

STPI 2

Projet Physique P6

14 - Réalisation d'un banc de mesure de frottements visqueux à vocation pédagogique

Enseignant responsable : Clément KELLER

BIGOT Loïs
BRICHE Matthieu
GARREAU Eglantine
INES Suzanne
LEVESQUE DU ROSTU Manon
SIMON Balthazar

2020-2021

Date de remise du rapport : 12 juin 2021

Référence du projet : STPI / P6 / 2021 - 14

Intitulé du projet : Réalisation d'un banc de mesure de frottements visqueux à vocation pédagogique

Type de projet : Expérimental

Objectifs du projet : Poursuite de la réalisation d'un banc expérimental permettant la mise en évidence et la mesure de frottements visqueux à des fins pédagogiques.

Approfondir nos connaissances concernant les frottements. Expérimenter le travail de groupe. Analyser des données expérimentales.

Mots-clefs du projet : banc – frottements - visqueux - pédagogique

Table des matières

Introduction	3
Méthodologie et répartition du travail au cours du projet	3
Partie théorique	4
Qu'est-ce qu'un frottement ?	4
Frottement fluide	4
Notion de viscosité	4
<i>Fluides newtoniens</i>	4
<i>Mesure de viscosité</i>	5
<i>Fluides non-newtoniens</i>	5
<i>Comportement viscoélastique</i>	5
Nombre de Reynolds	6
Écoulement laminaire et écoulement turbulent	6
<i>Écoulement laminaire</i>	6
<i>Écoulement turbulent</i>	7
Détermination de la précision de la balance	7
Évaluation de la vitesse du moteur	8
Partie expérimentale	9
Conception du banc de mesure	9
Réalisation du banc de mesure	9
Les solides	10
Les équipements du banc	11
Protocole expérimental	11
Résultats	12
<i>Présentation des résultats</i>	12
<i>Analyse des résultats</i>	13
Pistes d'amélioration possibles	14
Conclusion	16
Bibliographie	17
Partie théorique	17
Partie expérimentale	17

Table des illustrations

Image 1 Fumée d'une bougie.....	7
Image 2 Modélisation d'un prototype	9
Image 3 Photos de la maquette finale	10
Image 4 Solides en impression 3D	10
Image 5 Défauts de surface des solides	10
Image 6 Pied de support des solides.....	11
Image 7 Embout des solides.....	11
Figure 1 Graphe de l'évolution de la force de frottement en fonction de la vitesse.....	12
Tableau 1 calculs théoriques des variations de masse	8
Tableau 2 Vitesse atteignables avec le moteur	8
Tableau 3 Comparaison des coefficients A	13

Introduction

En mécanique, l'étude des forces de frottements occupe une place centrale car celles-ci sont à l'origine de pertes d'énergie. Or étant dans la recherche d'une amélioration perpétuelle du rendement, la détermination des forces de frottements et des pertes induites est donc une étape essentielle dans la conception d'une machine. En effet, diminuer les forces de frottements est devenu un enjeu central au sein de la stratégie du développement durable. Par exemple, dans le secteur de l'automobile, l'optimisation de l'aérodynamisme des véhicules est devenue un défi majeur car il permettrait de limiter la consommation de carburant et ainsi de respecter les normes européennes d'émission de CO₂. De plus, l'optimisation de l'énergie est très importante pour le développement des voitures électriques qui sont toujours à la recherche d'une amélioration de leur autonomie.

Il existe deux types de frottements : les frottements solides et les frottements fluides.

Dans ce projet, nous ne nous intéresserons qu'aux forces de frottements fluides ainsi qu'aux différentes méthodes pour les mettre en évidence en fonction de différentes géométries.

Ainsi nous commencerons par une approche théorique pour tenter de définir ces frottements et de les quantifier avec des outils mathématiques. Ensuite, nous tâcherons de retrouver ces résultats par le biais d'expériences et de la construction de notre banc de mesures. Le but de ce projet étant que notre banc puisse être réutilisé dans le cadre de l'EC P2 pour permettre aux élèves de STPI 1 de mieux appréhender les phénomènes de frottements fluides qui ne sont parfois pas évidents à saisir.

Méthodologie et répartition du travail au cours du projet

Pour parvenir à nos objectifs, nous avons décidé de reprendre les travaux des deux années précédentes pour améliorer le prototype de banc de mesure. Nous avons conservé l'idée de la soufflerie verticale et de la mesure des frottements par une différence de masse mais nous avons tenté d'apporter des améliorations au dispositif afin d'obtenir des résultats exploitables.

