


MP03 : Dynamique des fluides

Bibliographie :

-  *Physique expérimentale–optique, mécanique des fluides, ondes et thermodynamique*, M. Fruchart, P. Lidon, E. Thibierge, M. Champion, A. Le Diffon. [1]

Rapports de jury :

2017 : Si l'évaluation du nombre de Reynolds est faite régulièrement, il est regrettable qu'un nombre de Reynolds grand devant 1 soit systématiquement associé à un écoulement turbulent. L'étude des corrections des effets de tailles finies sur certains écoulements peut être menée pour peu que ces dernières aient un sens par rapport aux erreurs expérimentales associées aux mesures. Une mesure de vitesse constante peut être effectuée très simplement, sans nécessairement faire appel à des moyens d'acquisition informatiques complexes.

2016 : Comme recommandé par les précédents rapports, les candidats pensent à évaluer le nombre de Reynolds mais les conclusions qu'ils en tirent sont souvent incomplètes ou erronées. D'autres limitations des modèles (Stokes et Poiseuille en particulier) sont ignorées. Les viscosités mesurées doivent être comparées aux valeurs tabulées aux températures des expériences réalisées.

2009 à 2014 : Comme recommandé par les précédents rapports, les candidats pensent à évaluer le nombre de Reynolds mais les conclusions qu'ils en tirent sont souvent incomplètes ou erronées. D'autres limitations des modèles (Stokes et Poiseuille en particulier) sont ignorées. Le principe des anémomètres utilisés doit être connu. Les viscosités mesurées doivent être comparées aux valeurs tabulées aux températures des expériences réalisées. Rendre l'expérience de l'écoulement de Poiseuille quantitative nécessite certaines précautions.

Table des matières

1	Proposition de plan :	3
1.1	Écoulements à petit nombre de Reynolds	3
1.1.1	Mesure de viscosité : Viscosimètre à chute de bille	3
1.1.2	Écoulement de Poiseuille	5
1.2	Écoulements à grand nombre de Reynolds	7
1.2.1	Théorème de Bernoulli	7
1.2.2	Force de trainée	8
2	Conclusion :	9
3	Questions et remarques générales	10
4	Manip surprise : création et correction d'un œil myope	11

MP03: DYNAMIQUE DES FLUIDES

équation de Navier-Stokes:

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} \right) = -\text{grad} p + \vec{f}_v + \eta \Delta \vec{v}$$

terme convectif

terme de viscosité

nombre de Reynolds:

$$Re = \frac{\|\rho (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v}\|}{\|\eta \Delta \vec{v}\|} = \frac{\rho V L}{\eta}$$

FIGURE 1 – Mon tableau pour l'introduction

Introduction générale du montage :

Equation de Navier-Stokes :

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} \right) = -\text{grad} p + \vec{f}_v + \eta \Delta \vec{v} \quad (1)$$

Nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{\|\rho (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v}\|}{\|\eta \Delta \vec{v}\|} = \frac{\rho V L}{\eta} \quad (2)$$

Remarques du correcteur : J'avais parlé en introduction du fait qu'on avait besoin de négliger des termes pour pouvoir résoudre l'équation de Navier-Stokes. Mais le correcteur a dit que cette introduction n'était pas pertinente pour un montage car on ne veut pas vraiment résoudre l'équation de Navier-Stokes. Il aurait préféré que je parle du fait que le comportement change avec le nombre de Reynolds. Il aurait aussi aimé voir la définition du nombre de Reynolds avec les temps de diffusion et de convection.

