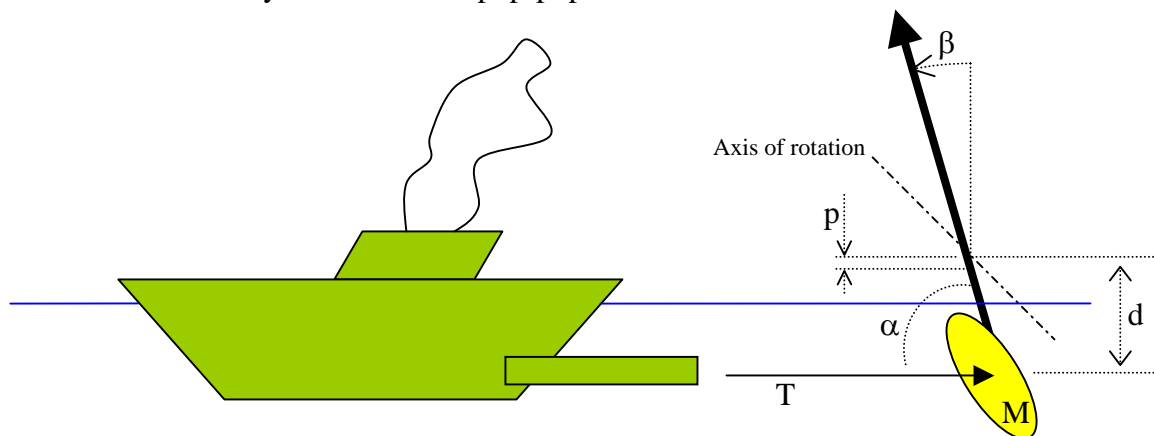


Banc d'essai pour moteurs pop-pop

Par Jean-Yves

N'importe qui peut construire son propre banc d'essai avec les constituants qu'il a à sa disposition. Le but de ce qui suit est seulement de donner des idées.

Pour mesurer la poussée, on utilise la troisième loi de Newton : action = réaction. La poussée T du moteur pop-pop est exercée sur une cible sur laquelle on mesure la réaction. Selon la loi des quantités de mouvement la force exercée par un jet sur une surface plane est $F=qV(1-\cos\alpha)$, avec q pour le débit, V pour la vitesse du jet et α pour l'angle entre le jet et le plan de la cible. F est égal à T quand la cible est perpendiculaire au jet. La mesure de cette poussée peut se faire à l'aide d'un mobile tournant autour d'un axe horizontal et muni d'une cible située derrière la ou les tuyères du moteur pop-pop.



La déviation du pendule dépend de son poids apparent (moins que le poids réel en raison de la poussée d'Archimède) et de la position de son centre de gravité.

Si d est la distance verticale entre l'axe et le jet, le couple exercé par ce dernier est $C=T.d(1-\cos\alpha)$

Si M est la masse du pendule et si p est la distance du centre de gravité à l'axe, et si β est l'angle de déviation, le contre couple est $Q=M.g.p.\sin\beta$

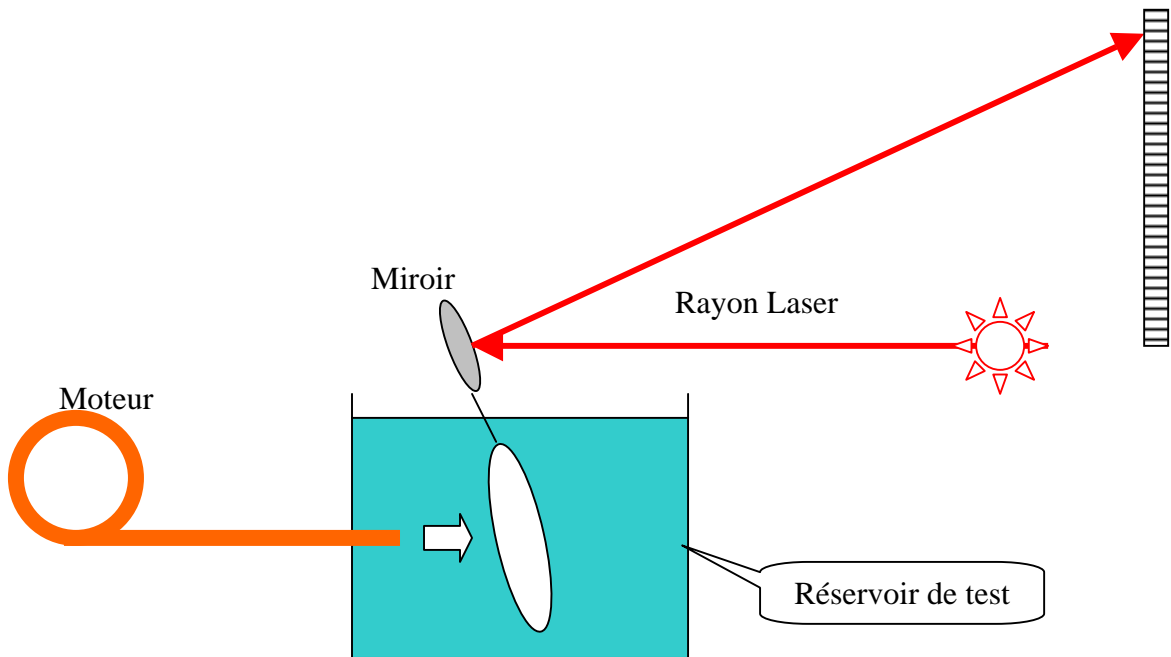
Donc, $T.d(1-\cos\alpha)=M.g.p.\sin\beta$