Nous avons donc commencé par définir ensemble les différentes tâches à effectuer pour pouvoir se répartir le travail et ainsi être efficace. Ainsi, deux élèves se sont attaqués à la conception sur SolidWorks des différentes pièces nécessaires à la réalisation du banc de mesure, deux autres aux calculs permettant d'estimer la précision de la balance et la puissance du moteur (vitesse d'écoulement du flux d'air) nécessaires pour obtenir des résultats exploitables, et enfin, les deux derniers se sont chargés de la partie théorique et des recherches bibliographiques nécessaires à la rédaction du dossier.

Cependant les événements liés au COVID-19 ont quelque peu ralenti notre progression car un certain nombre de séances ont dû être annulées ou se tenir à distance, nous empêchant ainsi de réaliser nos expériences dans les meilleurs délais.

Partie théorique

Dans notre étude nous avons fait le choix, comme ceux qui ont travaillé sur ce projet l'année dernière, de négliger le phénomène de couche limite.

Commençons par définir les phénomènes en relation avec la conception du banc de mesure de frottements fluides.

Qu'est-ce qu'un frottement ?

En physique, on appelle « frottement » toute interaction entre deux systèmes en contact qui s'oppose à leur mouvement relatif. Ce phénomène est donc une force dont l'action est caractérisée par un vecteur (norme, direction, point d'application).

On distingue deux grandes familles de frottements : les frottements secs qui ne dépendent pas de la vitesse de glissement, et les frottements fluides. Ce sont ces derniers qui vont nous intéresser dans ce projet.

Frottement fluide

Un frottement fluide est une force de frottement qui s'exerce sur un objet se déplaçant dans un fluide. Elle dépend de la forme de l'objet, de sa vitesse et des propriétés propres du fluide considéré (liquide ou gazeux).

Les frottements fluides ne se quantifient pas de la même façon en fonction de la vitesse relative du fluide par rapport à l'objet. C'est pourquoi on distingue différents domaines d'étude délimités par les différents régimes d'écoulements.

Notion de viscosité

Fluides newtoniens

Entre deux couches successives de fluide en écoulement unidimensionnel à la vitesse v , il existe des contraintes tangentielles à l'écoulement qui accélèrent la couche la plus lente et ralentissent la couche la plus rapide. Par définition d'un fluide newtonien, les forces visqueuses sont proportionnelles à la différence de vitesse c'est-à-dire au gradient de vitesse.

Définition

$$\sigma_t = \eta \frac{\partial v}{\partial n} = \eta \frac{\partial \gamma}{\partial t}$$

Où $\frac{\partial v}{\partial n}$ désigne le gradient de vitesse dans la direction normale à la surface.

De manière générale, la contrainte visqueuse varie comme la vitesse de cisaillement $\frac{\partial \gamma}{\partial t}$. La constante de proportionnalité η est caractéristique du fluide et désigne la viscosité dynamique du fluide.

Mesure de viscosité

L'analyse dimensionnelle de la relation donne $[\eta] = \frac{[F]}{L^2} \cdot \frac{[v]}{L} = \frac{[F]}{L^2} [T]$

Ainsi, la viscosité est homogène à “une pression × un temps”. On l'exprime indifféremment en Pascal.seconde (Pa.s) ou en poiseuille (Pℓ).

L'appareil pour la mesure de la viscosité est le viscosimètre. Différents types de viscosimètre existent suivant le type de fluide utilisé.

Pour les liquides, la viscosité varie fortement avec la température (elle diminue lorsque la température augmente). Pour des liquides purs, elle suit une loi du type $\eta \propto e^{\frac{b}{T}}$.

Quant aux gaz, leur viscosité est plus difficile à mesurer car beaucoup plus faible que celle des liquides. Elle dépend peu de la pression et augmente légèrement avec la température (à peu près comme \sqrt{T}).

Le comportement newtonien $\sigma = \eta \frac{\partial \gamma}{\partial t}$ s'observe :

- Dans tous les gaz
- Dans les liquides simples constitués de petites molécules (l'eau par exemple)
- Dans les solutions contenant des ions ou molécules à symétrie sphérique

Cependant la rhéologie montre qu'il existe des fluides pour lesquels la relation entre contrainte tangentielle et cisaillement est plus complexe.

Fluides non-newtoniens

Certains fluides vérifient la relation $\sigma_t = \eta \left(\frac{\partial \gamma}{\partial t} \right) \frac{\partial \gamma}{\partial t}$ où $\eta \left(\frac{\partial \gamma}{\partial t} \right)$ représente une viscosité apparente. Dans ce cas, le comportement n'est pas linéaire.

