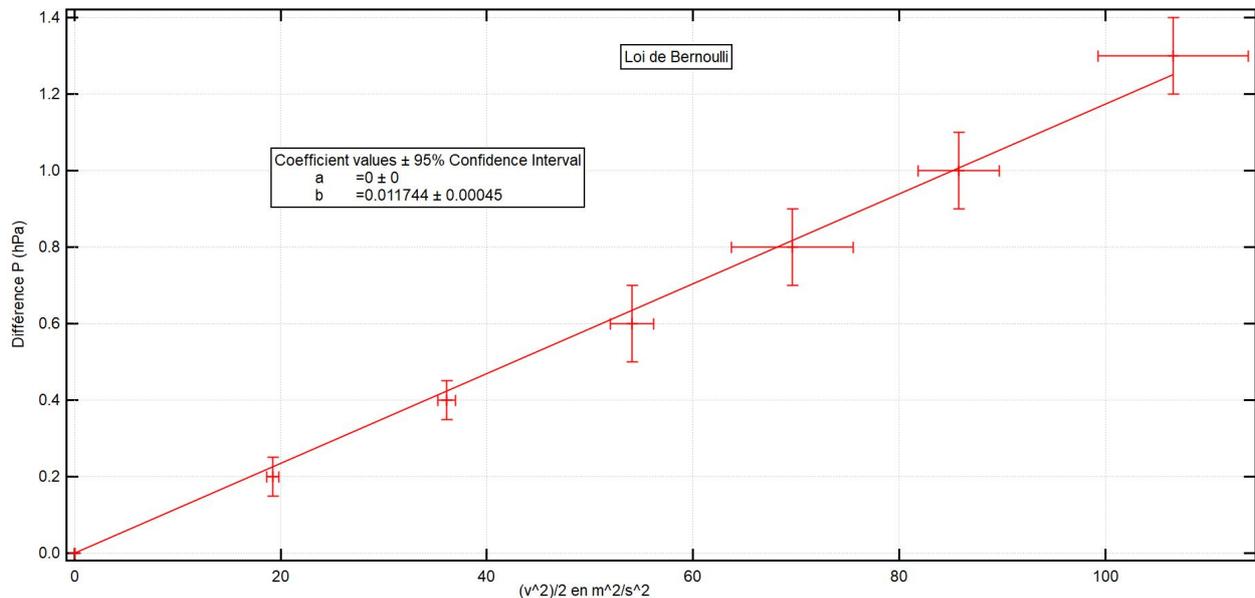


Figure 1: Loi de Bernoulli

2 Traînée d'une sphère : écoulement à haut Reynolds

cf **ALD p461**

Profitez que la soufflerie soit montée pour s'intéresser à la traînée d'une sphère dans un écoulement à haut nombre de Reynolds

- Même matériel que précédemment
- Pied à coulisse
- Balance (max 30g, précise à 0.01g au moins)
- Dynamomètre mécanique portable (ressort + crochet) de $F_{max} 0.25 \text{ N}$
- Masses avec crochet entre 0 et 30g

Données : $\eta_{air} = (1.85 \pm 0.2) \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^{-1}.s^{-1}$ valeur centrée sur $300 \pm 50 \text{ K}$

Commencer par vérifier les valeurs min et max de Re , pour s'assurer qu'on est sur la zone où C_x est constant.

Étalonner le dynamomètre de la soufflerie, avec un autre dynamomètre (portable ressort + crochet),

que l'on aura d'abord étalonné avec des masses que l'on aura pesé (ouvrir le dialogue sur qu'est ce qu'un étalonnage ? Comparer à une mesure "primaire" (nombre de frange qui défile pour Babinet), ou alors à un autre appareil de mesure dont on a plus confiance, mais alors justifier cette confiance).

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

et entre 10^3 et 10^5 $C_x = cste$. Utiliser la valeur de ρ trouvée précédemment avec la loi de Bernoulli pour rester cohérent !

Interprétation : On montre bien qu'on est dans la zone où C_x est constant car l'ajustement linéaire semble correct. Si on trouve un C_x trop élevé on peut invoquer la présence du bras portant la sphère, qui ne semble pas négligeable (On montre à vide que la force de trainée est non nulle sans la sphère). Peut on mesurer la force en fonction de la vitesse à vide et le retrancher ? L'écoulement sur le bras n'est vraiment pas le même avec ou sans sphère, donc discutable...

