

## Mesure de poussée au point fixe

Par Jean-Yves

But ultime : pouvoir mesurer et optimiser les performances hydrauliques de moteurs pop-pop.

Pour ce faire, nous avons développé un banc de mesure de poussée dans un esprit analogue à celui du banc d'essai de débit. Cf. document "Banc d'essai hydraulique". Cette étude étant complémentaire de la précédente, pour étalonner ce banc en débit continu, nous avons réutilisé le château d'eau. Et pour l'étalonner en débit alternatif nous avons réutilisé la pompe conçue pour le banc précédent. Et afin d'être relativement exhaustifs dans l'exploitation des mesures, nous avons réutilisé les 11 tuyères de référence.

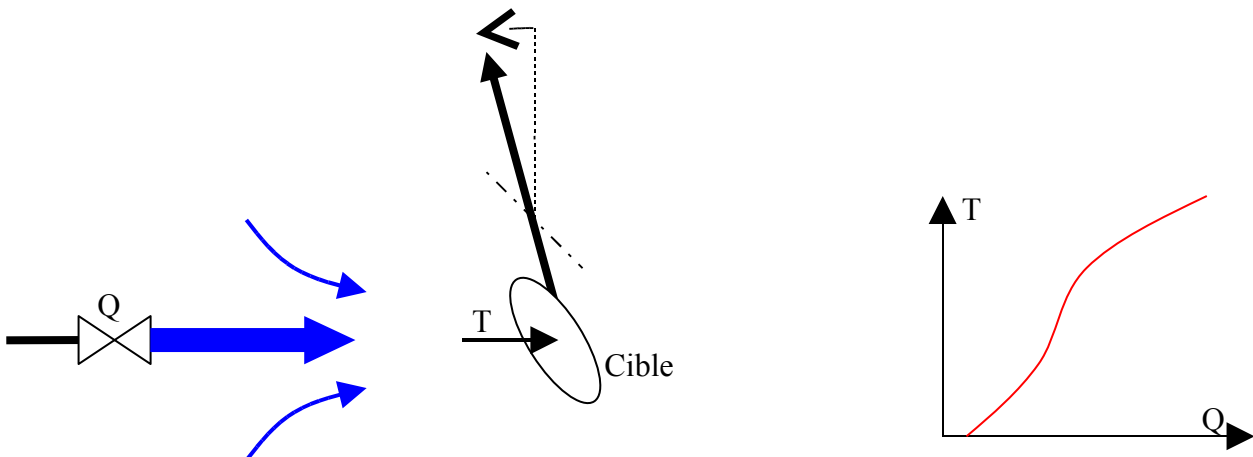
Avec des moteurs pop-pop, divers essais de balances de poussée (voir annexe 1) n'avaient pas donné des résultats utilisables dans la pratique. De plus, pour mesurer la poussée au point fixe d'un moteur pop-pop, il était nécessaire d'installer le moteur sur un flotteur. Outre les inconvénients cités en annexe, pour mettre au point un moteur c'était un peu laborieux. C'est pourquoi une autre direction a été recherchée. Par analogie avec ce qui a été fait pour le débit, nous avons effectué des mesures avec débit continu  $Q_c$  qui nous ont permis de connaître la poussée  $T_c$ , et des mesures avec débit alternatif  $Q_a$  qui nous ont permis de connaître la poussée  $T_a$ . Puis, pour chaque tuyère nous avons comparé  $Q_c$  et  $Q_a$  donnant  $T_c = T_a$ .

### 1°) Principe de la mesure.

La poussée est mesurée indirectement. En fait, c'est la déviation de l'aiguille qui est mesurée, mais on connaît la relation entre cette déviation et le couple nécessaire pour la provoquer. Voir annexe 2.

### 2°) Moyen de mesure de la poussée.

Cible articulée sur un axe horizontal, lestée, et positionnée en face de la tuyère à une distance connue de l'axe. Voir annexe 2. Chacun des éléments constitutifs a été pesé et sa position mesurée avec précision afin de déterminer la masse et la position du centre de gravité de l'équipage mobile. Les déplacements ont été limités aux petits angles, et il a été tenu compte de la poussée d'Archimède sur la partie immergée.



