

Les 3 séances de TP de votre binôme sont positionnées sur votre ENT-Planning. En arrivant à chaque séance, vous devrez savoir sur quel TP vous travaillerez grâce à une certaine permutation circulaire qui vous sera annoncée avant le commencement des TP, une fois que vous aurez formé les binômes ...

Vous devrez donc avoir, au minimum, lu votre sujet de TP avant d'arriver en séance. Vous pouvez répondre à certaines questions avant la séance. Vous serez noté pour chaque TP.

Une absence, non justifiée par écrit valable, à 1 TP entraîne un 0 à ce TP. Votre note de TP à l'UE est la moyenne des TP.

Tous les compte-rendus de TP seront rendus en fin de séance : ils comporteront au minimum vos résultats d'essai (grilles fournies dans les dernières pages de ce document (qui vous seront fournies en début de séance) complétées lisiblement - éventuellement au crayon - avec les unités), les courbes demandées et les éventuelles comparaisons aux théories.

En 3h de TP, vous n'aurez pas le temps de faire des brouillons et de les recopier. Vous travaillerez comme bon vous semble en écrivant lisiblement sur des feuilles et me rendrez tous les documents écrits qui comporteront vos NOMS.

La note de TP portera sur :

- la ponctualité ;
- le travail réalisé en salle :
 - les réponses aux questions ;
 - la façon d'utiliser les appareils ;
 - la façon d'utiliser votre calculatrice **obligatoire** et votre cerveau !
 - les exploitations des résultats ...
- le compte-rendu et (ou) les documents rendus.

Votre téléphone portable restera rangé si vous ne voulez pas avoir une forte diminution de votre note. Votre note est fonction de votre travail en comparaison à celui des autres binômes de cette année et des années précédentes. Chaque membre du binôme peut avoir une note différente : sur l'un des TP, vous travaillerez à partir de valeurs différentes.

Calculs à faire avant les TP.

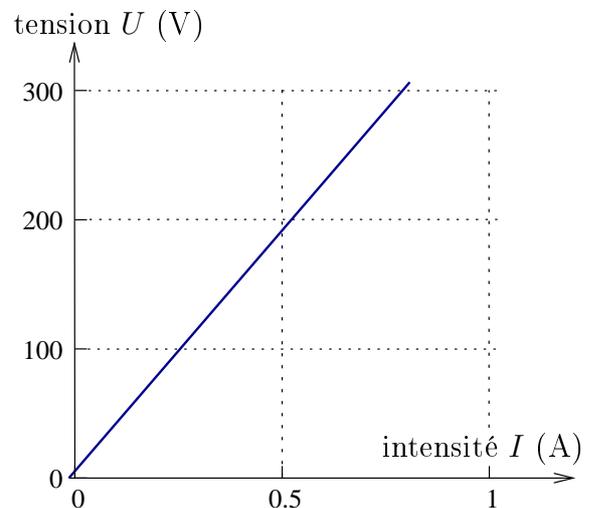
Lors d'une expérience vous mesurez le volume \mathcal{V} avec une incertitude $\Delta\mathcal{V} = \pm 0.025$ l et le laps de temps t avec une incertitude $\Delta t = \pm 0.5$ s. Vous faites une première expérience en mesurant $\mathcal{V} = 1$ l et $t = 16$ s puis une seconde en mesurant $\mathcal{V} = 8$ l et $t = 2$ mn et 6 s. Pour chaque expérience :

- calculez le débit volumique $q_v = \frac{\mathcal{V}}{t}$;
- calculez l'erreur relative sur \mathcal{V} soit $\frac{\Delta\mathcal{V}}{\mathcal{V}}$;
- calculez l'erreur relative sur t soit $\frac{\Delta t}{t}$;
- calculez l'erreur relative sur q_v soit $\frac{\Delta q_v}{q_v}$;
- calculez l'erreur (l'incertitude) sur q_v soit Δq_v .

Conclure en ce qui concerne l'expérience la plus précise.

Si vous aviez à représenter le graphe d'une tension U exprimée en Volt (V) et fonction de l'intensité I exprimée en Ampère (A), vous donneriez le graphe ci-contre.

A cause d'un logiciel "tableur" bien connu utilisé par bon nombre de citoyens, les plus jeunes que moi ont pris l'habitude de mettre un "titre" au graphe ... ce qui pour moi est totalement inutile ... mais qu'il vaut mieux mettre pour éviter de choquer les plus jeunes que moi.



Données :

Masse volumique et viscosité cinématique de l'air : $\rho = 1.21 \text{ kg.m}^{-3}$, $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$.

Recommandations

Le dispositif par tube de Pitot et tube de pression statique permettant la mesure de la vitesse de l'air doit être utilisé de telle manière que l'axe des tubes soit suivant la direction de l'écoulement.

Ne pas placer ces sondes juste après une singularité dans l'écoulement.

Vérifier que le panneau de lecture des vitesses est de niveau.

Partie 1 : Mesure de v_∞ ($\approx 0\text{h}20$)

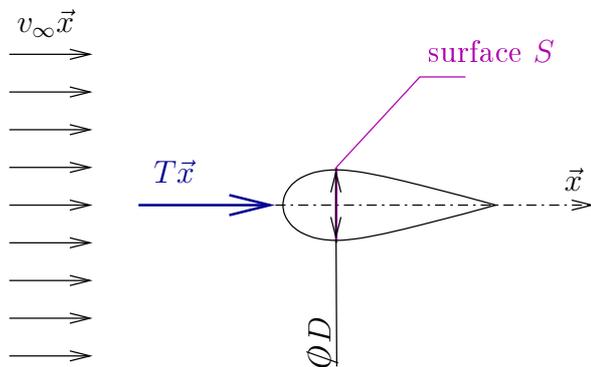
Déterminez la vitesse en sortie de soufflerie $v_\infty \vec{x}$ avec le dispositif par tube de Pitot et avec l'anémomètre correctement tenu.

Ayez la curiosité de votre l'influence de votre mesure suivant la position de votre point de mesure par rapport à la sortie de la soufflerie.