Lorsque $\eta \left(\frac{\partial \gamma}{\partial t} \right)$ diminue avec $\frac{\partial \gamma}{\partial t}$, le fluide coule d'autant plus facilement qu'il est cisailé. Dans ce cas, on peut donc parler de fluide rhéofluidifiant (sang, polymère fondu, etc.). Le comportement inverse est désigné par le terme rhéoépaississant (amidon + eau). Il existe également des liquides, comme les peintures, qui ne coulent que si la contrainte dépasse une valeur seuil.

Comportement viscoélastique

Tout fluide se caractérise par un temps de relaxation viscoélastique τ_{ve} . Lorsqu'un fluide est soumis à une contrainte, on distingue trois types de comportement en fonction du temps d'observation t .

- Si $t \ll \tau_{ve}$ le fluide adopte alors un comportement élastique (déformation proportionnelle à la contrainte)

- Si $t \gg \tau_{ve}$ le fluide adopte un comportement visqueux (vitesse de cisaillement proportionnelle à la contrainte $\sigma = \eta \frac{\partial \gamma}{\partial t}$).
- Si $t \simeq \tau_{ve}$, le comportement est alors plus complexe ; ainsi il est dit viscoélastique.

Nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds Re est un nombre sans dimension qui représente le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses. Il est indépendant du type de fluide et du type d'écoulement. On le définit de la manière suivante :

$$Re = \frac{VL_c}{\nu}$$

Avec :

- V , la vitesse caractéristique du fluide ($m \cdot s^{-1}$)
- L_c , la dimension caractéristique de l'objet étudié (m)
- $\nu = \frac{\mu}{\rho}$, la viscosité cinématique du fluide ($m^2 \cdot s^{-1}$) où μ est la viscosité dynamique du fluide ($kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$) et ρ la masse volumique du fluide ($kg \cdot m^{-3}$).

En fonction de la valeur de ce nombre, on distingue les différents types d'écoulements.

Écoulement laminaire et écoulement turbulent

Écoulement laminaire

On dit que l'écoulement est laminaire pour $Re < 2000$. Dans cette configuration, l'ensemble du fluide s'écoule dans la même direction à faible vitesse, sans que les perturbations locales ne se contrarient. L'écoulement laminaire est généralement celui recherché car il génère moins de pertes et est plus stable et plus prévisible.

Dans ce cas, les forces de frottements se calculent à l'aide de la loi de Stokes :

$$\vec{F} = -k\eta\vec{v}$$

Avec :

- k , coefficient caractéristique de la géométrie du solide

Ex : pour une boule de rayon r on a $k = 6\pi r$.

- η , coefficient de viscosité du fluide qui dépend de la température
- \vec{v} , vitesse relative du solide par rapport au fluide



Image 1

Fumée d'une bougie, régime laminaire en bas, turbulent en haut.

Écoulement turbulent

On dit que l'écoulement est turbulent pour $Re > 2500$. Il est caractérisé par un mouvement irrégulier des particules à vitesse plus importante. A l'inverse de l'écoulement laminaire où le fluide s'écoule en couches parallèles, le régime turbulent est fait de tourbillons qui caractérisent l'aspect aléatoire de celui-ci : la vitesse du fluide en un point ne cesse de changer d'amplitude et de direction. C'est le type d'écoulement le plus courant mais aussi le plus imprévisible et compliqué à analyser mathématiquement.

Dans ce cas, les forces de frottements se calculent avec la formule suivante :

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

Avec :

- ρ , la masse volumique du fluide
- C , le coefficient de traînée obtenu expérimentalement

Ex : quelques ordres de grandeur de C en fonction de la géométrie du solide. $C \approx 1.32$ pour un disque ; $C \approx 0.45$ pour une boule et $C \approx 0.04$ pour une demi-boule finie par un cône.

- S , la surface normale à la vitesse du fluide
- v , la vitesse relative du solide par rapport au fluide

Détermination de la précision de la balance

La méthode de mesure que nous avons choisie est une mesure de différence de masse due aux forces de frottements. Pour obtenir des résultats exploitables nous devons déterminer analytiquement la précision de la balance que nous devons utiliser pour nos expériences.

Pour $v = 1 \text{ m/s}$ (vitesse la plus basse du moteur), on a $Re = 7000 > 2500$.

Pour réaliser nos calculs, on se placera donc dans un écoulement turbulent.