### **3°) Domaine de validité de la mesure.**

#### **3.1. Choix de la forme de la cible.**

Afin qu'elle reçoive au mieux le jet, et le moins possible les autres mouvements d'eau dans le bac, la cible a été choisie circulaire, ni trop petite, ni trop grande. Après quelques essais, -et en fonction du matériel disponible- il a été retenu une cible en forme de calotte sphérique de diamètre 34,5mm. La concavité a été tournée vers la tuyère pour deux raisons :

- Meilleure sensibilité (multipliée par 2,5 à 3).
- Meilleure immunité à un désalignement par rapport au jet.

#### **3.2. Profondeur d'immersion de la tuyère.**

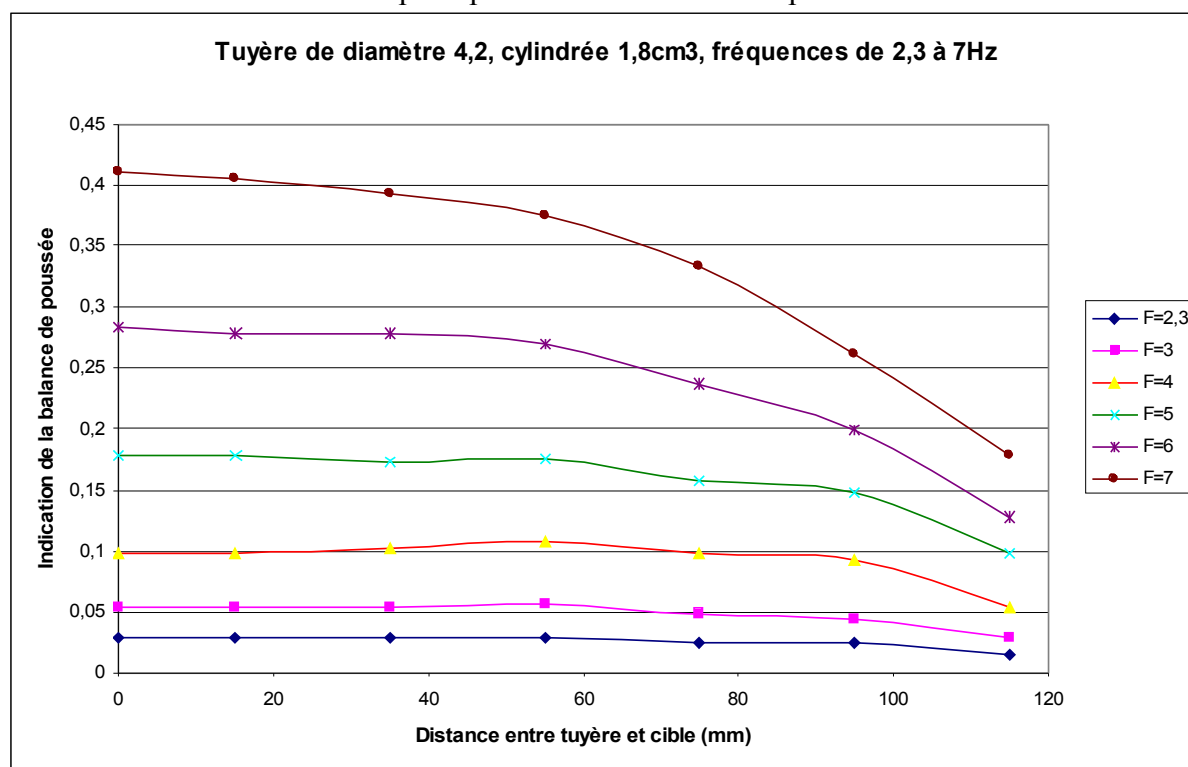
Des essais ont été faits avec 3 profondeurs différentes d'immersion (22,5mm, 42,5mm et 62,5mm). Il n'a pas été mesuré de différence. Par la suite, toutes les mesures ont été faites avec immersion d'environ 25mm.