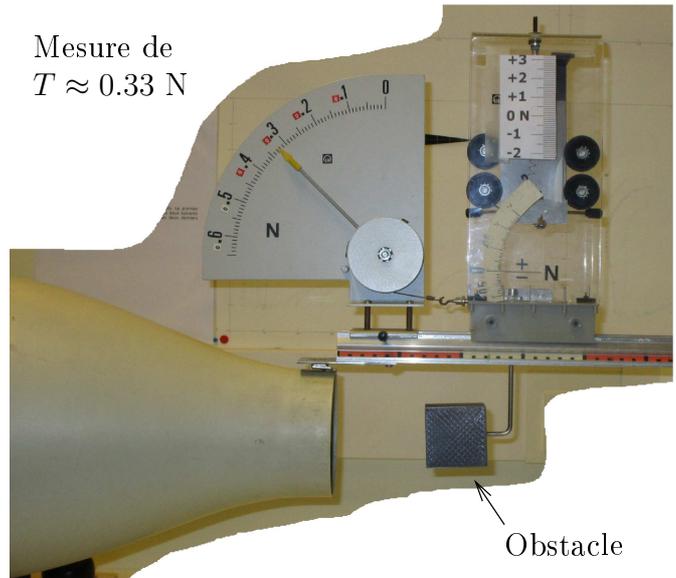
Les obstacles seront positionnés à l'endroit où vous venez de faire la mesure de vitesse.

A partir de ces 2 mesures de vitesse, évaluez l'incertitude absolue Δv_∞ puis calculez l'incertitude relative $\frac{\Delta v_\infty}{v_\infty}$ (toute incertitude relative s'exprime en %).

Partie 2 : C_x d'obstacle ($\approx 1\text{h}00$)



Mesure de
 $T \approx 0.33 \text{ N}$



Les différents obstacles possèdent la même distance caractéristique D à une incertitude près. Pour ces obstacles, mesurez la force de traînée T et, après avoir déterminé la surface frontale (nommée également surface projetée ou maître-couple) S de l'obstacle, calculez le coefficient aérodynamique de traînée C_x par :

$$T = \frac{1}{2} \rho S C_x v_\infty^2$$

Pour la sphère et le disque, comparez avec les graphes issus d'expériences (Stockes) fournis.

Classez par ordre de C_x croissant les différents obstacles : écrivez ce classement dans la colonne prévue à cet effet.

Après avoir évalué les incertitudes sur les différents paramètres du calcul, déterminez l'incertitude sur la valeur de C_x (pour un obstacle donné : la sphère).

Partie 3 : C_x et C_z d'une aile d'avion ($\approx 1h40$)

Rappel de cours

L'action de l'air (de vitesse $v_\infty \vec{x}$) sur un profil cylindrique (section quelconque de longueur infinie suivant \vec{y}) se caractérise en un point D situé sur la corde du profil à $\frac{c}{4}$ de son bord d'attaque par le torseur :

$$\{air \rightarrow profil\}_D : \left\{ \begin{array}{l} T\vec{x} + P\vec{z} \\ M\vec{y} \end{array} \right\}_D$$

avec :

$$T = \frac{1}{2}\rho S C_x v_\infty^2 \quad ; \quad P = \frac{1}{2}\rho S C_z v_\infty^2$$

$$M = \frac{1}{2}\rho S c C_m v_\infty^2$$

T : composante de traînée ;

P : composante de portance ;

M : moment en D ;

$S = cL$: surface projetée ;

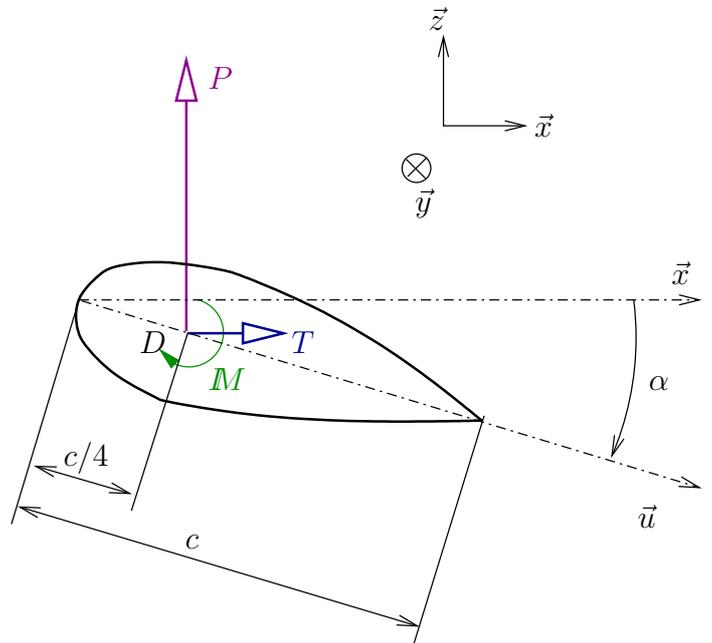
c : corde du profil ;

L : envergure (longueur suivant y) du profil ;

C_x : coefficient de traînée ;

C_z : coefficient de portance ;

C_m : coefficient de moment.



Notations

On nomme :

S_1 : le système matériel constitué du profil, des plaques encadrant le profil, des 2 équerres.

S_2 : le système matériel constitué de S_1 ainsi que du socle et du capteur de balance détachée fixé au socle et en appui sur la barre reliée aux 2 équerres.

Avant propos - découverte du matériel

- Inclinez l'aile à environ 20° ;
- Posez S_1 sur la balance inférieure ;
- Notez la masse affichée sur cette balance ;
- Mettez en route la soufflerie ;
- Notez la nouvelle masse affichée sur cette balance ;
- Eteignez la soufflerie ;
- Reposez S_1 sur la balance inférieure ;
- Tarez cette balance ;
- Remettez en route la soufflerie ;
- Notez la masse affichée sur cette balance ;
- Concluez : vous devriez répondre à une question suivante.