Connaissant β et α on peut calculer la poussée du jet. Mais, afin de ne pas rendre les choses compliquées on utilisera le pendule à de petits angles. Ainsi, $\cos\alpha$ vaudra pratiquement un et $\sin\beta$ sera approximativement proportionnel à β . Dans ces conditions la déviation sera proportionnelle à la poussée.

Nous avons utilisé ce principe sur plusieurs appareils de mesure de poussée. Mais, pour chaque nouveau banc d'essai nous devons modifier l'appareil ou en construire un autre. Pour cette raison, et en raison de l'expérience acquise avec les instruments de mesure précédents, nous avons décidé d'en construire un nouveau, un instrument polyvalent. Principaux objectifs :

- Cible réglable en hauteur pour la centrer derrière le jet.
- Contre couple réglable (pour conserver des angles faibles)
- Gain réglable pour lire directement la poussée (en mN)
- Etalonnage facile.

Là on se heurte à un problème : comment mesurer la déviation avec précision s'il s'agit de petits angles ? Une solution consiste à utiliser une grande aiguille. Une autre solution consiste à utiliser une "aiguille optique". A la partie supérieure du pendule on a placé un petit miroir où un rayon laser se réfléchit et est renvoyé vers un panneau (planchette, mur...). Ainsi, la déviation peut être amplifiée autant qu'on le souhaite. C'est seulement une question de distance entre le miroir et le panneau. Donc il est facile d'utiliser des petits angles.



Réalisation :

Composants principaux :

Miroir (3€ avec un manche télescopique et un support magnétique)

Un crayon laser (9€ dans une quincaillerie)

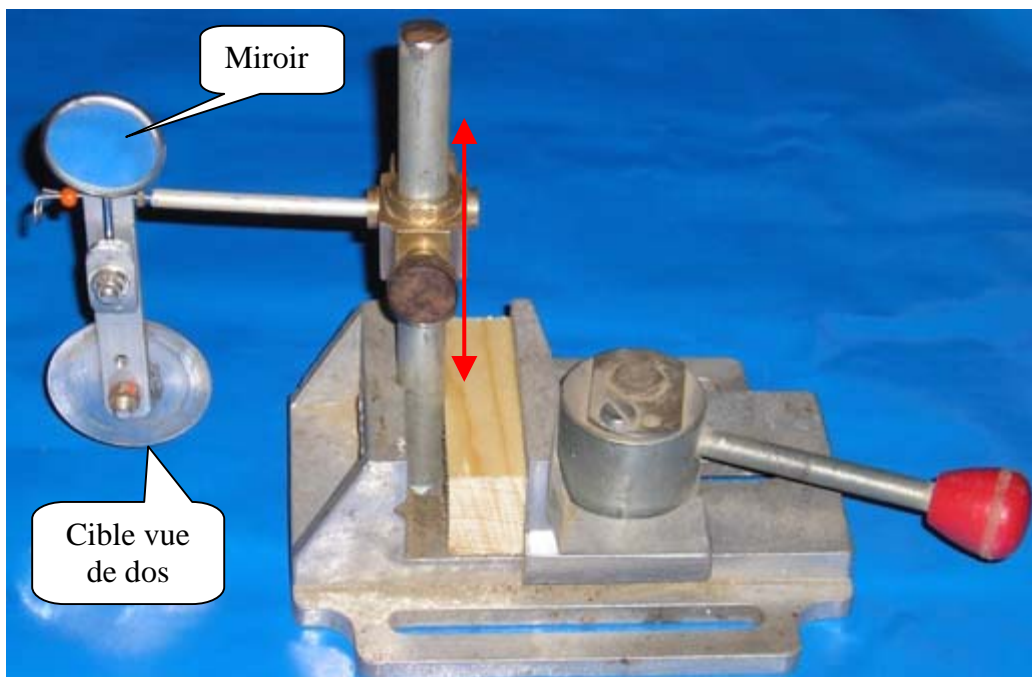
Cible (disque en inox de 45mm de diamètre)