1 Proposition de plan :

1.1 Ecoulements à petit nombre de Reynolds

1.1.1 Mesure de viscosité : Viscosimètre à chute de bille

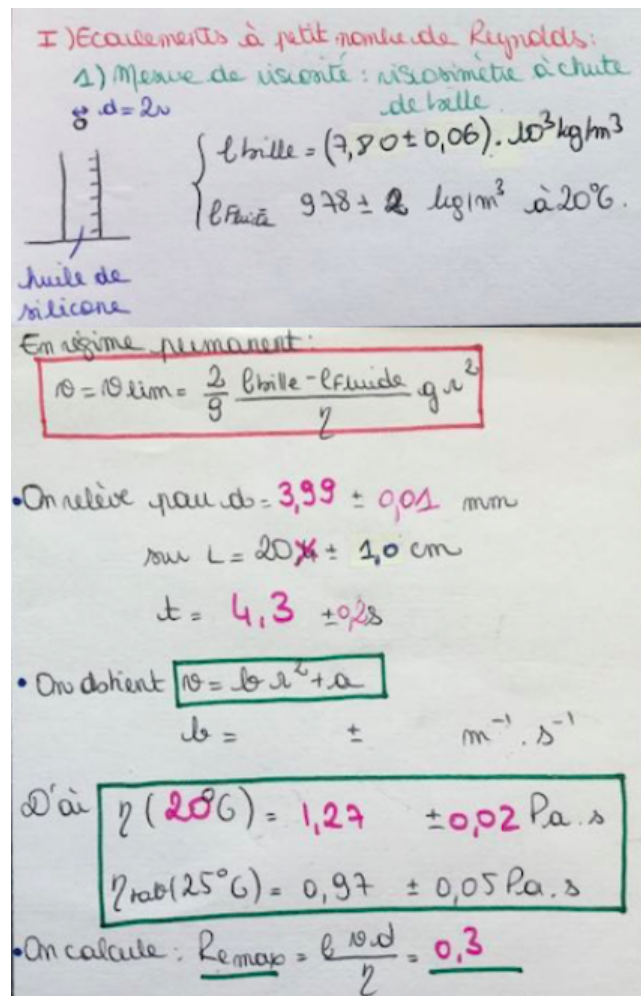


FIGURE 2 – Mon tableau pour le viscosimètre à chute de bille

En préparation

- Pour chaque rayon de billes à disposition, on réalise 6 fois la mesure de **temps de chute de la bille** avec les précautions décrites au paragraphe suivant.
- Penser à **mesurer la température** pour pouvoir s'assurer que celle du point pris en direct sera la même.
- On mesure la **masse volumique de l'huile de silicone** utilisée car la valeur sur le bidon est donné sans incertitudes. On doit penser à nouveau à noter la température car la masse volumique varie avec la température.
- On mesure également la **masse volumique des billes** utilisées.

Protocole

- On mesure le **diamètre de la bille** que l'on va utiliser.
- On lâche la bille **le plus au centre possible** pour limiter les effets de bords lors de l'écoulement. *Il n'est pas nécessaire de la lâcher sans vitesse initiale car on va mesurer le temps sur une zone où le régime permanent est établi.*
- On mesure le **temps** que met la bille à passer typiquement de la graduation 900 à la graduation 300 de l'éprouvette. On fait cela pour deux raisons : tout d'abord on ne déclenche pas dès qu'on lâche la bille pour *s'assurer que le régime permanent est établi. On peut vérifier cela par calcul et en prenant une vidéo de la chute de la bille. Cela vaut environ 3cm.* Ensuite on arrête le chronomètre avant que la bille touche le fond pour *limiter les effets du fond sur la vitesse de la bille.*
- On calcule la **vitesse**, connaissant la distance entre les graduations repérées et le temps que la bille a mis pour parcourir cette distance.
- On peut **reporter ce point sur la droite** faite en préparation. *A noter que l'on ne prendra pas en compte ce point dans l'ajustement car les autres points en préparation correspondent à la mesure de la vitesse pour 6 billes de même rayon.*
- On relève la **température**, pour pouvoir comparer avec celle en préparation.
- On calcule Δv
- On fait l'ajustement avec Igor et on trouve la pente de la droite. ATTENTION : Ici il n'est pas nécessaire de fixer l'ordonnée à l'origine à 0.
- On en déduit la **viscosité de l'huile de silicone** à la température relevée. Et on calcule $\Delta \eta$ par propagation des incertitudes.
- *On peut difficilement comparer à la valeur tabulée car les températures de mesures sont différentes. On peut seulement conclure que c'est le bon ODG et que c'est cohérent avec le fait que la viscosité augmente quand la température diminue.*
- Enfin, on calcule le **nombre de Reynolds** et on vérifie qu'il est inférieur à 1 ce qui justifie l'utilisation de la force de Stokes pour établir la vitesse en régime permanent.