Procédure expérimentale

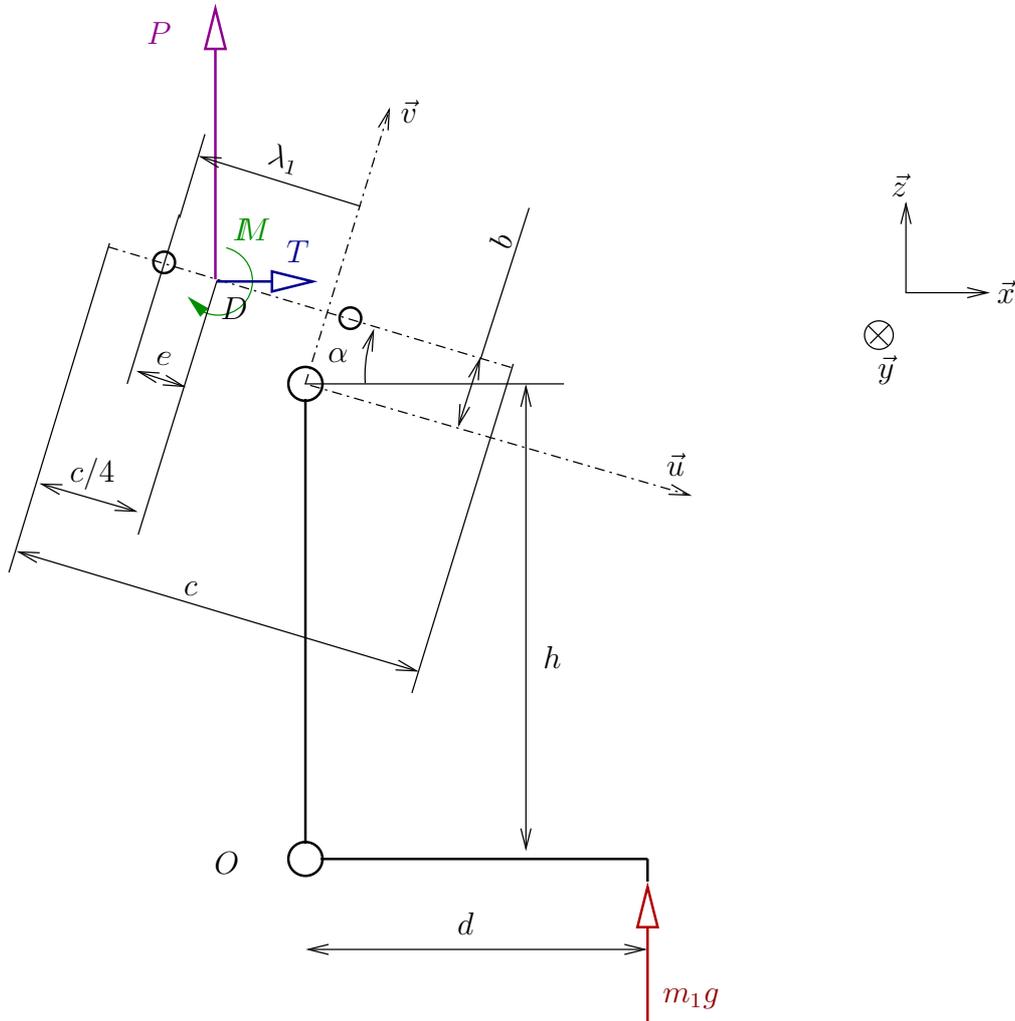
Il faut mesurer les masses annoncées par les balances tarées pour différentes incidences de l'aile et pour les 2 positions de l'aile (avancée ou reculée sur les rails munis de 4 molettes). Vous procéderez de la manière suivante :

- Tournez les 2 molettes noires pour positionner l'aile sur une incidence quelconque, resserrez délicatement ces molettes ;
- Desserrez les 4 molettes grises et glissez le profil en butée avant, resserrez délicatement ces molettes (1 ou 2 peuvent suffire) ;
- Tarez les 2 balances, choisissez l'affichage gramme "g" ;
- Mettre en marche la soufflerie ;
- Relevez les 2 masses affichées m_1 (balance détachée) et m_2 (balance inférieure) sans oublier le signe ;
- Arrêtez la soufflerie ;
- Relevez l'angle avec l'inclinomètre ;
- Desserrez délicatement les 4 molettes grises et glissez délicatement le profil en butée arrière, resserrez délicatement ces molettes (1 ou 2 peuvent suffire) ;
- Tarez à nouveau la balance détachée car le centre de gravité de la partie que vous venez de translater a bougé - la balance inférieure n'a normalement pas besoin d'être tarée à nouveau ;
- Mettre à nouveau en marche la soufflerie ;
- Relevez à nouveau les 2 masses affichées m'_1 et m'_2 sans oublier le signe ;
- Arrêtez la soufflerie ;
- Réalisez les calculs qui suivent ;
- Renouvelez la procédure pour un autre angle d'incidence α .

Mise en équations : exploitation des mesures

1°) Enumérez puis caractérisez les actions exercées sur le système S_2 .
Ecrivez une équation du **P.F.S.** à ce système S_2 . Qu'en déduisez vous ?

2°) Enumérez puis caractérisez les actions exercées sur le système S_1 .
Appliquez l'équation des moments en O du **P.F.S.** .
Ecrivez cette équation pour les 2 positions avant et arrière.



Déduisez-en (par soustraction de ces 2 équations) l'expression suivante de la composante de trainée :

$$T = \frac{(m_1 - m'_1)gd}{(\lambda'_1 - \lambda_1) \sin \alpha} - \frac{P}{\tan \alpha} \quad \text{où : } (\lambda'_1 - \lambda_1) = 15 \text{ mm et } d = 40 \text{ mm.}$$

Cette expression ne peut pas être utilisée pour $\alpha = 0$.

Que vous donne votre équation précédente du moment en O du **P.F.S.** pour $\alpha = 0$ et pour le profil symétrique comme celui étudié ?

Remplissez alors 1 ligne du tableau.

Renouvelez l'expérience pour un angle α différent.

