

## Performances d'un moteur à spires

Les performances d'un moteur à spires dépendent de nombreux paramètres (matériaux, diamètres interne et externe du tube, diamètre des spires, nombre de spires, longueur des tuyaux, courbure et/ou inclinaison des tuyaux, température de l'eau, puissance de chauffe...). Ces paramètres sont si nombreux que pour commencer on a décidé de les standardiser pour la plupart et de construire des moteurs aussi simples que possible. On a fait une erreur en utilisant des tubes horizontaux. Aujourd'hui cela nous est "évident", mais c'était notre première approche des moteurs à spires.



Les trois moteurs du haut de la photo ont des diamètres de bobine plus gros que les autres.

Celui du bas est en théorie identique à celui du milieu, mais il en a été construit un autre quand on a découvert un problème décrit plus loin.

Pour des essais exhaustifs on a construit des moteurs avec tuyaux opposés. Evidemment, c'est seulement dans le but de faire des essais. Ce ne serait pas réaliste sur un bateau.

Le moteur de droite est plus court que les autres, mais il a été connecté au banc d'essai avec une tuyère plus longue pour compenser.

Pour construire ces moteurs on a utilisé du tuyau de cuivre de 6x1. Pour le recuire, on l'a chauffé au rouge sombre ou un peu plus (rouge cerise), puis on l'a laissé refroidir lentement. Ensuite, on a utilisé une pièce de métal cylindrique pour enrouler le tuyau autour. Vous pouvez voir comment procéder sur divers sites Web.

### Moteurs qui ont été testés en premier:

Diamètre extérieur du tube	Diamètre intérieur du tube	Diamètre intérieur de bobine	Nombre de spires	Longueur (développée) du tuyau
6mm	4mm	12mm	2	200mm
6mm	4mm	12mm	2.5	200mm
6mm	4mm	12mm	3	200mm
6mm	4mm	12mm	3.5	200mm
6mm	4mm	12mm	4	200mm
6mm	4mm	12mm	4.5	200mm
6mm	4mm	12mm	6	200mm
6mm	4mm	12mm	7	200mm
6mm	4mm	21mm	2.5	200mm
6mm	4mm	21mm	3.5	200mm
6mm	4mm	21mm	4.5	200mm

## Banc d'essai :

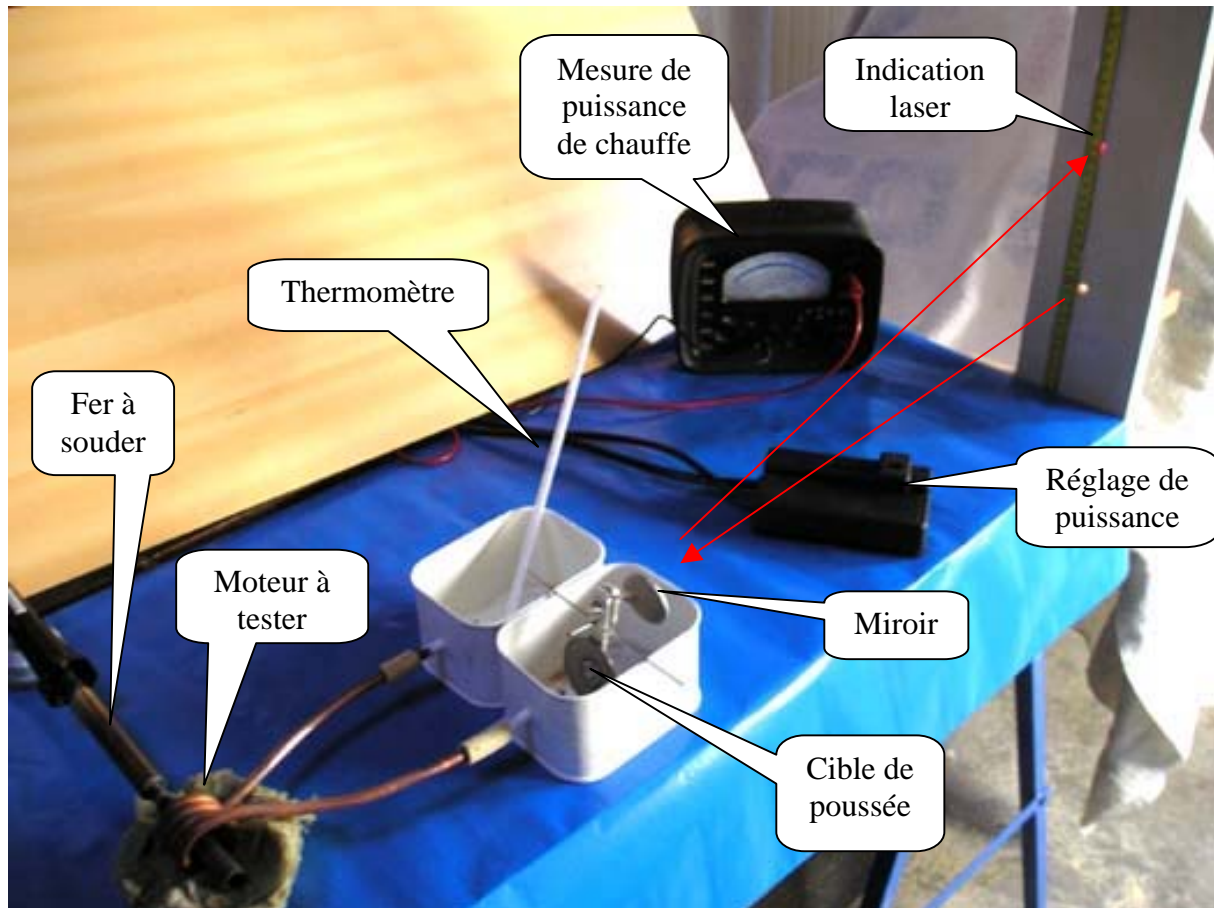
Tous les moteurs ont été testés sur le même banc d'essai.