- Bilan des Forces :
- Poids $\vec{P} = mg\vec{z}$, avec m la masse réelle du système
- Force de frottements \vec{F} :

$$(1) \vec{F} = \frac{1}{2} \rho C S v^2 \vec{z}$$

Puisque comme nous l'avons évoqué précédemment, nous sommes dans un écoulement turbulent.

- Réaction du support $\vec{R} = - \|\vec{R}\| \vec{z} = -m'g\vec{z}$, avec m' la masse mesurée par la balance
- On applique le P.F.D au système objet + tube et on projette sur \vec{z} :

- Pour les grandes vitesses ($Re > 2500$) :

$$mg + \frac{1}{2}\rho C S v^2 - m'g = 0$$

$$m' = m + \frac{1}{2g}\rho C S v^2$$

- Pour les faibles vitesses ($Re < 2500$) :

$$mg + k\eta v - m'g = 0$$

$$m' = m + \frac{k\eta v}{g}$$

Avec $\rho_{air} = 1.212 \text{ kg/m}^3$ à 18°C

Tableau 1 calculs théoriques des variations de masse

Système	$S \text{ (cm}^2\text{)}$ $r = 4.1 \text{ cm}$	C	m (g)	m' (g)			Δm (g)			
				$v = 4m. s^{-1}$	$v = 6m. s^{-1}$	$v = 8m. s^{-1}$	$v = 3m. s^{-1}$	$v = 4m. s^{-1}$	$v = 6m. s^{-1}$	$v = 8m. s^{-1}$
Sphère cône	$2\pi r^2 = 105$	0.04	1131	1131.42	1131.93	1132.66	0.23	0.42	0.93	1.66
Palet	$\pi r^2 = 52.8$	1.32	1084	1090.89	1099.50	1111.50	3.87	6.89	15.5	27.5
Sphère	$2\pi r^2 = 105$	0.45	1152	1156.67	1162.50	1170.68	2.63	4.67	10.5	18.68

On observe grâce au **Tableau 1** que la plus petite variation de masse est obtenue pour la boule cône et est de l'ordre de 0.23 g. On en déduit donc qu'il nous faudra une balance d'une précision minimale de 0.1 g pour pouvoir observer une variation de masse et ainsi en déduire la force de frottement.

Evaluation de la vitesse du moteur

Maintenant nous allons évaluer les différentes vitesses du fluide (ici l'air) que peut produire le moteur en fonction de la tension pour confirmer notre choix de balance. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le **Tableau 2**.

U (V)	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.6
V (m/s)	0.4-0.8	1.3	1.5	1.7	2.2	2.3	2.6	2.7	2.8	3.2

Tableau 2 Vitesses atteignables avec le moteur

On observe que le moteur permet d'atteindre une vitesse relative de l'objet par rapport au fluide maximal de 3,2 m/s. D'après nos calculs théoriques on observe de faibles variations de masse, il nous faut donc bien une balance précise au 0.1 g près.

Partie expérimentale

Conception du banc de mesure

Nous nous sommes inspirés d'une image de modélisation 3D du banc imaginé par le groupe de l'année précédente. Nous avons ainsi recréé le banc sous SolidWorks, avec des solutions différentes.

Le banc est composé des éléments suivants (de bas en haut) :

- Les pieds
- Le tube
- L'entonnoir
- Le support moteur
- Le moteur et son hélice

L'hélice utilisée présentant un diamètre plus important que le corps, il a été nécessaire d'utiliser un entonnoir. Celui-ci s'encastre autour du corps.

Enfin, le moteur est fixé à l'entonnoir via un support en plusieurs parties.

Voici la version conçue afin d'être réalisée intégralement en impression 3D plastique (**Image 2**). 9 jours d'impression continue auraient été requis, c'est la raison pour laquelle cette solution n'a pas été retenue.