#### **3.3. Orientation de la cible.**

Il a été vérifié que jusqu'à un angle de 10° la mesure ne changeait pas de façon visible.

#### **3.4. Distance entre cible et tuyère.**

Pour chacune des 11 tuyères des essais ont été faits à 7 distances différentes et avec des débits variant approximativement dans un rapport de 1 à 10 en débit continu, et 1 à 3 en débit alternatif. Dans cette dernière configuration (la plus défavorable) il apparaît qu'en dessous de 50mm la mesure dépend peu de la distance. Exemple :

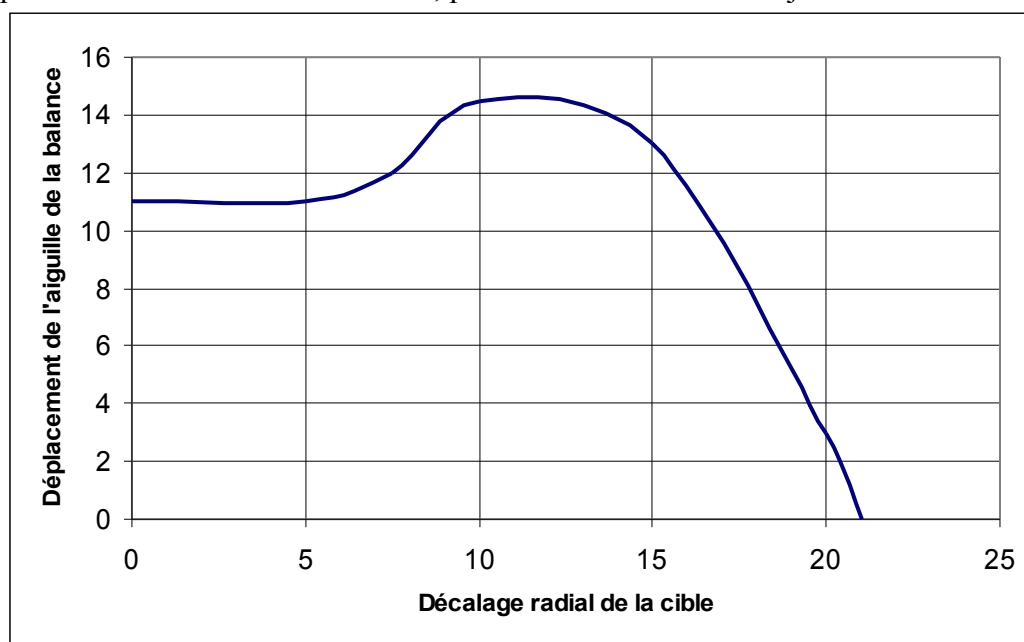


Ces courbes confirment celle que le Professeur Le Bot a publiée dans "Etalonnages de la balance de poussée" (Dans Pop-pop Mag à l'époque).

Pour toute la suite des essais nous avons positionné la cible à environ 20mm de la tuyère.