Remarques du correcteur

- *J'ai été un peu évasive sur la manière de repérer l'endroit où je lance le chrono et où je l'arrête. Penser à expliquer clairement que l'on place son oeil bien en face des traits que l'on considère pour minimiser les incertitudes.*
- *Pour l'incertitude sur la mesure de temps j'avais pris deux fois le temps de réaction car je faisais deux mesures de temps. Ce n'est pas exact de prendre ça car l'erreur systématique sur la mesure de temps se compense et ce qu'il reste est une erreur aléatoire sur l'erreur systématique pour chaque mesure. Il est important de préciser que le fait de prendre 6 mesures pour chaque rayon permet de minimiser cette erreur aléatoire.*

Transition : On vient de montrer une méthode possible pour mesurer la viscosité. Une autre méthode, est aussi un écoulement très largement étudié car il est caractéristique des écoulements dans les vaisseaux sanguins par exemple.

1.1.2 Ecoulement de Poiseuille

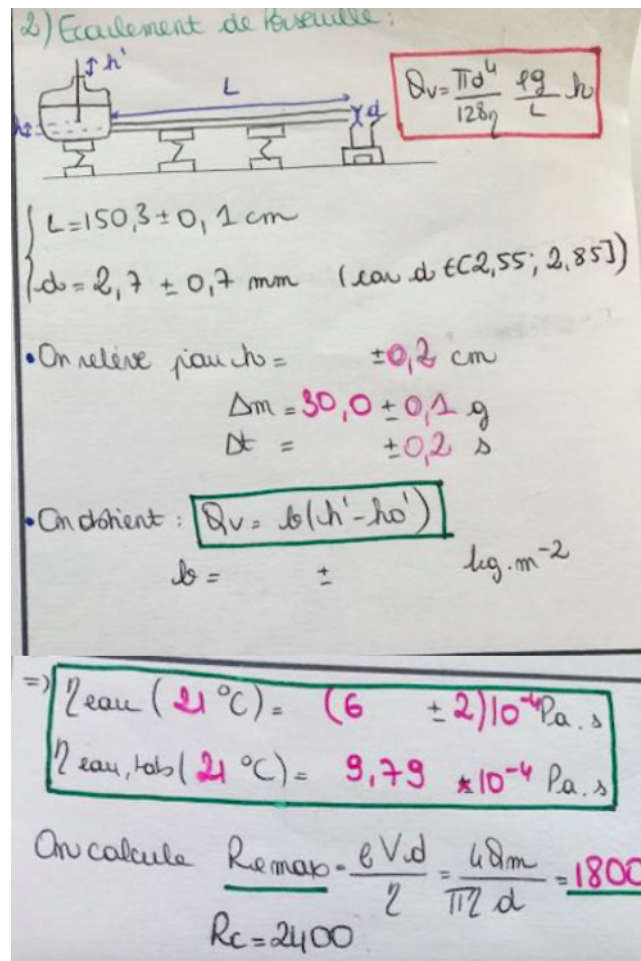


FIGURE 3 – Mon tableau pour l'écoulement de Poiseuille

En préparation

- On remplit le **vase de Mariotte** d'eau. et on fixe le tube au bout du robinet, en s'assurant de mettre du **teflon** pour que tout soit bien étanche.
- On met également du **teflon** à l'autre extrémité du long tube **pour éviter la formation de goutte qui changerait la pression au bout du tube d'après la loi de Laplace du fait de la courbure de la surface.**
- On choisit le tube de telle sorte qu'il **soit grand devant la longueur d'établissement** ici elle vaut quelques centimètres donc il n'y a pas de problème.
- On place des bois pour s'assurer de **l'horizontalité du montage** (vérifiée avec un niveau).
- En bout, on place **une balance et un béc** pour recueillir l'eau qui va couler. **Penser à fixer avec du scotch ou autre chose le tube car sinon quand on ouvre le robinet il bouge et l'eau ne coule plus dans le béc**
- On **mouille un peu le bouchon** du vase pour s'assurer qu'il soit bien fixé et hermétique.
- On place un **tube dont on va faire varier la profondeur** dans l'eau, qui va fixer la pression P_0 et dont on va mesurer la longueur qui dépasse **pour s'affranchir de plus de mesures de longueurs. On note cette hauteur h' .**