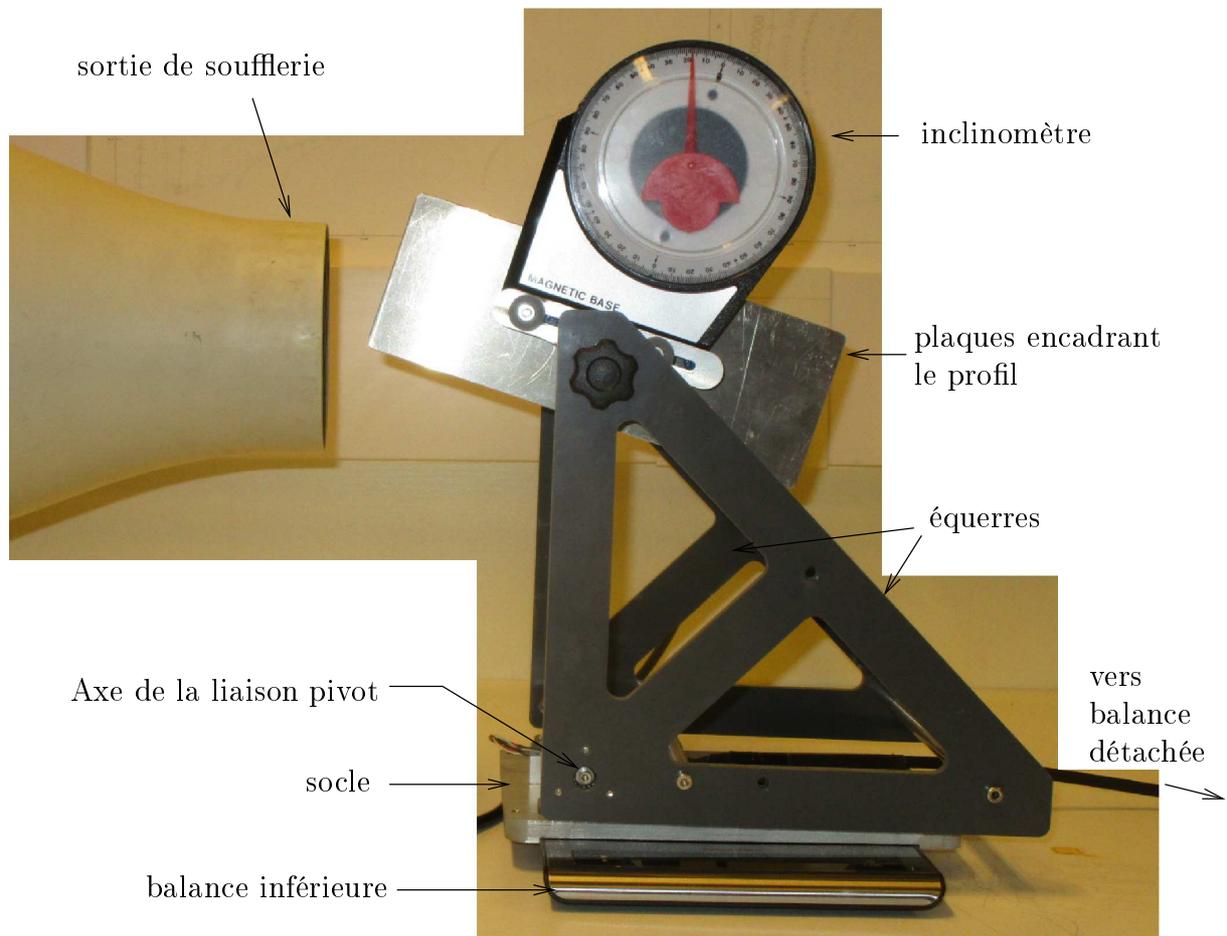


FIGURE 1 – On voit sur cette photo, le socle posé sur la balance inférieure, les 2 équerres en liaison pivot (considérée parfaite) par rapport à ce socle, l'axe de cette liaison pivot considérée parfaite, les plaques latérales qui encadrent le profil non visible, l'inclinomètre en position. La balance détachée, non visible, est au bout du câble électrique. Le profil, non visible, est en incidence positive. La barre reliant les 2 équerres est à peine visible. Le capteur relié à la balance détachée n'est pas visible.

Le profil symétrique est un NACA0020 dont voici les polaires déterminées avec le logiciel "Xfoil".

NACA 0020 $Re = 100000$ $Ma = 0.000$ $N_{crit} = 9.000$
 NACA 0020 $Re = 200000$ $Ma = 0.000$ $N_{crit} = 9.000$
 NACA 0020 $Re = 300000$ $Ma = 0.000$ $N_{crit} = 9.000$

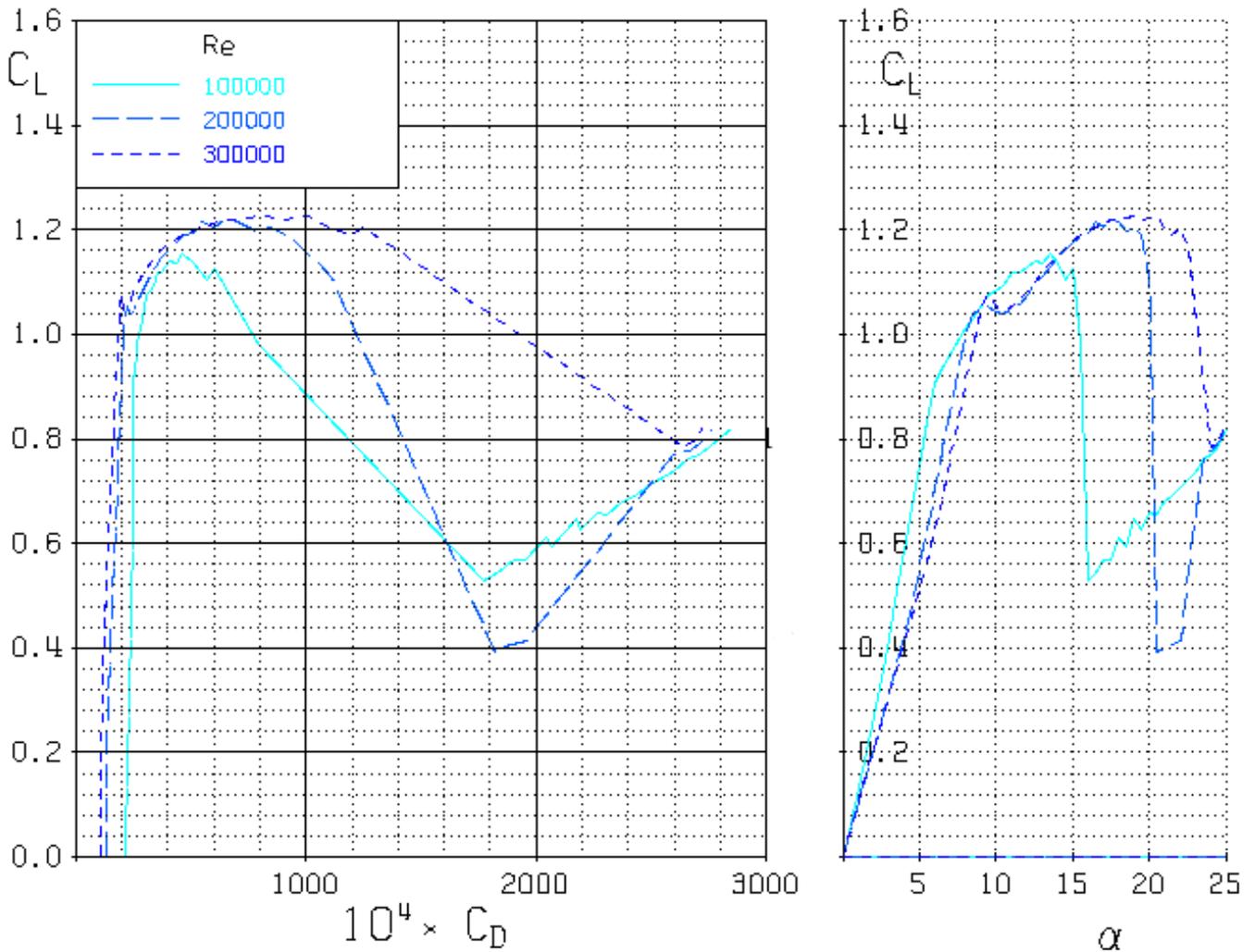


FIGURE 2 – Polaires du profil NACA0020 à 3 nombres de Reynolds différents ($\mathcal{R} = 10^5$, $2 \cdot 10^5$ et $3 \cdot 10^5$) : courbes $C_z(C_x)$ (ou $C_L(C_D)$) et $C_z(\alpha)$ (ou $C_L(\alpha)$).