### 3.5. Désalignement de la cible

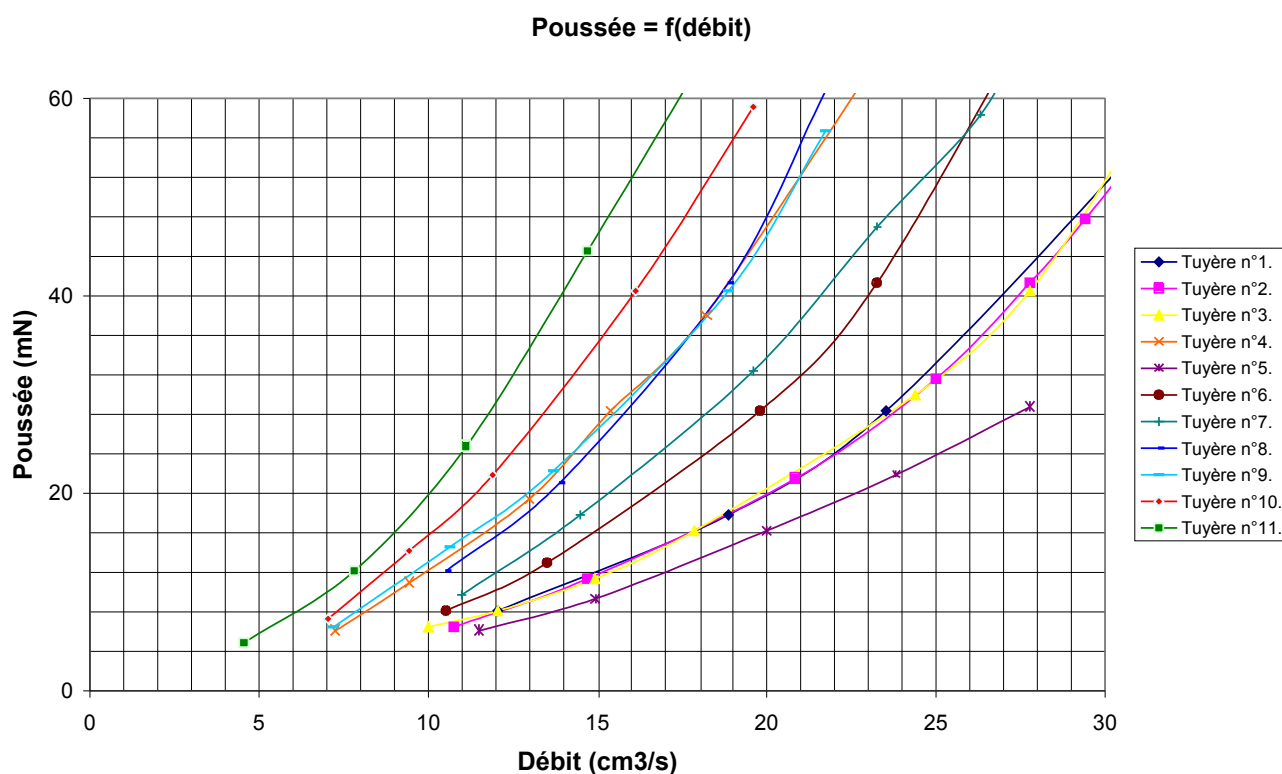
Compte tenu de la forme de la cible, un léger décalage radial (jusqu'à 6mm) n'a pas d'influence. Au-delà de 6mm, la poussée mesurée augmente (effet d'auget de turbine), passe par un maximum d'environ 130%, puis diminue très vite... le jet sortant de la cible.



Une telle courbe a été mesurée à différentes distances de la cible. Celle-ci est une de celles qui ont été mesurées à 20mm. (L'échelle des ordonnées correspond à celle du débit utilisé pour cet essai. Sa valeur absolue importe peu.)

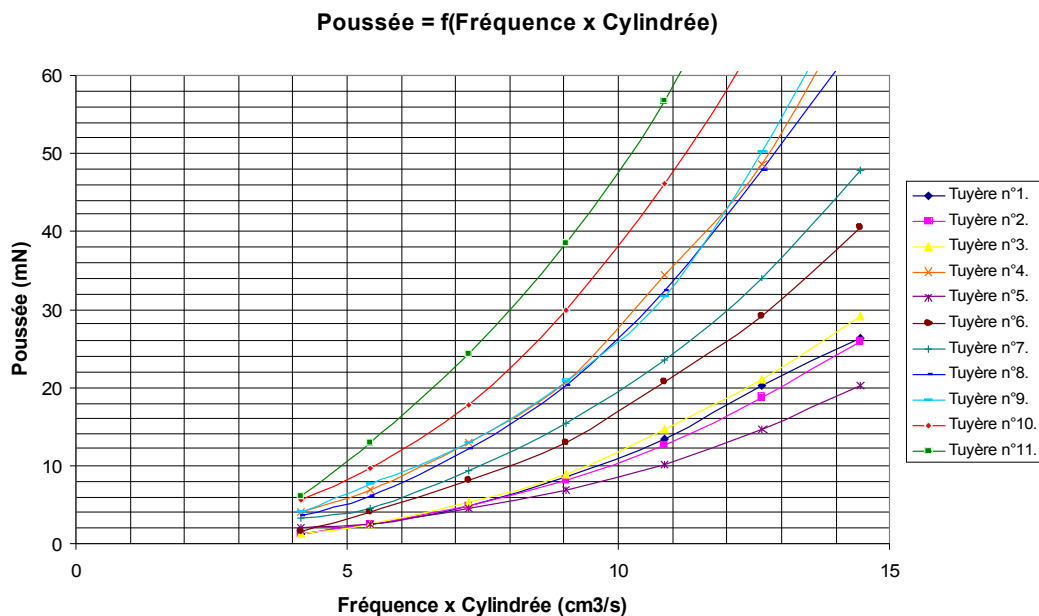
Pour toute la suite des essais, la cible a été centrée à +/- 2mm près.