- Pour différentes valeurs de h' (On évitera de prendre les valeurs de h' pour lesquelles on voit qu'il se forment des gouttes en sortie du long tube. Cela correspond à des valeurs de h' petites.), on relève le **débit** en sortie du long tube. Pour ce faire, on ouvre le robinet, on attend de voir les bulles s'échapper du tube qui trempe dans l'eau (ce qui signifie qu'on avait bien P_0) on déclenche le chronomètre lorsque la balance affiche une certaine masse (par exemple 10g) puis on arrête le chronomètre quand la balance affiche 40g.
- On mesure la **température de l'eau** pour pouvoir utiliser la masse volumique de l'eau adaptée à la mesure qui est faite.
- On obtient alors le **débit massique** que l'on convertit en débit volumique.
- Enfin on reporte ce point sur Igor.
- On n'oublie pas de calculer le **nombre de Reynolds** et on vérifie qu'il est inférieur au nombre de Reynolds critique.

Protocole

- En direct, on refait la **mesure du débit** pour une valeur de h' .
- On reporte le point sur la courbe
- On pense à mesurer la **température de l'eau** pour montrer qu'on pense à comparer avec les valeurs en préparation.
- On fait l'ajustement sur Igor et on en déduit la pente de la droite. **Attention la droite ne doit pas passer par 0 car on a tracé le débit en fonction de h' et pas de h . Donc l'ordonnée à l'origine vaut $-b.h'_0$ avec h'_0 la hauteur h' telle que le débit soit nul, ou encore telle que $h=0$.**
- On en déduit la **viscosité de l'eau** à une certaine température que l'on compare à la viscosité de l'eau tabulée à la même température.

!!! ATTENTION !!!

Lors de mon montage, j'obtenais $\eta_{eau} = 0,7 \cdot 10^{-3} Pl$ au lieu de $\eta_{eau} = 1 \cdot 10^{-3} Pl$. Je ne comprenais pas d'où venait le problème, mis à part que j'avais remarqué qu'en mesurant au pied à coulisse le rayon du tube ne semblait pas le même aux deux extrémités. J'ai découvert plus tard qu'il existait une boîte avec pleins de tubes neufs et surtout les données concernant les tubes. La mesure au pied à coulisse est finalement assez imprécise et **il vaut mieux prendre les données sur la boîte c'est-à-dire :**

- Longueur du tube : $L = 1,500m$
- diamètre extérieur du tube : $\Phi_{ext} = 5,00 \pm 0,12mm$
- épaisseur d'une paroi du tube : $e = 0,90 \pm 0,03mm$

Donc le rayon intérieur du tube vaut : $r_{int} = 1,60 \pm 0,09mm$

Remarques du correcteur

- Pour la mesure du débit, il propose une méthode pour ne pas faire de mesures à la volée : on laisse couler un peu d'eau dans le bécher on bouche le tube avec notre doigt tout en laissant le robinet ouvert, on tare la balance puis on déclenche le chrono et on enlève notre doigt en même temps. Enfin, on rebouche le tube et on arrête le chrono et on lit la valeur de la masse une fois celle-ci stabilisée.
- Mes explications sur la raison pour laquelle il est préférable de mesurer h' et pas h n'étaient pas très claires. Il faut trouver un moyen de l'expliquer de manière efficace.

- Il existe sûrement aussi des pertes de charges singulières au niveau du coude du dispositif et au niveau du robinet.

Transition : On a vu le comportement d'écoulements à petit nombre de Reynolds, on va maintenant étudier des écoulements à grand nombre de Reynolds.

