

05/11/13

MONTAGE 03 : DYNAMIQUE DES FLUIDES

ANTOINE LEHÉBEL

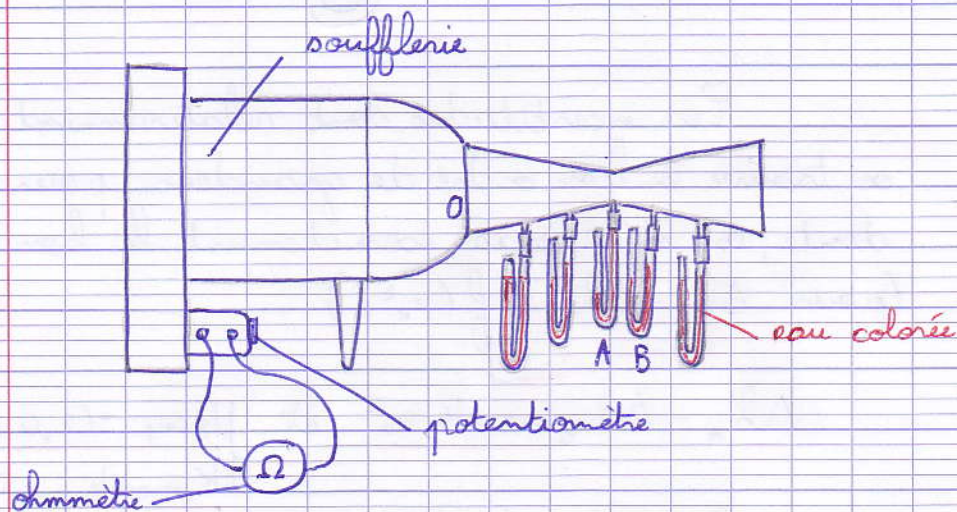
correcteur : F. RESTAGNO

BRIGITTE LI

Bibliographie : * Dictionnaire de la physique expérimentale - tome 1 - La mécanique, Quaranta (pour les expériences)
* Hydrodynamique physique, Guyon, Hulim et Petit (pour la théorie).

I - MODÈLE DE L'ÉCOULEMENT PARFAIT

1-) Effet Venturi

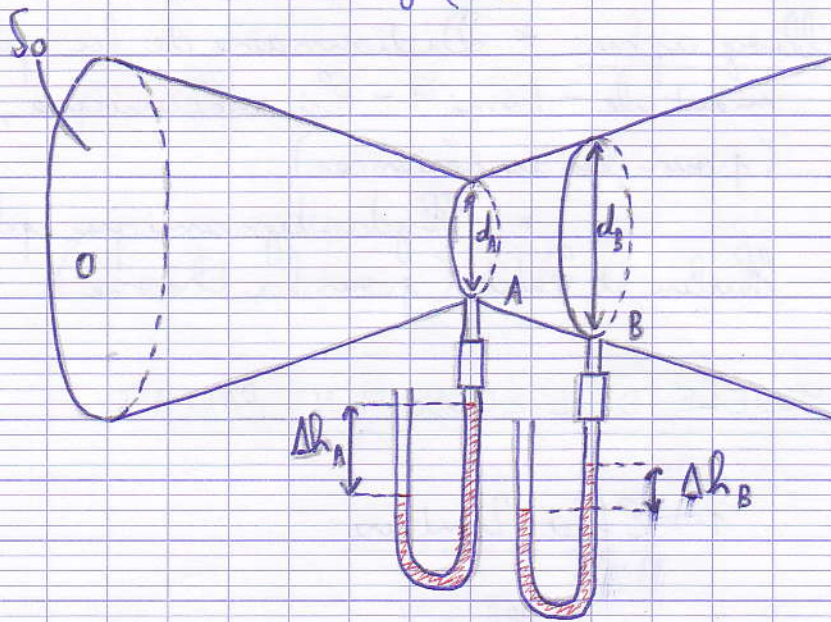


On commence par calibrer la vitesse v_0 en fonction de la résistance R , en démontant le tube à étranglement. On utilise pour cela un petit anémomètre. La caractéristique est relativement droite.