Coulisseau de réglage en hauteur (récupération)

Axe : corde à piano en inox de 10/10 de diamètre.

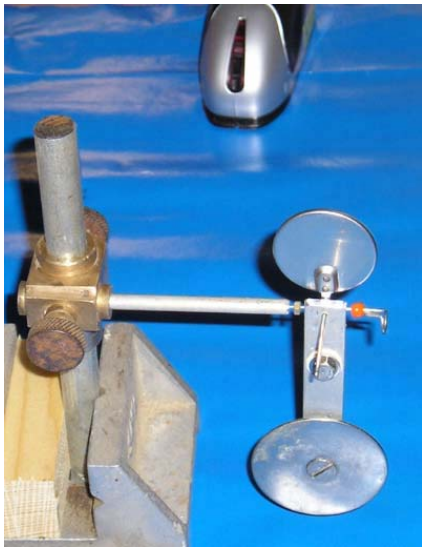
Autres composants de récupération (vis, écrous, perle, plat en dural...)

Nota : les dimensions et la forme de la cible ne sont pas critiques. La cible doit être plate et assez large pour recevoir la totalité du ou des jets.



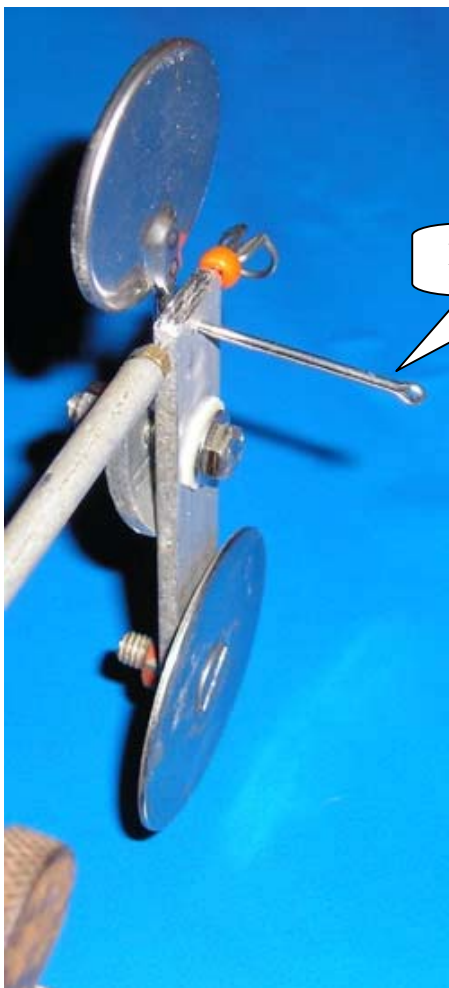
Pour l'embase on a utilisé un petit étau, mais n'importe quelle pièce métallique un peu lourde pourra faire l'affaire.

La vis au dos de la cible permet d'ajouter des poids afin de conserver de petits angles quand on mesure des poussées importantes.

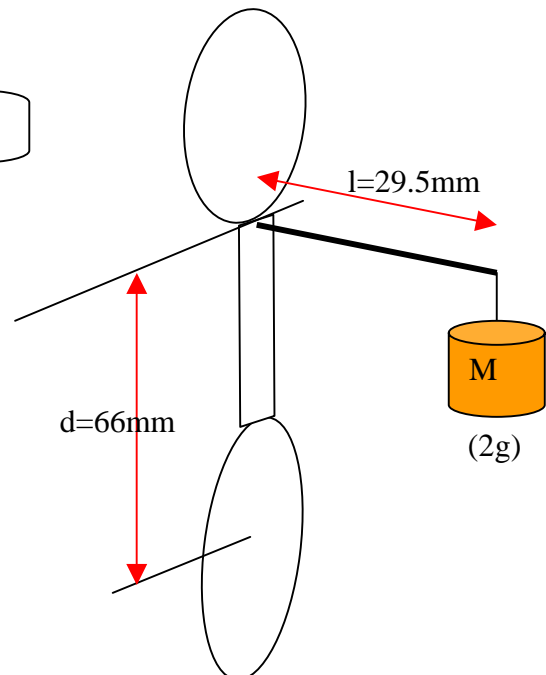


Vis pour
maintenir le
pendule à la
hauteur
désirée

Sur la photo de gauche on voit la cible de face et dans le fond l'émetteur laser.
Ci-dessous un détail du pendule. Le petit bras horizontal sert à l'étalonnage. Sa longueur "l"
est parfaitement connue. Pour l'étalonnage on y accroche des masses (2g or 5g) .