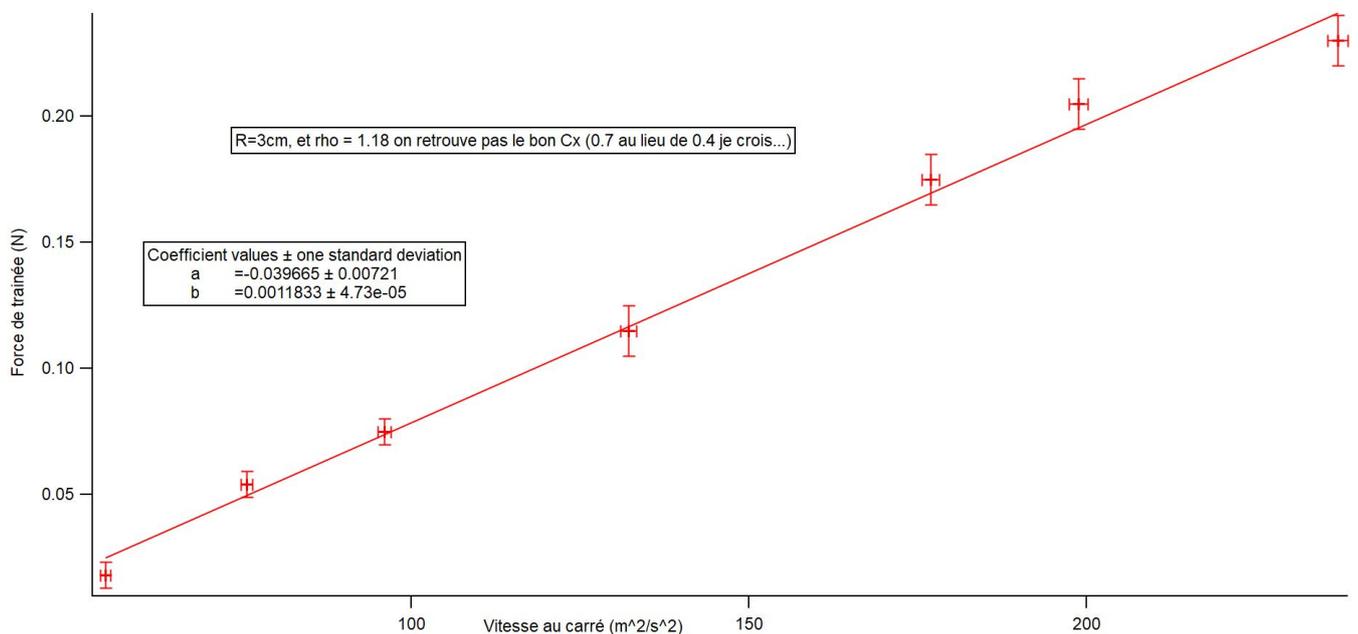


Figure 2: Trainée sphère

3 Chute d'une bille dans de l'huile de silicone

Gardons comme objet d'étude la trainée d'une sphère, mais à bas nombre de Reynolds maintenant.

ALD p.433

- Énorme éprouvette dont les graduations font tout le tour (pour mieux caler son oeil horizontalement)
- Billes métalliques de rayons différents (petits rayons mieux que grands)
- Pied à coulisse pour vérifier R bille
- Balance de précision (pour déterminer la masse volumique des billes)
- Fiole jaugée et pipette pasteur (pour déterminer la masse volumique du fluide)
- Huile de Silicone (car visqueux et qui ne s'hydrate pas contrairement au glycérol)

Là ça vaut vraiment le coup de bosser avec le livre d'ALD.

4 Écoulement de Poiseuille

cf livre ALD p446

Matériel :

- Vase de Mariotte
- Bouchon avec tube fin que l'on peut coulisser au travers, mesurer sa taille entière.
- Cristallisoir assez gros ou becher bien gros
- Balance
- 4 supports élevateurs et du scotch classique
- Un NIVEAU pour s'assurer de l'horizontalité du tube !
- Un chronomètre

Trucs et astuces :

- En haut mouiller le bouchon pour assurer son imperméabilité !
- Scotch hydrophobe au bout du long capillaire pour éviter qu'une goutte ne se forme et ne modifie la pression de par sa courbure (tension de surface)
- Attendre l'établissement du régime permanent qui n'est pas si faible !
- Bien vérifier l'horizontalité du tube et mettre assez de supports élevateurs pour qu'il reste bien droit.