Ensuite, on étudie comment varie la diffé-

rence $\Delta h_A - \Delta h_B$ en fonction de v_0 . La théorie prévoit pour un écoulement parfait

$$\Delta h_A - \Delta h_B = \frac{8 \rho_{\text{air}} S_0^2}{\pi^2 g \rho_{\text{eau}}} \left(\frac{1}{d_A^4} - \frac{1}{d_B^4} \right) v_0^2$$



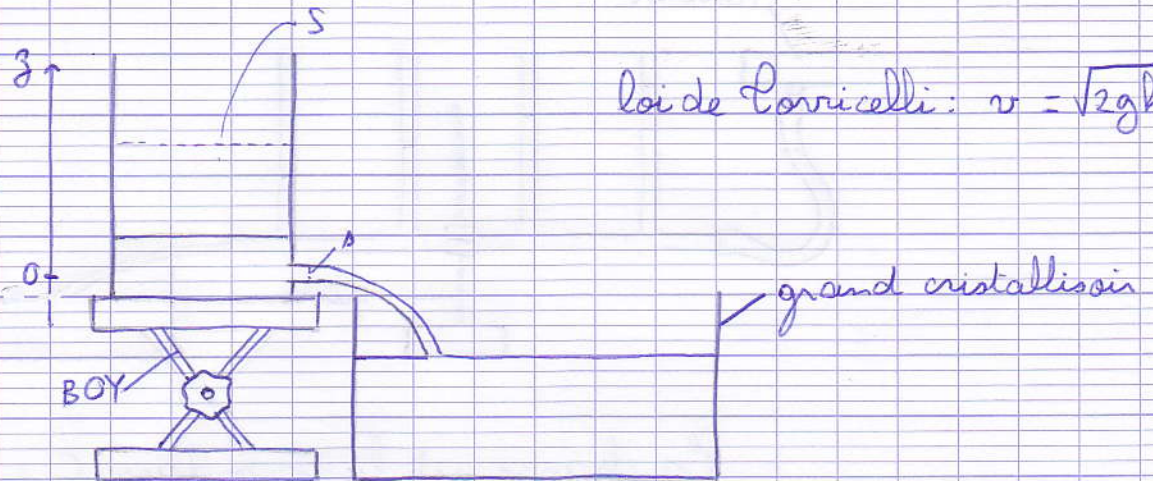
Les incertitudes sont relativement élevées, et si on trouve le bon ordre de grandeur pour la loi précédente, on n'a pas exactement le bon coefficient (pour $\Delta h_A - \Delta h_B = f(v_0^2)$).

$$\Delta h_A - \Delta h_B = K v_0^2 \quad \text{et} \quad \begin{cases} K_{\text{exp}} = (2,0 \pm 0,5) \cdot 10^{-4} \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-1} \\ K_{\text{modèle}} = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ s}^2 \cdot \text{m}^{-1} \end{cases}$$

On calcule $Re \approx 70000$, ce qui justifie pleinement le modèle de l'écoulement parfait.

On va à présent essayer de mettre en évidence un écoulement parfait avec un fluide autre que l'air.

2-) Vidange de Coricelli



loi de Torricelli: $v = \sqrt{2gh}$

$$\sqrt{z} = \sqrt{z_0} - \frac{\rho}{S} \sqrt{\frac{g}{2}} t = a - bt$$

On trace \sqrt{z} en fonction de t . Ça donne une courbe remarquablement droite.