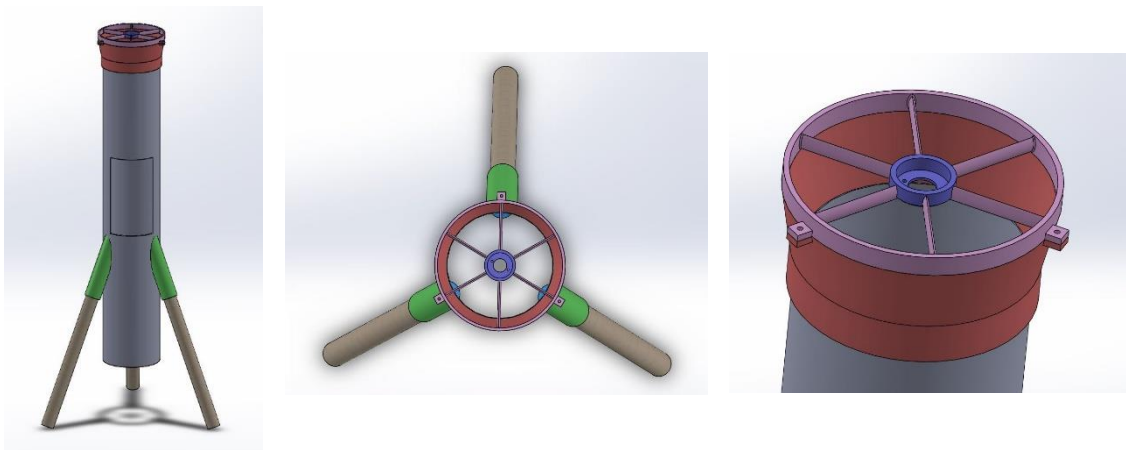


Image 2 Modélisation d'un prototype

Réalisation du banc de mesure

La conception et la réalisation sont ici présentées comme deux étapes distinctes. La réalité en est toute autre, il a évidemment été nécessaire de prendre en compte les moyens de fabrication disponibles et d'adapter la géométrie des pièces en conséquence. Quatre versions ont ainsi été nécessaires à la modélisation pour arriver à un banc réalisable avec nos moyens.

La quatrième version a été conçue et réalisée par Mr Breteau, professeur du département mécanique, en collaboration avec les techniciens du CCU.

La partie haute du banc, c'est-à-dire le support moteur se rapproche de la troisième version. La partie basse par contre, le support du tube, est totalement différente. Le piètement est ainsi composé de trois grandes vis, permettant un réglage de l'inclinaison pour assurer la parfaite verticalité du tube.



Image 3 Photos de la maquette finale

Les solides

Ayant repris le dispositif étudié par les élèves de l'année précédente, nous avons cherché la meilleure manière de créer des pièces pouvant se fixer sur un tube en cuivre, de manière à ce que l'ensemble de la construction puisse rester stable et éviter les mouvements de balancier. C'est dans ce but que nous avons choisi de créer de nouvelles pièces grâce à l'outil SolidWorks, qui une fois imprimé en 3D nous donnera des pièces aux dimensions connues et précises.

Nous avons choisi de concevoir trois pièces différentes afin de pouvoir observer les différentes valeurs de frottements qui pouvaient en découler. Il y a donc un palet plat, une sphère et une sphère-cône (*Image 4*). Ces formes ont été choisies car les coefficients caractéristiques de leur géométrie (k) et leur coefficient de traînée (C) sont connus.

Comme on peut le voir sur l'*Image 5*, la sphère et la sphère-cône présentent des défauts d'état de surface (au-delà de l'état de l'impression 3D normale).



Image 4 Solides en impression 3D



Image 5 Défauts de surface des solides

Afin de positionner les solides au sein du banc, ceux-ci présentent un embout en section de cône (*Image 7*) qui vient s'enficher dans un tube de faible diamètre. Ce dernier est maintenu à la verticale en étant emmanché dans une pièce semblable à un plot (*Image 6*).



Image 6 Pied de support des solides



Image 7 Embout des solides

Cette solution présente une stabilité suffisante à des vitesses d'écoulement modérées. Des oscillations d'amplitude non négligeable (environ 2mm) apparaissent cependant à partir de 2,5 m/s.

Les équipements du banc

Le déplacement de l'air est assuré par un moteur électrique récupéré de l'année précédente. Un générateur lui fournit l'électricité nécessaire à sa mise en fonctionnement, jusqu'à 6V et 6A.

La mesure de la vitesse de l'écoulement est réalisée à l'aide d'un anémomètre inséré dans le tube. On retrouve une quasi étanchéité en scotchant le pourtour de l'anémomètre au tube.

Enfin, on mesure la différence de masse à l'aide d'une balance de précision à 0,01g près.

Protocole expérimental

Protocole à adapter en fonction de la pièce utilisée pour le test.

- Placer la balance sous le dispositif, et installer dessus le support plus la pièce attachée à celui-ci
- Brancher le moteur de l'hélice sur le générateur
- Placer l'anémomètre dans la fente prévue à cet effet
- Mesurer la masse initiale du support + pièce
- Allumer le générateur et fixer la tension
- Mesurer la vitesse d'écoulement de l'air
- Mesurer la masse expérimentale du support + pièce
- Augmenter la tension et recommencer les mesures de vitesse et de masse.