### 4°) Mesures en débit continu.



L'étude de chacune des courbes a permis de vérifier qu'aux incertitudes de mesure près la poussée évoluait parfaitement comme le carré du débit.

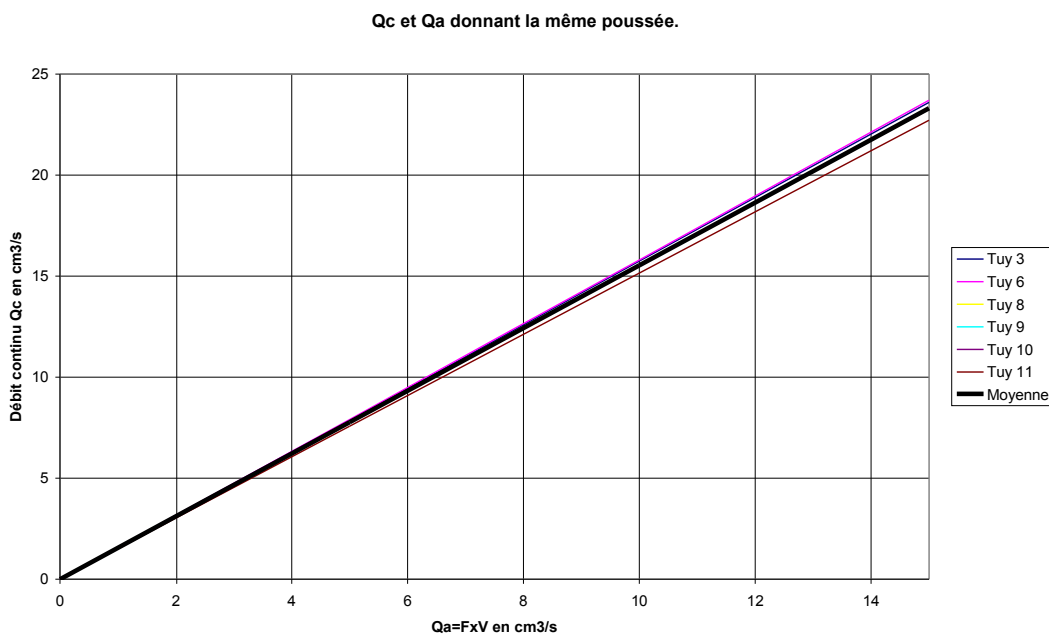
### 5°) Mesures en débit alternatif.



### 6°) Comparaisons.

Par analogie avec ce qui a été fait pour les débits (cf "Banc d'essai hydraulique") nous avons comparé le débit continu  $Q_c$  et le débit alternatif  $Q_a$  nécessaires (l'un ou l'autre) pour exercer une même poussée  $T$ .

Pour les 6 tuyères les plus représentatives de celles d'un moteur pop-pop (tuyères n° 3, 6, 8, 9, 10 et 11. Diamètres de 6 à 3mm.) le débit continu équivalent quant à la poussée au produit  $F \times V$  est en moyenne 1,55 fois plus élevé. Et le plus gros écart entre les moyennes de chacune des tuyères est 2,5% auquel il faut ajouter les incertitudes de mesure.