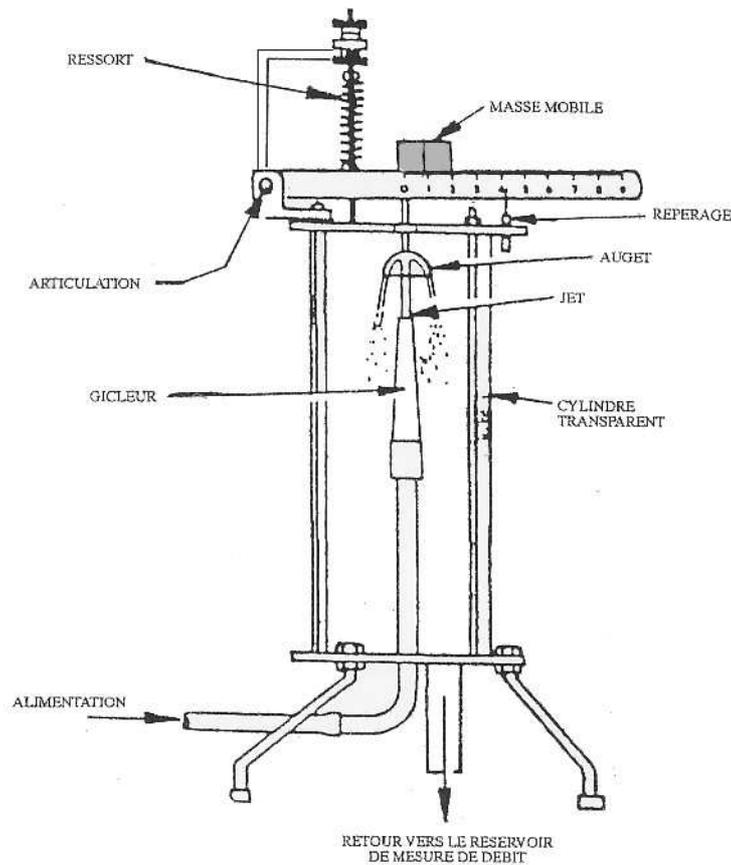
Relevez les coefficients aérodynamiques pour $\alpha = 10^\circ$ (par ex.) et comparez les à vos valeurs.

INTRODUCTION

L'un des procédés de transformation de l'énergie hydraulique en énergie mécanique consiste à utiliser la pression pour amener le fluide à prendre des vitesses d'écoulement très importantes. Le jet ainsi produit est dirigé sur les pales d'une turbine qui sera mise en rotation. Ce type de turbines hydrauliques peut atteindre une puissance de 100 MW et avoir un rendement supérieur à 90 %.

L'expérience décrite ci-dessous permet d'étudier la force appliquée sur un auget (un disque ou une hémisphère), en fonction du débit de quantité de mouvement de l'écoulement.

DESCRIPTION DE L'APPAREIL



La figure ci-dessus donne le schéma de l'appareil relié au banc hydraulique par un tuyau vertical équipé à une de ses extrémités d'un gicleur produisant le jet. Ce jet est envoyé sur un auget en forme de disque ou d'hémisphère (ou de cône). Le gicleur et l'auget sont dans un cylindre transparent. La base de ce cylindre est équipée d'une conduite de retour débitant dans le réservoir de mesure de débit du banc hydraulique.

L'auget est monté sur un levier articulé sur lequel peut se déplacer une masse mobile. Ce levier est maintenu en position par un ressort.

La force d'impact d'un jet se mesure en déplaçant la masse mobile sur le levier jusqu'à ce que le levier revienne à sa position horizontale indiquée par le repérage.

CONDUITE DE L'EXPERIENCE

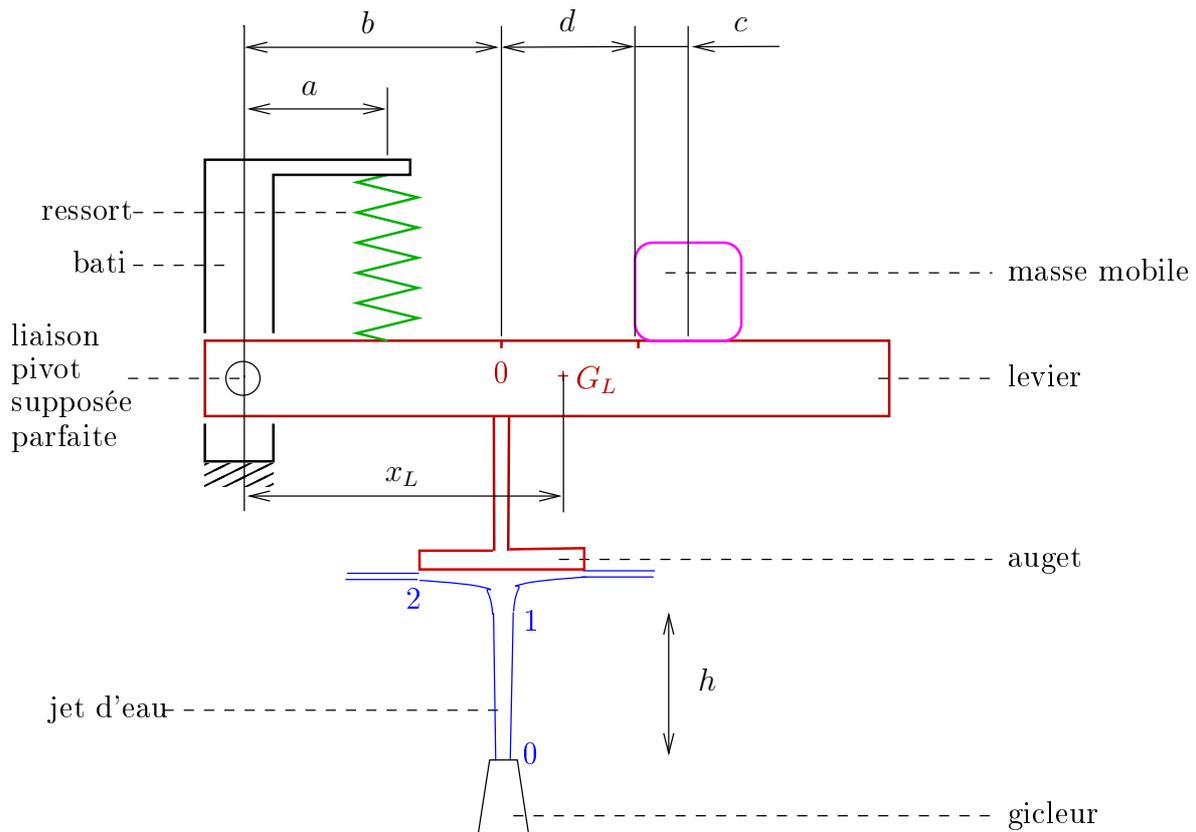
Vérifiez que l'appareil est de niveau.