Résultats

Dans cette partie nous traiterons de l'analyse des résultats expérimentaux.

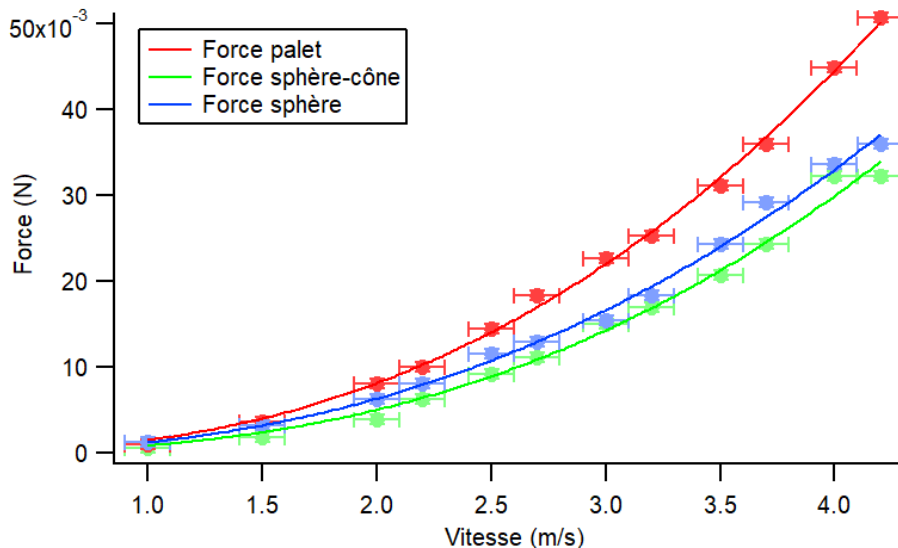
Présentation des résultats

Après nos différentes prises de mesures, nous avons rentré nos plages de données dans le tableur d'un logiciel de traitement analogique. Nous avons recueilli la différence de masse pour chaque vitesse et chaque géométrie afin de calculer les forces de frottement associées telles que : $F = \Delta m g$.

Nous avons ensuite tracé le graphique de la force (en N) en fonction de la vitesse (en m/s). L'intérêt du logiciel utilisé est qu'il rend possible la modélisation de $F = f(v)$ avec la loi puissance en lien avec l'équation théorique (1).

Voici le graphe obtenu pour les trois solides :

Figure 1 Graphe de l'évolution de la force de frottement en fonction de la vitesse



Les courbes tracées sur le graphique ont une équation de la forme $y = Av^{pow}$ avec les coefficients suivants :

- Palet : $A = 0.0014818 \pm 9.51e - 005 \text{ kg.m}^{-1}$
 $pow = 2.455 \pm 0.049$
- Sphère : $A = 0.0012089 \pm 0.00012 \text{ kg.m}^{-1}$
 $pow = 2.3853 \pm 0.0774$
- Sphère-cône : $A = 0.000842 \pm 0.000121 \text{ kg.m}^{-1}$
 $pow = 2.576 \pm 0.109$

Les incertitudes sur les vitesses données par l'anémomètre sont de 0,1 m/s et celles de la balance sont de 0.5 g en considérant l'incertitude du constructeur de la balance et la faible précision des mesures. En effet on observe que le support avec les pièces tanguait à partir 2,5 m/s.

Analyse des résultats

Comme on le remarque visuellement, la force de frottement liée au palet est plus élevée que celle liée à la sphère, elle-même plus élevée que celle liée à la sphère-cône. Ces résultats étaient attendus d'un point de vue théorique aux vues de leur forme, et sont donc cohérents.

Le traitement des données nous a également permis de récupérer les fonctions représentatives de chaque force¹:

- Palet : $y = 1.5 * 10^{-3} x^{2.5}$
- Sphère : $y = 1.2 * 10^{-3} x^{2.4}$
- Sphère-cône : $y = 8.4 * 10^{-4} x^{2.6}$

On remarque que les fonctions sont de la forme $y = Av^{pow}$, or d'après la théorie étudiée préalablement nous avons également la force de frottement s'exprimant comme $\vec{F} = \frac{1}{2} \rho C S v^2 \vec{z}$. Ici par identification on a $A = \frac{1}{2} \rho C S$, $x = v$ et $pow = 2$.