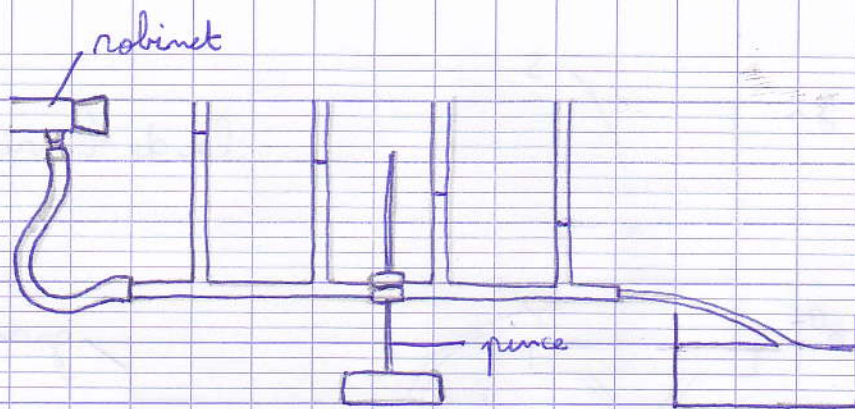
$$\begin{cases} a_{\text{exp}} = 5,00 \pm 0,04 \text{ cm}^{1/2} \\ a_{\text{modèle}} = 5,0 \text{ cm}^{1/2} \\ b_{\text{exp}} = (1,283 \pm 0,004) \cdot 10^{-2} \text{ cm}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1} \\ b_{\text{modèle}} = 1,52 \cdot 10^{-2} \text{ cm}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1} \end{cases}$$

On constate que ça se vide un peu plus lentement que prévu. On a des pertes par viscosité dans le petit tube d'échappement, ainsi que des pertes en v^2 à l'entrée de ce tube (toujours turbulent).

Dans le tube, le nombre de Reynolds vaut environ 3000, ce qui justifie quand même notre modèle d'écoulement parfait.

3-) Écart au modèle: perte de charge

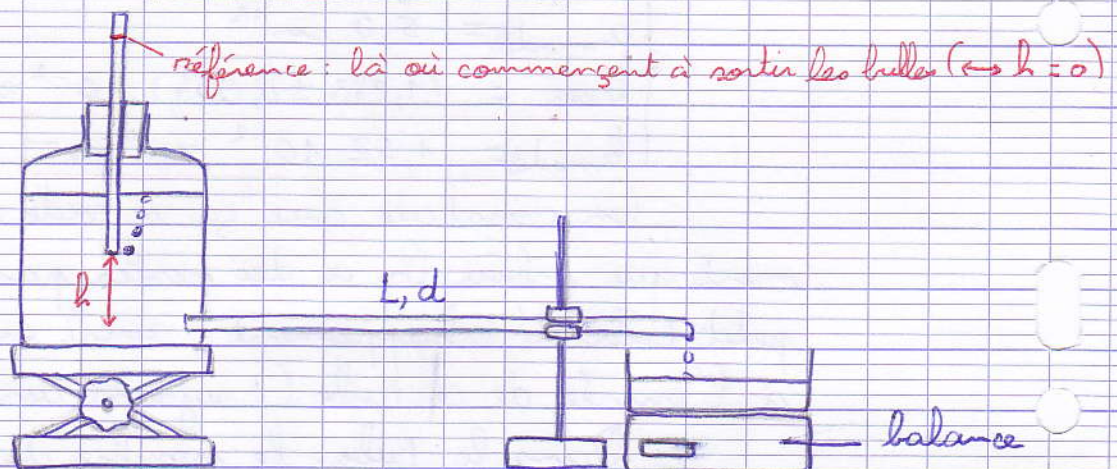
C'est une petite expérience qualitative pour faire la transition avec la partie suivante.



La charge est la grandeur $C = \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz$
 C'est facile à mettre en place, mais on ne voit pas grand chose quand on est loin.

II - ECOULEMENTS VISQUEUX

1-) Vase de Mariotte



L'expérience est décrite dans le Quaranta.

$$\langle v \rangle = \frac{d^2 \rho g}{32 \eta L} h = \alpha h$$

Il vaut mieux prendre un tube de faible diamètre (2,5 mm par exemple) pour être sûr de ne pas être en régime turbulent. Si c'est le cas, la courbe $\langle v \rangle = f(h)$ n'est plus une droite, mais à ten-

dance à s'infléchir vers le bas (tout ça est détaillé dans un article de l'American Journal of Physics assez récent, intitulé "Use of a Mariotte bottle for the experimental study of the transition from laminar to turbulent flow")

On mesure $\alpha_{\text{exp}} = 1,48 \pm 0,08 \text{ s}^{-1}$
 et $\alpha_{\text{modèle}} = 1,38 \pm 0,02 \text{ s}^{-1}$

Pour placer le zéro sur le tube vertical, on regarde le point à partir duquel des bulles commencent à sortir. On trace alors un trait sur ce tube, au ras du bouchon. Ensuite, l'écart h entre le bas du tube vertical et l'orifice du tube de sortie se lit directement entre ce trait et le haut du bouchon.