Positionnez le côté gauche de la masse mobile sur la graduation zéro de la règle graduée puis réglez l'écrou moleté du ressort afin que le levier soit mis en position horizontale.

On positionne le côté gauche de la masse mobile sur une graduation de la règle et l'on règle le débit d'eau afin que le levier soit horizontal. On relève alors le débit volumique q_v et la distance d avant de renouveler l'essai pour une autre graduation.

Cette manipulation s'effectue pour le disque puis pour l'hémisphère.

- Diamètre du gicleur : 10 mm ;
- Masse de la masse mobile : M à relever,
- Distance entre l'axe des augets et l'articulation : $b = 150$ mm.



Les sections 1 et 2 sont des sections du tube de courant avant et après l'auget où l'écoulement peut être considéré comme unidirectionnel.

On notera :

- M_A la masse de l'auget ;
- M_L la masse du levier ;
- a la distance entre l'articulation et le ressort ;
- $(d + c)$ la distance horizontale entre le centre de gravité de la masse mobile et l'axe de l'auget ;
- h la distance (à mesurer) entre la sortie du jet 0 et l'arrivée du jet 1 sur l'auget.
- x_L donne la position du centre de gravité G_L du levier.

TRAVAIL

1) Appliquez le théorème de Bernoulli entre la sortie du jet 0 et l'arrivée du jet 1 sur l'auget afin d'exprimer la vitesse v_1 avant l'impact sur l'auget à partir de la vitesse v_0 à la sortie du jet. Cette vitesse v_0 sera calculée à partir du débit volumique q_v mesuré.

2) Appliquez le théorème de Bernoulli entre l'entrée 1 et la sortie 2 de l'auget afin de connaître la vitesse v_2 du fluide à la sortie de l'auget.

3) Effectuez 2 études statiques du système matériel constitué du levier et de l'auget (écrire l'équation de moments en un point de l'axe de la liaison pivot) :

- Alimentation coupée, côté gauche de la masse sur le repère 0 de la règle, ressort réglé afin de positionner le levier horizontalement avec le repèrage. On ne touchera plus au réglage du ressort.
- Le fluide étant en action et la masse M étant positionnée à une distance d de l'axe de l'auget de telle manière que le levier soit horizontal.

En déduire l'expression de la force effective $F\vec{z}$ exercée "par l'eau" sur l'auget (c-à-d la force exercée par l'eau et l'air sur l'auget).

4) L'exploitation du théorème d'Euler aboutit ici à :

$$-F\vec{z} = " q_m(\vec{V}_{sortie} - \vec{V}_{entree}) "$$

Exploitez cette relation pour chacun des augets utilisés (augets plat puis hémisphérique)

Après avoir effectué une série de mesures, tracez l'évolution de F en fonction de $q_m v_1$ pour l'auget plat (puis hémisphérique).

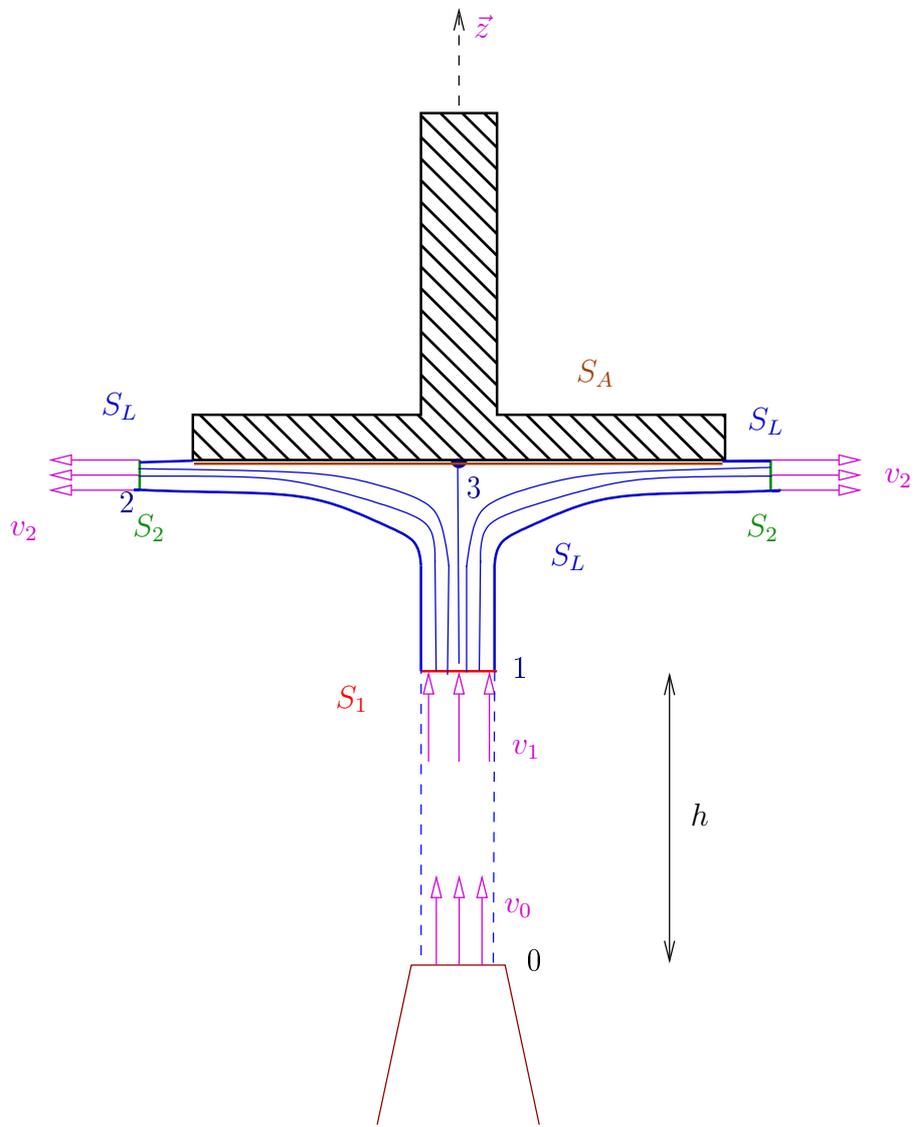
Comparez l'expérience et la théorie.