Bras d'étalonnage



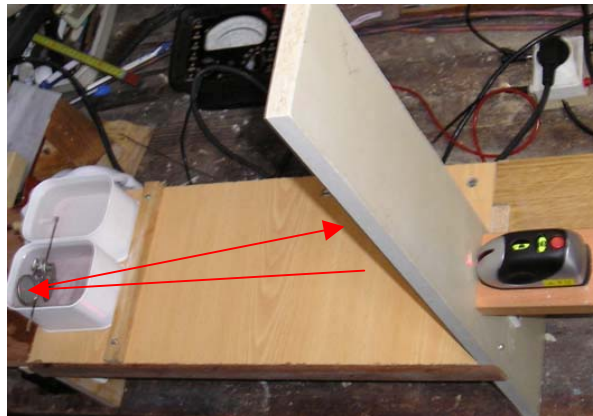
Etalonnage :

- Immerger la cible dans le bac d'essai
- Placer l'émetteur laser à la hauteur du miroir et face à lui (voir nota 1)
- Noter le zéro (position du point lumineux) sur un panneau vertical
- Coller un mètre à ruban sur le panneau avec son zéro là où est le point lumineux
- Ajouter une masse d'étalonnage "M". Elle simule une poussée

$$T = Mg \frac{l}{d}$$
- Noter la position du point lumineux et régler la distance entre le miroir et le panneau afin d'obtenir une correspondance simple.

Exemple: $l=29.5\text{mm}$ $d=66\text{mm}$ $M=2\text{g}$ $g=9,81$
 Cela donne $T=8,8\text{mN}$

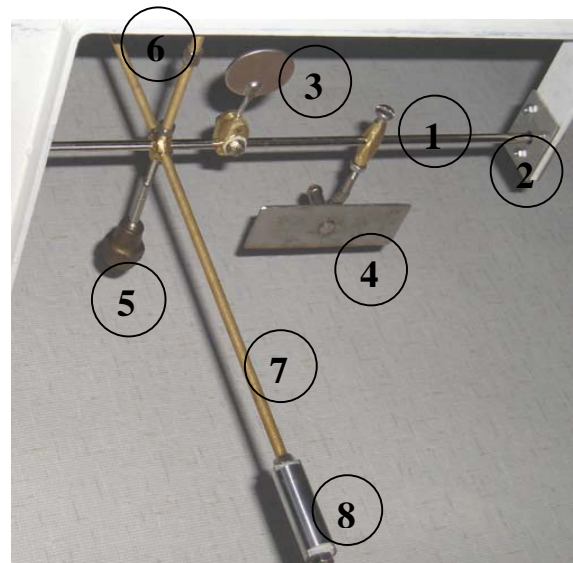
Si la déviation mesurée est par exemple 59mm, augmenter la distance entre le miroir et le panneau pour lire 88mm. Maintenant, toute indication en centimètre correspond à la poussée en milliNewtons.

**Une autre évolution du banc :**

Plus tard nous avons construit un banc d'essai plus sophistiqué. Il est basé sur le même principe, mais il comporte deux améliorations :

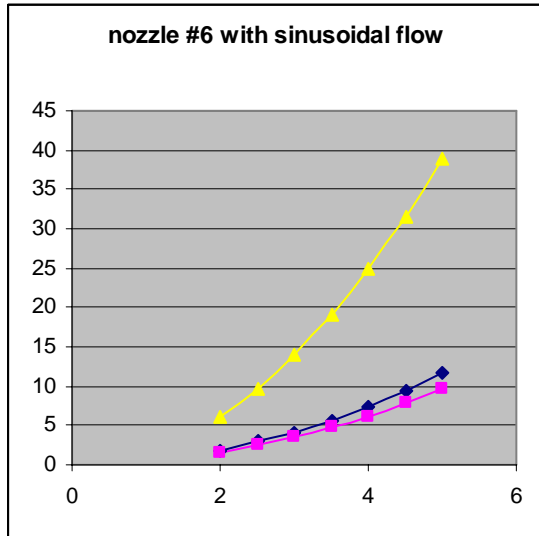
- 1°) 2 tout petits roulements à billes (récupérés sur un disque dur).
- 2°) un balancier à grande inertie pour filtrer les hautes fréquences.