1.2 Ecoulements à grand nombre de Reynolds

1.2.1 Théorème de Bernoulli

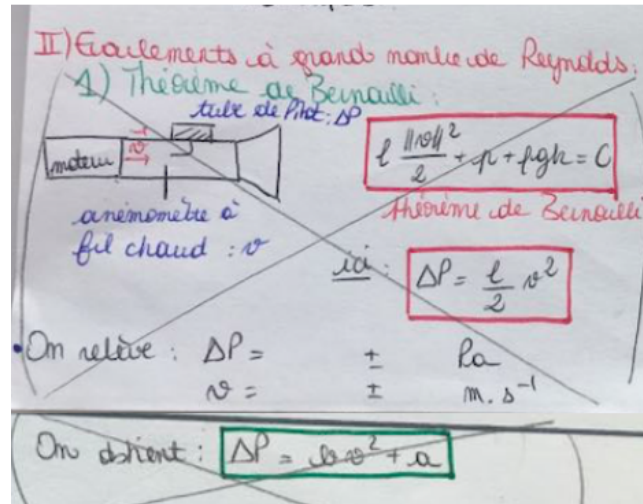


FIGURE 4 – Mon tableau pour le théorème de Bernoulli

Je n'ai pas fait cette expérience en direct et je ne l'ai pas présentée mais je l'avais préparée

En préparation

- Le but de cette partie est de montrer que la **loi de Bernoulli** est vérifiée pour la soufflerie, en utilisant un tube Pitot (qui permet de mesurer une différence de pression) et un anémomètre à fil chaud (qui permet de mesurer la vitesse de l'écoulement).
- On place le **tube Pitot** sur le chariot et on met l'**anémomètre** dans le trou prévu à cet effet, en essayant de placer les deux appareils au même endroit mais en enlevant l'un pour faire la mesure avec l'autre : **ne pas les mettre simultanément pour ne pas perturber l'écoulement.**
- Il faut penser à regarder dans les réglages du tube Pitot pour faire le zéro et choisir le calibre par exemple.
- On reporte les données sur Igor pour vérifier qu'il y a bien une **relation linéaire entre la pression et la vitesse au carré.**
- on constate que cela est plutôt bien vérifié, mais il se peut que la droite ne passe pas par 0. **Cela peut être dû au zéro du tube Pitot.**

Le problème de cette manipulation est notamment que la valeur de la pente ne permet pas de retrouver une valeur de la masse volumique de l'air cohérente. Cette manip ne permet que de vérifier la linéarité.

!!! ATTENTION!!!

Il ne faut pas utiliser l'anémomètre à fil chaud le plus récent, il semble afficher une valeur de vitesse avec un facteur $\sqrt{2}$ près. **On utilisera donc le plus neuf des vieux anémomètres à fil chaud.** (Demander aux préparateurs si vous ne le trouvez pas dans le matériel de la soufflerie) On fera aussi attention à le placer correctement dans l'écoulement c'est-à-dire, **le point blanc PAS vers la source.**

Transition : Pour se placer à grand nombre de Reynolds, on va utiliser une soufflerie qui est un dispositif très utilisé car cela permet de réaliser des tests à des échelles plus faibles de vols d'avions ou encore d'aérodynamisme de voitures par exemples.