Ici, $Re = 390$. On pourrait se dire qu'à une telle valeur ($\gg 1$), le modèle d'un écoulement parfait est encore valable. Il devrait d'ailleurs également être turbulent.

Pendant, dans le cas d'un tube cylindrique, le terme $\vec{v} \cdot \text{grad} \vec{v}$ est nul par symétrie. Dans cette géométrie, la grandeur $Re = \frac{\rho v l}{\eta}$ n'est donc pas du même ordre que $\frac{\rho \|\vec{v} \cdot \text{grad} \vec{v}\| l}{\eta}$. La transition se produit vers $Re \approx 2300$, donc méfiance...

2-) Chute d'une bille dans le glycérol

$$\eta = \frac{\Delta \rho g d^2}{18 v_{\text{lin}}} \quad \text{avec } \Delta \rho = \rho_{\text{verre}} - \rho_{\text{glycérol}}$$

On mesure le diamètre d avec un Palmer.
 On trouve de toute manière une valeur beau-

coups plus faible que la valeur tabulée (ce qui est dû majoritairement à l'eau absorbée par le glycérol, et à la température).

Il est important de présenter cette expérience comme une méthode de viscosimétrie, pas comme la mesure de la viscosité du glycérol.

C'est aussi important de prendre une petite bille pour diverses raisons.

Ici, $Re = 0,02$, et on a encore atteint une échelle de Re très différente.

QUESTIONS

Le montage était bien. Les expériences ne sont pas originales du tout, mais présentées dans cet ordre ça donne quelque chose de correct (⚠ il ne faudrait surtout pas faire un découpage turbulent / non-turbulent).

→ préciser l'hypothèse d'incompressibilité.

critère de Mach, $\left(\frac{v}{c_{son}}\right)^2 \ll 1$.

→ comment est-ce qu'on calibre la soufflerie?

on prend une droite parce que ça a une tête de droite, ce n'est pas très important.

→ d'où viennent les écarts à la théorie dans l'expérience de Venturi? que faut-il pour appliquer Bernoulli?

il faut un écoulement incompressible et parfait. Si jamais des turbulences apparaissent, l'écoulement n'est plus parfait.

→ comment prendre en compte ou jouer sur les pertes dans la vidange de Lovicelli?

on peut rentrer plus ou moins le petit tube pour essayer de minimiser les pertes par turbulence. On peut modéliser l'écoulement dans ce tube par un écoulement de Poiseuille.

→ ne faudrait-il pas imposer la valeur v_{z_0} dans le fit de la courbe $v_z = f(t)$?

avis du correcteur... ça n'a pas de sens puisqu'on a une incertitude sur cette mesure de z_0 , qu'on annule artificiellement si on impose z_0 .

→ pour le vase de Mariotte, est-ce un problème qu'il y ait des bulles (vis-à-vis de la pression)?

non, la loi de Laplace donne un écart en pression d'une quinzaine de Pa.

→ comment varie η avec T ?

pour des liquides η diminue avec T (lié des barrières d'énergie). Pour des gaz, η augmente (lié au libre parcours moyen).

→ quels sont les hypothèses pour appliquer l'équation de Navier-Stokes?

il faut un écoulement incompressible, et un fluide newtonien.

→ est-ce que c'est un principe fondamental de la physique de dire que la vitesse d'un fluide réel est nulle sur la paroi?

non, c'est plutôt phénoménologique.

→ comment se comporte le fluide à l'entrée du tube de sortie de l'expérience de Mariotte?