- 1 = axe
 - 2 = Roulement à billes
 - 3 = miroir (vu de dos)
 - 4 = cible
 - 5 = Masse (lourde pour les gros moteurs)
 - 6 = Petit contreponds de réglage de gain
 - 7 = Bras avant du balancier
 - 8 = Masse au bout de ce bras
- (Bras et masse identiques à l'arrière)



Pourquoi mesure-t-on plus que la poussée théorique ?

Exemple de mesure :



En magenta la poussée moyenne théorique en fonction de la fréquence (voir "Simulateur hydraulique de moteur pop-pop").

En bleu la poussée mesurée.

En jaune (pour information) la valeur théorique maximale de la poussée instantanée.

Poussées en mN et fréquences en Hz.

Le banc de mesure de poussée donne toujours (nous avons fait une centaine de mesures) une indication supérieure (de 10 à 40%) à la valeur moyenne théorique. Ceci peut être dû à au moins deux phénomènes :

1°) Manque de filtrage.

La poussée indiquée fluctuait de 1 à 4 mN selon la tuyère. (2mN dans l'exemple). Nous avons toujours pris la moyenne arithmétique, mais ce faisant nous avons introduit une petite erreur. ==> Modifier l'équipage mobile en y adjoignant un dash-pot ou de l'inertie.

Cependant, le manque de filtrage ne peut pas expliquer des écarts aussi importants entre théorie et mesure.

2°) Recirculation de l'eau dans le bac.

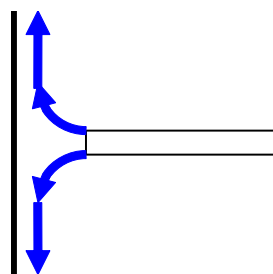
Ce phénomène déjà évoqué dans un précédent rapport a été mis ici en évidence.

- Nous avons d'abord observé les tourbillons grâce aux impuretés (involontaires) en suspension dans l'eau.
- Ensuite, nous avons fabriqué un micro corps mort.

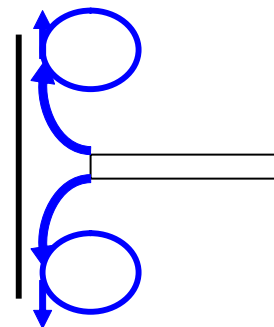


Ce corps mort est constitué par un masse marquée en laiton (2g), un bout de fil à coudre et un petit flotteur en mousse de polyuréthane (diamètre 8mm) réglable en hauteur à l'aide d'une petite clavette. Nous avons placé ce corps mort dans le bac à différents endroits et avons observé l'inclinaison du fil, et surtout les mouvements du flotteur. Il est apparu nettement que de l'eau était "recyclée" sur la cible ; de ce fait la quantité de mouvement est supérieure à ce qu'elle serait dans l'air.

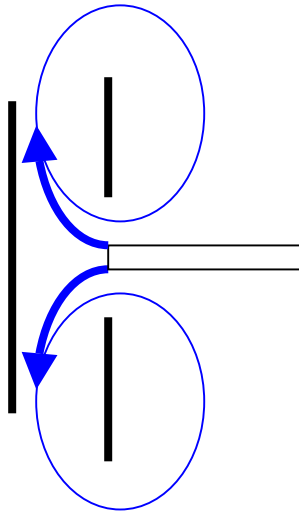
Dans l'air $T=q.V$



Dans l'eau $T > q.V$



- c) Puis nous avons placé des écrans (chicanes) à différents endroits dans le bac (pas sur le trajet direct du jet) et vu la mesure diminuer. La *bonne* poussée a été obtenue avec un écran disposé au droit de la tuyère comme représenté sur le schéma suivant.



Un tel écran n'empêche pas les tourbillons, mais ils sont beaucoup plus grands et l'eau qui revient vers la cible a perdu presque toute sa vitesse.

Notre écran avait un trou dont le diamètre était environ 3,5 fois celui de la tuyère.

Une autre solution pourrait être de diminuer la taille de la cible, mais alors il faudra s'assurer de la bonne orientation du jet.

Nota: Ceci est peut-être parfaitement connu dans certains milieux d'hydrodynamiciens mais nous ne l'avons pas trouvé dans la littérature consultée.