On peut déjà noter une différence avec la théorie dans la mesure où la puissance est censée être d'ordre 2, tandis qu'expérimentalement on trouve une puissance aux alentours de 2.5. En effet même en prenant les encadrements d'incertitudes on obtient pour le palet [2.406;2.504] ; pour la sphère [2.3079;2.4627] ; et pour la sphère-cône [2.467;2.685], et la valeur 2 n'y est pas comprise.

Vérifions maintenant les A pour chaque forme :

On prend $\rho_{air} = 1.212 \text{ kg/m}^3$ à 18°C

Tableau 3 Comparaison des coefficients A

	Palet	Sphère	Sphère-cône
$A_{théorique} (kg.m^{-1})$	$[4.18; 4.27] * 10^{-3}$	$[2.78; 2.95] * 10^{-3}$	$[1.69; 3.40] * 10^{-4}$
$A_{expérimental} (kg.m^{-1})$	$[1.3867; 1.5769] * 10^{-3}$	$[1.0869; 1.3309] * 10^{-3}$	$[7.21; 9.63] * 10^{-4}$
$S (cm^2)$ $r = 4.1 \text{ cm}$	$\pi r^2 = 52.8$	$2\pi r^2 = 105$	$2\pi r^2 = 105$
C	1.32	0.45	0.04

D'après le **Tableau 3**, on voit que nos valeurs expérimentales ne rentrent donc pas dans l'encadrement théorique de la valeur de A, même si elle reste dans le même ordre de grandeur.

¹ Les valeurs ont été arrondies ici, vous retrouverez les valeurs exactes dans **Présentation des résultats**.

Etant donné les moyens mis à notre disposition, les résultats expérimentaux restent en adéquation avec la théorie. Cette différence pourrait déjà s'expliquer par la différence de puissance. Cependant, après avoir fait des tests sur le logiciel, même en fixant la puissance à 2 (ce qui induit alors sur le graphe une courbe moins ajustée sur les points expérimentaux), le A reste éloigné de nos encadrements. En effet pour le palet nous trouvons alors $[2.5902; 2.7206] * 10^{-3}$. On peut noter qu'on se rapproche de la valeur théorique mais il y a toujours un écart significatif. La différence de puissance n'explique donc pas tout.

On ne peut donc pas valider l'efficacité du banc de frottement pour calculer les frottements fluides bien que l'on soit proche du modèle théorique.

Ces différences entre valeurs théoriques et valeurs expérimentales peuvent s'expliquer par plusieurs choses. Tout d'abord pour le paramètre de la vitesse lors de l'expérience, plus elle augmentait, plus l'anémomètre était instable, et la valeur prise était donc moins exacte. Deuxièmement, il en était de même avec les valeurs mesurées sur la balance. A plus grande vitesse, la masse variait beaucoup plus, nous obligeant à prendre une moyenne des valeurs observées. Enfin on a aussi pu remarquer qu'au fur et à mesure que l'expérience avançait, et que la vitesse augmentait, le support tenant la pièce commençait à avoir des oscillations de l'ordre de 2mm. Elles aussi peuvent être un facteur expliquant une imprécision des résultats expérimentaux.

Pistes d'amélioration possibles

Le banc présenté est fonctionnel mais est le premier prototype fonctionnel issu de ce projet. Il pourrait ainsi bénéficier de divers raffinements. Les voici listés dans un ordre quelconque.

Le premier point d'amélioration réside dans la géométrie du banc. En effet, il serait idéal d'utiliser un tube de plus grand diamètre. D'une part afin de ne pas avoir à utiliser d'entonnoir, susceptible de perturber l'écoulement d'une manière que nous ne savons pas estimer. D'autre part afin d'augmenter la distance entre le solide et la paroi du tube afin de limiter les éventuels effets de bord.

Ensuite et comme déjà mentionné, les solides présentent des défauts d'état de surface. Ils seraient idéalement à refabriquer. Il serait même possible de les peindre et les vernir/polir pour obtenir une surface la plus lisse possible. Ces défauts affectent les résultats car ils modifient le coefficient de trainée C.

Par ailleurs, le support des solides devient de moins en moins satisfaisant au fur et à mesure que la vitesse d'écoulement augmente. La géométrie de celui-ci semble à revoir. En effet, sa réalisation est sans reproche : le tube en cuivre est parfaitement ajusté dans le plot. On pourrait imaginer un anneau à trois branches enserrant le tube en cuivre et venant s'appuyer contre la paroi intérieure de l'enceinte. Une autre piste plus simple serait l'utilisation d'un matériau plus rigide que le cuivre tel qu'un acier.