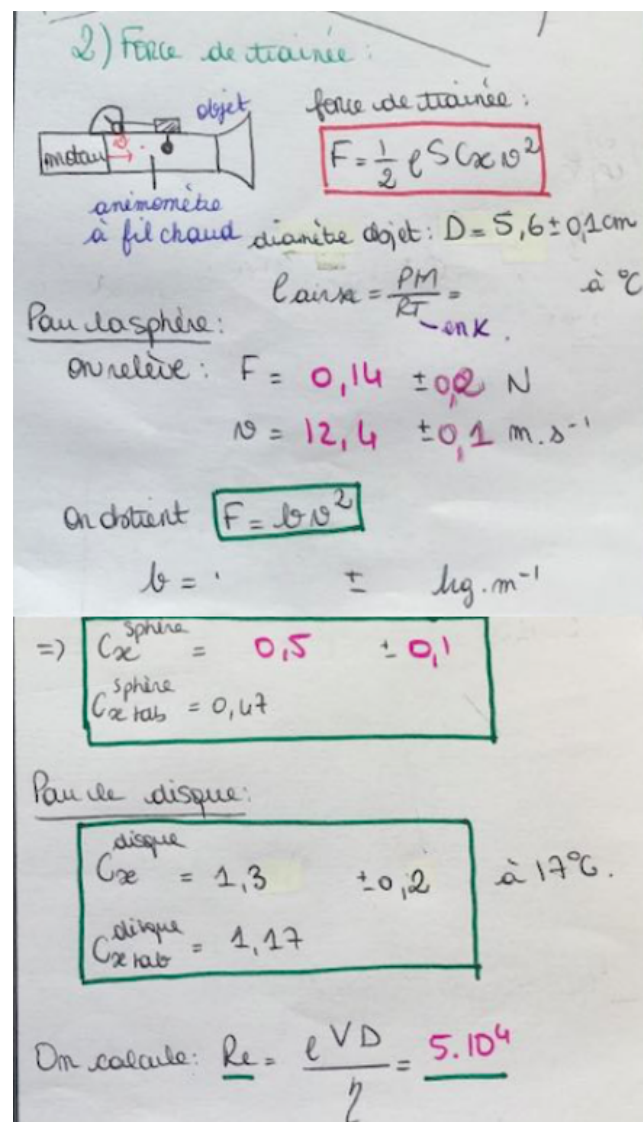
1.2.2 Force de traînée

FIGURE 5 – Mon tableau pour la force de traînée

En préparation

- On place cette fois un **objet sur le chariot** que l'on accroche au système de mesure de la force.

- On impose une certaine vitesse, on relève la force qui s'exerce sur l'objet. Il y a différents objets à disposition. Pour mon montage je n'ai utilisé que la sphère et le disque de même surface. Cela m'a permis de comparer l'aérodynamisme dû à la forme d'objets de même maître couple (surface qui fait face à l'écoulement). *Parfois il faut faire bouger l'objet pour s'assurer qu'il n'est pas bloqué*
- On mesure aussi la **vitesse proche de l'objet** mais pas trop pour ne pas être dans une zone où l'écoulement est perturbé. *On peut aussi enlever l'objet à chaque fois mais on va aussi perturber l'écoulement en enlevant le chariot.*
- On reporte ces données sur Igor et on obtient une droite lorsqu'on trace la force en fonction de la vitesse de l'écoulement au carré. Je n'avais pas beaucoup de points pour chaque droite (la sphère et le disque) et des grandes barres d'erreurs mais j'obtenais quand même des résultats cohérents avec [1].
- On en déduit le **coefficient de trainée** pour la sphère puis pour le disque.
- Enfin, on calcule le **nombre de Reynolds** pour s'assurer d'être dans la zone où le coefficient de trainée ne dépend pas du nombre de Reynolds.

Protocole

- En direct, on fait la **mesure de la force exercée sur la sphère** pour une certaine vitesse de l'écoulement.
- On reporte ce point sur la droite faite en préparation.
- On en déduit le **coefficient de trainée pour la sphère** grâce au coefficient directeur de la droite.
- On le compare à celui trouvé pour le disque en préparation.
- Enfin, on calcule le **nombre de Reynolds** pour s'assurer d'être dans la zone où le coefficient de trainée ne dépend pas du nombre de Reynolds.

Remarques du correcteur

- *Il y a surtout eu une discussion sur la légitimité d'enlever le chariot et de mesurer la vitesse de l'écoulement en l'absence de l'objet dans la cavité. Mais je crois qu'il n'y avait pas de meilleure méthode finalement. En tout cas, le correcteur était un peu gêné qu'on enlève le chariot et l'objet pour mesurer la vitesse mais je n'ai pas compris pourquoi.*

2 Conclusion :

On a vu des situations pour lesquelles les nombres de Reynolds étaient différents. Cela nous a permis de déterminer des caractéristiques importantes de fluides telle que leur viscosité. On a aussi pu voir l'utilité de se placer à un nombre Reynolds connu mais pour un système aux dimensions réduites, pour étudier l'aérodynamisme d'objets réels telles que des voitures ou des avions.

De manière générale, le nombre de Reynolds devra être le même que celui dans la situation réelle et lorsqu'on fait une maquette pour modéliser le phénomène, d'où son importance.