5) Pour l'auget plat et pour votre débit maximum, calculez numériquement :

- la valeur de la pression effective moyenne $p_{e moy}$ de l'eau au niveau de sa surface de contact avec l'auget et la pression effective p_{e3} qui règne au point d'arrêt 3 : calculez $\frac{p_{e3}}{p_{e moy}}$. Représentez alors (à l'échelle) une allure possible de la force répartie de pression exercée par l'eau sur l'auget ;
- la norme de la force (absolue et non effective) exercée par l'eau sur l'auget notée $\|\vec{F}_{D \rightarrow A}\|$. Vous effectuerez des dessins de vecteurs forces (inutile de représenter l'auget) représentant la force exercée par l'eau sur l'auget, la force exercée par l'air sur l'auget et la force exercée par l'eau et l'air sur l'auget.

6) Reliez S_1 et S_2 à la section S_0 du gicleur. Calculez S_1 et S_2 .

Le banc hydraulique permet de mesurer le volume V et le chronomètre le laps de temps t (attention à la variation de V entre 0 et 5 l) : il est préférable de démarrer le chrono lorsque le niveau passe à 5 l.



Contour de \mathcal{D} : $\partial\mathcal{D} = S_1 + S_2 + S_A + S_L$

On donne pour l'eau $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$, $\mu = 10^{-3} \text{ Pa.s}$, $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ et les différents diamètres :
— diamètre de la conduite en PVC gris : 19 mm ;
— diamètre de la conduite en PVC transparent : 21.2 mm ;
— diamètre de la conduite en PVC transparent après le divergent : 42.5 mm.

Vous commencerez par les parties 1 et 2 et remplirez une ligne des tableaux, effectuerez la partie 3 puis reviendrez aux parties 1 et 2 pour remplir d'autres lignes.

Visualisez la cuve remplie d'eau, la pompe, le circuit avec ses 15 prises de pressions statiques, le robinet de réglage de débit à l'entrée du circuit (que vous tournez pas pour l'instant), la vanne en sortie de circuit (qui est inutile et que vous ne tournez pas), le tuyau de sortie qui se jette dans l'évier qui peut être bouché en tournant l'axe vertical. L'évier est gradué pour afficher le volume qu'il contient.

Partie 1 : Perte de charge singulière

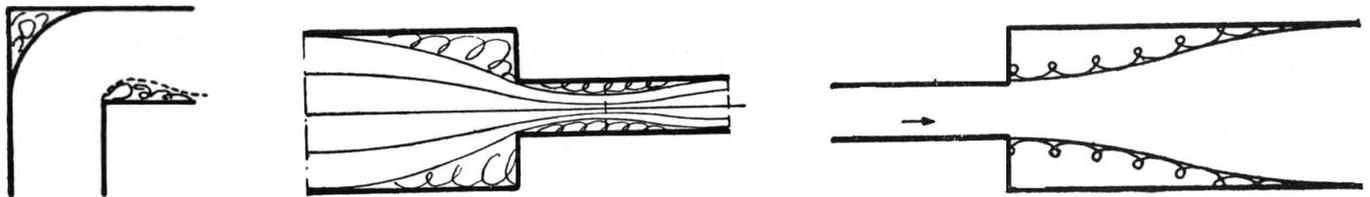


FIGURE 3 – Ecoulement dans des singularités de l'écoulement.

Une singularité de l'écoulement (coude, rétrécissement, élargissement,...) fait perdre au fluide une certaine énergie volumique ($\text{J.m}^{-3} \equiv \text{Pa}$) appelée également perte de charge singulière ΔX_s que l'on relie à l'énergie volumique cinétique qui circule dans la singularité par :

$$\Delta X_s = \xi \rho \frac{v_{moy}^2}{2}$$

- où v_{moy} est la vitesse moyenne la plus grande avant ou après l'accident de forme de la conduite ;
- et ξ (noté également k) est le coefficient de perte de charge singulière (sans unité) de la singularité qui est fonction du nombre de Reynolds \mathcal{R} mais devient constant pour les régimes turbulents.

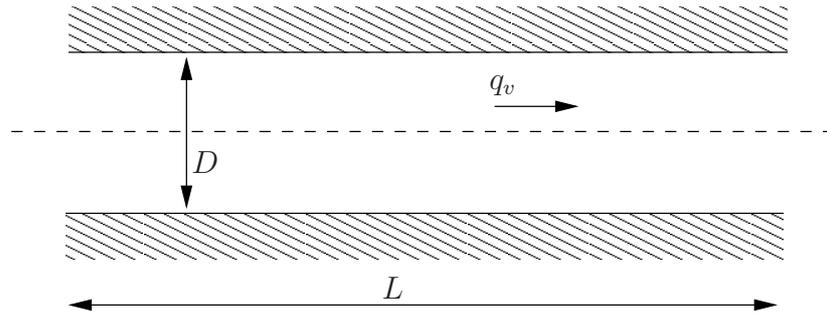
La calcul du débit volumique circulant dans le circuit q_v se réalise en effectuant la mesure d'un volume \mathcal{V} et d'un temps t .

1) Pour la première singularité étudiée, complétez la FIG. ?? (où votre singularité a été représentée par un gros rectangle) en précisant des points sur les axes de la tuyauterie ainsi que des points en haut des tubes manométriques (choisissez votre notation).

Ecrivez alors toutes les équations qui permettent de relier la perte de charge ΔX_s à la différence de hauteur mesurée ΔH .

2) Pour les singularités choisies, mesurez la perte (ou le gain) d'altitude. En déduire la perte de charge singulière ΔX_s , le coefficient de perte de charge singulière ξ et la puissance dissipée \mathcal{P} dans la singularité et le nombre de Reynolds \mathcal{R} .