De plus, l'étanchéité de la paroi transparente est sommaire. La paroi n'est pas non plus à fleur avec l'intérieur de l'enceinte : il s'agit simplement d'un film plastique recouvrant une ouverture dans l'enceinte. On pourrait imaginer l'usage d'une paroi en acrylique, formée pour

suivre la courbe de l'enceinte. Ou plus simplement la pose du même film côté intérieur de l'enceinte.

En outre, l'utilisation de l'anémomètre est rudimentaire. Nous avons réalisé un support en carton au cours des mesures afin de ne pas le tenir à la main. Une solution très temporaire non adaptée à la vocation pédagogique du banc. On peut imaginer la création d'un support en impression 3D plastique que l'on viendrait simplement coller la paroi extérieure de l'enceinte.

Enfin, on pourrait améliorer la vitesse effective au sein du tube. En effet, nous avons réalisé nos mesures avec l'anémomètre au sein de l'enceinte, perturbant l'écoulement en aval de celui-ci (donc sur le solide). Ainsi, on pourrait étalonner la vitesse de l'écoulement à la puissance d'alimentation du moteur. Ainsi, à chaque puissance fournie au moteur, la vitesse de l'écoulement serait connue. Plus besoin alors de laisser l'anémomètre dans l'enceinte, laissant l'écoulement libre de toute perturbation.

Conclusion

En conclusion, ce projet nous a initié à ce que le travail en entreprise peut être, en nous apprenant à travailler en équipe autour d'un projet et en expérimentant ses enjeux techniques et d'organisation. Nous avons dû, avec toutes les ressources étant à notre disposition, réaliser et améliorer le concept imaginé par les étudiants qui ont travaillé sur ce sujet l'année dernière. Une grande partie du temps consacré à notre projet a donc été utilisé à concevoir et chercher à obtenir tous les composants nécessaires au déroulement de nos expériences.

Ce projet nous a aussi beaucoup apporté sur le plan personnel. Nous avons grâce à lui créer une réelle cohésion d'équipe et avons eu l'opportunité de travailler d'une nouvelle manière. Les recherches à réaliser nous ont beaucoup appris sur la mécanique des fluides. Ces connaissances ont été très intéressantes car complètent le cours de mécanique des fluides que nous suivons tous. Les différentes expériences réalisées nous ont permis de visualiser les notions évoquées en cours et l'ont rendu plus concret.

Étant en période Covid, il a aussi fallu gérer notre temps en avançant au maximum ce qui devait être fait en présentiel tant que nous en avons la possibilité, et profiter des séances passées à distance pour avancer le plus possible la rédaction de notre dossier. Nous avons aussi cherché à rendre notre installation pédagogique en essayant de réaliser des vidéos montrant l'écoulement obtenu, afin que les élèves de première année puissent les visualiser lors de leur enseignement de P2. Il fallait pour cela chercher à utiliser de la fumée, et après différents essais infructueux, nous avons réussi à obtenir une fumée assez épaisse grâce à de l'azote liquide mais malheureusement nos efforts pour produire une vidéo pédagogique ont été infructueux.

La réalisation de notre projet n'aurait pas pu être possible sans l'aide de notre professeur encadrant, monsieur Keller ; l'aide de monsieur Breteau et toute l'équipe du CCU pour la réalisation des différents éléments de notre banc de mesure, Pascal Williams pour avoir réalisé nos pièces en les imprimant grâce à l'imprimante 3D du département STPI, et enfin Catherine Legrand et ses collègues du département de CFI, qui nous ont fourni de la glace carbonique et de l'azote liquide pour nos essais de production de fumée et qui nous ont encadré dans les laboratoires du bâtiment Darwin. Nous les remercions tous pour nous avoir aidé dans la réalisation de ce projet.

Bibliographie

Partie théorique

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Frottement_fluide
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Frottement>
- <https://owl-ge.ch/IMG/pdf/frottement.pdf>
- <http://dictionnaire.sensagent.leparisien.fr/Frottement%20fluide/fr-fr/>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89coulement_laminaire
- <https://www.thermal-engineering.org/fr/quest-ce-quun-ecoulement-turbulent-definition/>
- <http://www.dalembert.upmc.fr/frt/index.php/turbulence>
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbulence>
- Cours de P2
- Rapports de projet des deux années précédentes

Partie expérimentale

- Rapports de projet des deux années précédentes
- Cours de P2
- Cours de CT13