Remarques du correcteur

- *Le correcteur n'avait pas aimé ma conclusion, mais je ne suis pas sûre d'avoir dit exactement ce que j'ai écrit ici. En tout cas, je ne me rappelle plus (ou je n'ai pas compris) pourquoi il ne l'avait pas aimée.*

3 Questions et remarques générales

Questions

- Réexpliquer comment a été faite la mesure du temps de chute pour le viscosimètre à billes
- Réexpliquer la manip pour la loi de Poiseuille
- Principe de l'anémomètre à fil chaud : lorsque le fluide s'écoule il modifie la température du fil. Ce dernier est asservi en température. On envoie un certain courant pour maintenir la température constante. C'est ce courant qui permet de remonter à la vitesse de l'écoulement.
- Problème de l'anémomètre à hélice : Il faut le mettre en sortie de la soufflerie, et le tenir à la main. Cela perturbe beaucoup l'écoulement à l'intérieur.
- D'où vient la formule de propagation des incertitudes ? Est-elle toujours valable ? Elle vient de la formule avec les dérivées partielles de la fonction considérée. Elle est valable si on a seulement des produits ou des quotients des variables.
- Si pour l'écoulement de Poiseuille on définissait le nombre de Reynolds comme le rapport des termes de convection et de viscosité on aurait quelle valeur ? On aurait 0 car dans le cas de l'écoulement de Poiseuille on a un écoulement de cisaillement donc par définition le terme convectif est nul.
- Un écoulement laminaire est-il toujours visqueux ? Non, et l'inverse n'est pas vrai non plus.
- Qu'est-ce que l'huile de silicone ? Elle est composée de longues chaînes carbonées. Il existe pleins de types d'huile de silicone.
- Pourquoi utilise-t-on de l'huile de silicone ? Parce qu'elle s'hydrate moins que du glycérol.

Il y a eu beaucoup de questions mais certaines se répétaient beaucoup et cela concernait beaucoup la distinction erreur systématique/erreur aléatoire.

Remarques générales

- Les **nombres de Reynolds** doivent être évalués en ordre de grandeur.
- Il faut mettre sur le tableau l'**allure des courbes** qu'on va obtenir si on a la place pour que cela soit plus visuel pour le jury.
- Il faut bien faire la distinction **erreur systématique/erreur aléatoire**.
- Penser à dire les **unités à l'oral**.
- Lorsqu'on fait des **incertitudes pour des mesures à la règle**, il faut prendre la demi largeur d'une graduation puis diviser par $\sqrt{3}$. Enfin si on fait deux mesures à la règle (en 0 et en x) on multiplie l'incertitudes obtenues précédemment par 2. Cela donne le résultat à mettre après le \pm à 63%.

4 Manip surprise : création et correction d'un oeil myope

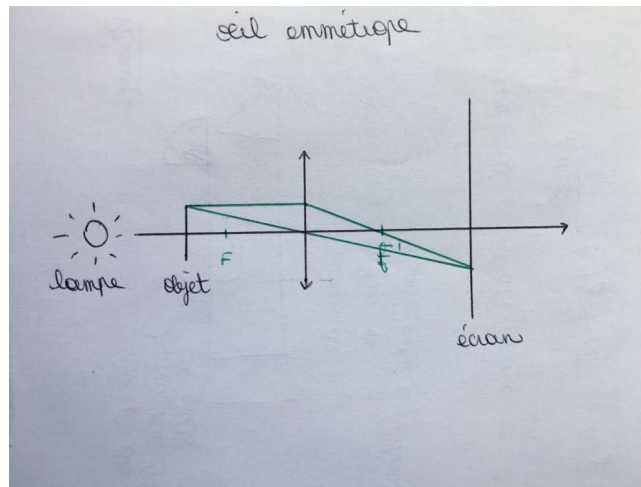


FIGURE 6 – Un oeil emmétré.

- On crée d'abord un oeil emmétré.
- Un oeil myope est trop long ou trop convergent donc on éloigne la lentille de l'écran.
- Pour corriger on place ensuite une lentille divergente accolée à la lentille modélisant l'oeil.