## 7°) Conclusions :

**1°) Si on définit le débit d'un hydrojet pulsé par le produit *Cylindrée x Fréquence*, son efficacité est supérieure à celle d'un hydrojet continu. Le rapport entre les deux est approximativement 1,5 quel que soit le diamètre de la tuyère.**

Nous avons mesuré et calculé avec plusieurs chiffres significatifs (NDLoïc : Hum ! Hum !...). Cependant, malgré les précautions prises, les mesures permettant d'arriver à cette conclusion ne sont pas des mesures de laboratoire. A ce stade, on peut comparer le résultat global du banc de débit (gain 1,48) et celui du banc de mesure de poussée (1,55). La réalité est probablement la même dans les deux cas. (NDLoïc : Pour sûr ! 1,48 et 1,55 sont, pour moi, ici parfaitement homogène, c'est déjà très bien comme résultat !!).

**2°) Cela ne faisait pas partie du but recherché, mais lors des essais nous avons eu confirmation de ce qui avait été remarqué avec le banc de mesure de débit. Pour un débit donné, l'efficacité d'un hydrojet continu ne dépend que du diamètre intérieur de la tuyère. Par contre, un hydrojet alternatif est plus performant quand la tuyère est mince et dégagée (afin de favoriser la relaxation et l'entraînement d'eau adjacente).**

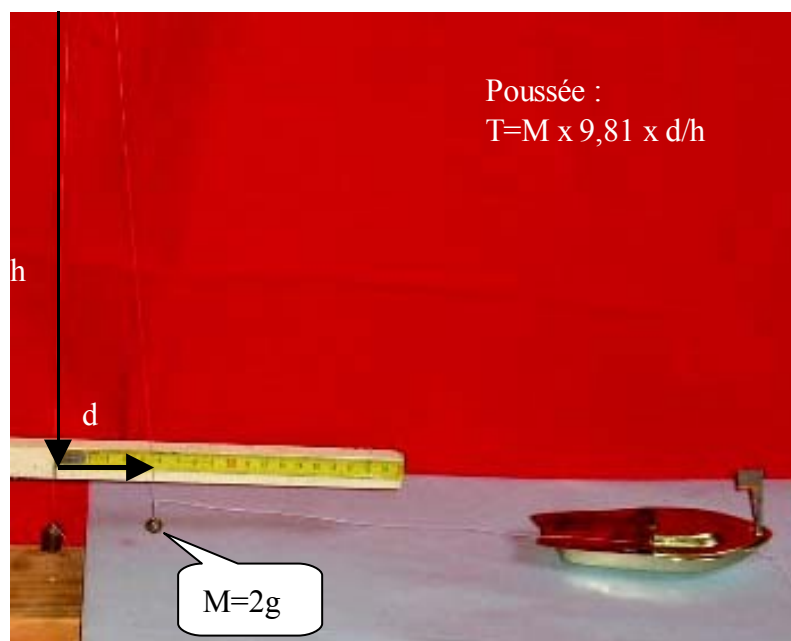
**3°) Maintenant nous disposons d'un (second, si on compte le banc de mesure de débit) outil qui permettra de tester des moteurs pop-pop. Le test concernera en premier lieu la mesure de poussée. En complément, l'indication de la balance nous permettra de connaître le produit "Cylindrée x Fréquence". Pour les moteurs à membrane il sera facile de connaître la fréquence et donc d'en déduire la cylindrée. Pour les moteurs à spires, et pour ceux qui ont un ballon sans membrane il reste à trouver un moyen (simple) de faire la même chose. Merci d'avance pour vos suggestions.**