Partie 2 : Perte de charge régulière



Lorsque le fluide circule dans une tuyauterie rectiligne, les différentes particules de fluide se frottent les unes les autres et dissipent une certaine énergie en chaleur. Il y a donc une perte d'énergie volumique que l'on nomme perte de charge régulière ΔX_r qui est proportionnelle à la longueur de tuyauterie et que l'on relie à l'énergie volumique cinétique qui circule dans la tuyauterie.

$$\Delta X_r = \lambda \frac{L}{D} \rho \frac{v_{moy}^2}{2}$$

où λ est le coefficient de perte de charge régulière qui est fonction de \mathcal{R} et de la rugosité absolue ε ou relative $\frac{\varepsilon}{D}$ de la conduite. Ce coefficient n'est pas constant. Des expériences ont permis de tracer les courbes $\lambda(\mathcal{R}, \varepsilon)$ (cf FIG. ??).

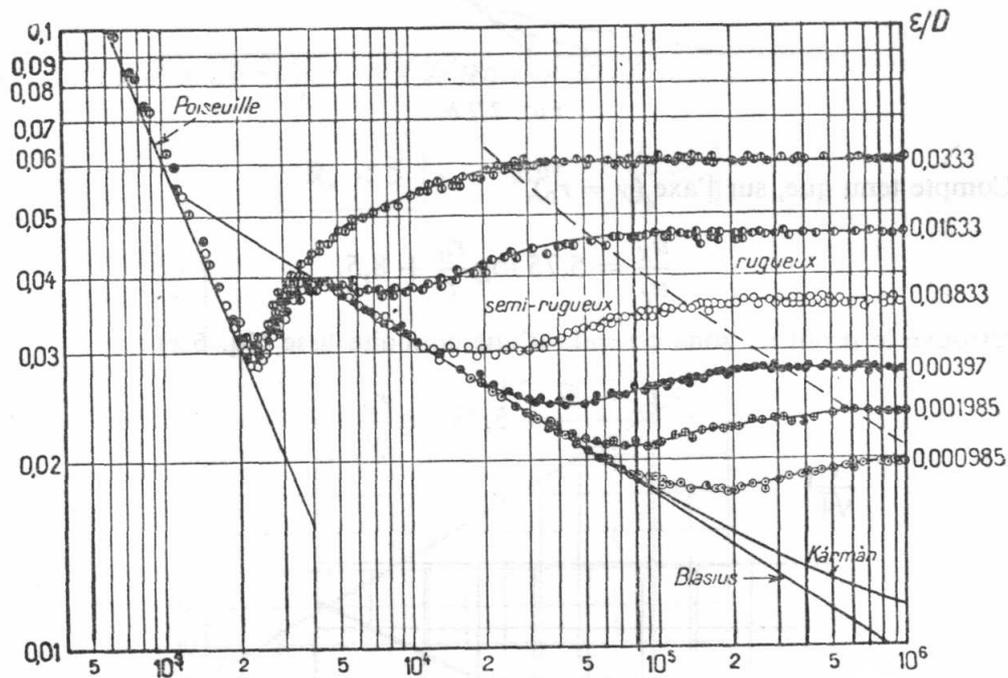


FIGURE 4 – Courbes de Nikuradse issues d'expériences donnant $\lambda(\mathcal{R}, \varepsilon)$

3) Pour la longueur de tuyau choisie, mesurez la perte (ou le gain) d'altitude. En déduire la perte de charge régulière ΔX_r , le coefficient de perte de charge régulière λ et la puissance dissipée \mathcal{P} dans la singularité et le nombre de Reynolds \mathcal{R} .

Partie 3 : Différents types d'écoulement

En injectant du colorant (Attention : une faible quantité est mise à votre disposition et il vaut mieux que ce soit le prof qui fasse) dans une tuyauterie, on visualise 2 types d'écoulement ainsi que la transition entre ces 2 types d'écoulement.

- Écoulement laminaire : lignes de courant sont parallèles
- Écoulement turbulent : lignes de courant s'enchevêtrent et s'enroulent sur elles-mêmes

4) Déterminez approximativement la valeur du débit volumique q_v qui détermine cette transition. Déduisez-en la valeur du nombre de Reynolds correspondant. Le nombre de Reynolds est défini par :

$$\mathcal{R} = \frac{v_{moy} D}{\nu}$$

- où la vitesse moyenne est $v_{moy} = \frac{q_v}{S}$
- où la section circulaire possède une aire S et un diamètre D ;
- et la viscosité cinématique est reliée à la viscosité dynamique μ et à la masse volumique ρ du fluide par : $\nu = \frac{\mu}{\rho}$.

5) Dans le régime laminaire, calculez la vitesse du colorant sur l'axe de la conduite (v_{maxi}) en mesurant un temps et une distance parcourue par un point du colorant situé sur l'axe de la conduite et comparez à la vitesse moyenne (v_{moy}) calculée à partir du débit comme précédemment.

Partie 4 : Conclusion

6) Comparez vos résultats expérimentaux aux données théoriques ou expérimentales fournies.

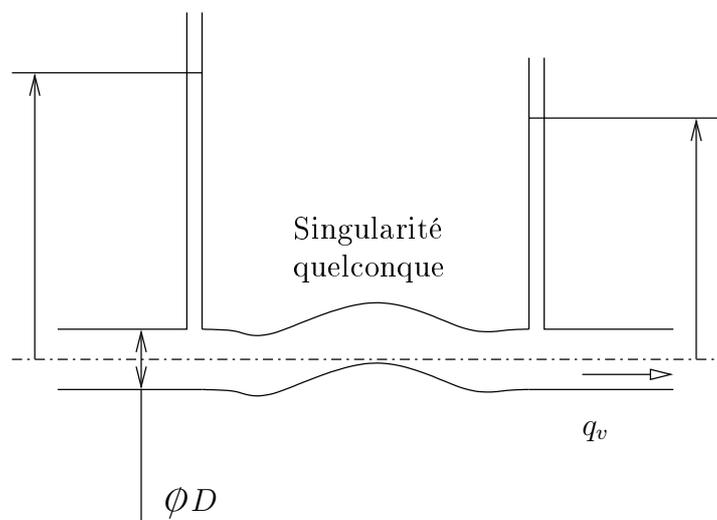


FIGURE 5 – Figure à refaire et à compléter, relative à votre première singularité étudiée, définissant les notations.