## Annexe 1.

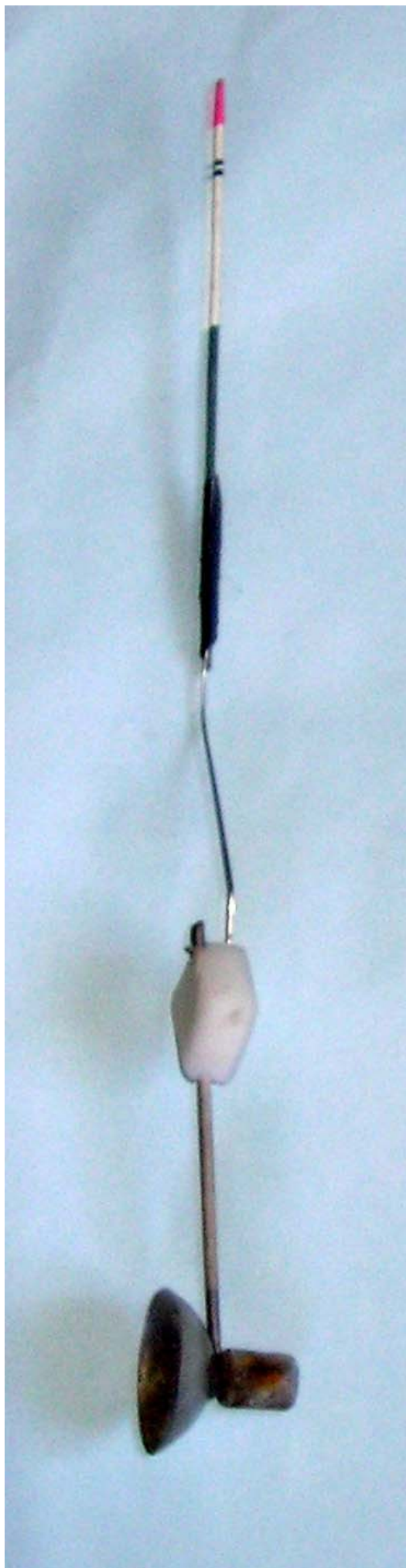
La balance de poussée photographiée ci-contre avait bien des qualités : précision, fidélité, sensibilité, graduations en mN, traction parfaitement horizontale..., mais elle avait une grande inertie et de ce fait s'est révélée inadaptée à la mesure de poussée d'un bateau pop-pop en raison des fluctuations erratiques de ce type de moteur.

A titre indicatif, après avoir été écartée de 25° de sa position d'équilibre elle oscillait pendant près d'une heure.

Pour ceux que l'aventurerait, nous avons mis quelques renseignements sur la photo.



Par la suite, nous sommes revenus à un simple équilibre de forces et à un petit calcul. Deux bouts de fils, deux masses dont l'une connue, (l'autre servant au fil à plomb de référence) et une règle graduée suffisent. Difficile de concevoir plus simple et plus fiable. Cependant, les forces mises en jeu sont tellement faibles que malgré une petite masse il faut un fil long. Et malheureusement on retrouve des problèmes d'instabilité.



## Annexe 2.

### Balance de poussée.

L'équipage mobile photographié ci-contre est constitué en partant du haut d :

- Une plume de bouchon de pêche à la ligne
- Une corde à piano inox de diamètre 10/10
- Un losange en téflon servant de pièce de liaison et d'articulation
- Un fil inox de 2,5mm aplati et percé dans le bas
- Une coupelle en alliage léger destinée à recevoir le flux de la tuyère
- Une masse en plomb de 15g
- Un boulon M2 d'assemblage en laiton
- Des rondelles isolantes (pour éviter la corrosion électrolytique) (DNLoïc : Wahou !... Quelle précaution !)

En l'absence de poussée, la coupelle est orientée vers le haut de près de 10 degrés. Cette légère inclinaison est sans incidence sur la mesure et permet une plus grande plage d'utilisation (linéaire) de cet instrument de mesure.

La partie mobile de la balance se comporte comme un pendule de longueur 75 et de masse 16,9g.

$$\text{Couple} = T \times 75$$

L'extrémité de l'aiguille se déplace d'une longueur 1. Le couple de rappel est

$$\text{Couple} = 16,9 \times 9,81 \times 1 \times 75/205$$

Donc la relation entre déplacement et poussée est  $T = 0,81 \times l$  en mN.

Une vérification a été effectuée en plaçant le centre de la coupelle en appui sur un pèse-lettre et en supportant le reste par son axe disposé horizontalement et approximativement au même niveau que la coupelle. La "mesure" obtenue est OK à 5% d'erreur près.