Une des extrémités du tube connectée à un réservoir muni d'un mesureur de poussée.

L'autre connectée à un réservoir identique (mais sans instrument).

Source de chaleur : un fer à souder avec réglage de puissance. L'utilisation d'un chauffage électrique a permis de régler la puissance transmise à la bobine, mais pas de savoir comment elle se répartissait entre les différentes spires.

Système de mesure de poussée : cible et miroir solidaires d'un axe horizontal. Un rayon laser est dévié par le miroir. La déviation est mesurée et la poussée correspondante est calculée.



L'émetteur laser est situé derrière la planche verticale blanche. Le faisceau passe au travers d'un trou dans la planche. Un matelas de laine de roche est visible sous la bobine. Pendant l'essai un autre matelas était placé au-dessus pour limiter les pertes de chaleur.

## Ce qu'on a observé :

- Le démarrage se produit longtemps après que la température atteint 100°C.
- Un burnout (arrêt du jet pulsé) peut se produire. Il est rare par rapport aux autres types de moteurs (ballon ou membrane), mais il arrive.
- La température de l'eau du réservoir n'influence visiblement ni la fréquence ni la poussée (entre 20°C et 40°C)
- Les deux extrémités ne travaillent pas toujours de la même façon.
- Plusieurs phénomènes pulsatoires sont superposés.
- La poussée est plus grande quand les tuyaux sont au-dessus de la bobine.
- Quand la bobine est verticale, la poussée est quasiment nulle sur le tuyau du bas.
- Avec le même moteur et apparemment les mêmes conditions la poussée peut varier de un à cinq, voire davantage.

## Commentaires:

### Retard au démarrage

La partie chauffée faisait par exemple 40 grammes de cuivre et 5 grammes d'eau. Pour atteindre 100°C avec une source de 100W il aurait dû suffire d'environ une minute (incluant le temps de chauffe du fer à souder). A chaque fois, cela a pris environ 6 minutes.

### Burnout

Rare par rapport aux autres types de moteurs, mais en testant le moteur à ses limites nous en avons eu quand même beaucoup. A chaque fois, toute la bobine était en surchauffe. Sans rien toucher, on refroidissait le moteur en laissant tomber des gouttes d'eau sur la bobine avec une petite éponge et le moteur repartait tout seul. (On a fait les mêmes observations avec des moteurs à ballon et à membrane). Cela démontre que le burnout – au moins dans ce cas – n'est pas dû à une entrée d'air.

Nota : Le burnout est plus improbable sur un bateau en raison de ses mouvements.

### Température

Sans aucune autre modification, des cubes de glace ont été ajoutés et la même quantité d'eau a été retirée. La température est descendue rapidement de 40°C à 22°C sans changement visible sur la fréquence ou la poussée. Cet essai a été répété trois fois pour confirmation.

### Dissymétrie

Quelquefois, l'extrémité d'un tuyau travaillait comme prévu tandis que rien n'était visible à l'autre extrémité. Un tel phénomène peut exister sur un bateau sans qu'on s'en rende compte. Tel que le banc d'essai a été conçu c'était facile à voir. Une explication plus détaillée est donnée dans « Hydrojet pulsé ou pompe ? ».

Les mouvements de l'eau et la poussée ne sont pas les seules différences visibles. Plusieurs observations sont associées à cette dissymétrie:

- ❖ Le moteur pompe lentement dans un des bacs et remplit l'autre. On a obtenu jusqu'à 14mm de différence de niveau. Et le débit maximum a été environ 5cm<sup>3</sup> par minute. Très souvent on a obtenu une différence finale de niveau de 8 à 10 millimètres. Cela s'est produit quelquefois alors que le moteur pulsait, et d'autres fois sans pulsations.
- ❖ Par réfraction dans l'eau, on pouvait voir que de l'eau très chaude sortait par un des tuyaux quand le moteur ne pulsait pas.
- ❖ Le tuyau du côté aspiration était froid.
- ❖ A l'issue d'un essai de plusieurs heures le bac d'essai du côté qui marchait normalement était plus chaud que l'autre. Ex: 39°C d'un côté et 28°C de l'autre avec une température initiale de 20°C des deux côtés.

### Phénomène pulsatoire

La fréquence de fonctionnement d'un moteur dépend de ses dimensions. On l'a démontré avec des moteurs à membrane et des moteurs à ballon rigide. Lors des essais des moteurs à spires nous n'avions pas d'outil précis pour mesurer la fréquence. On fera cela plus tard. Néanmoins, on a observé jusqu'à quatre phénomènes différents sur le même moteur. A un moment donné on pouvait en observer deux ou trois. Il pouvait y en avoir quatre (ou même plus) mais on a fait seulement une observation visuelle... Exemple avec un moteur à 6 spires :

- ❖ Fréquence haute: environ 7 Hz.

- ❖ Seconde fréquence: environ 3 Hz. Plus tard, on a compris qu'il s'agissait de la fréquence propre de l'appareil de mesure. Ce n'est peut-être pas une fréquence du moteur.
- ❖ Troisième fréquence: environ 0.8 Hz.
- ❖ Quatrième fréquence: Celle-ci a été observée pendant le démarrage du moteur quand la poussée était encore faible. Il y avait un sursaut d'énergie toutes les 8 secondes.
- ❖ Cinquième fréquence: Quand le moteur délivre une grosse puissance il s'arrête de pulser pendant 5 secondes toutes les 50 à 60 secondes. En raison de l'agitation de l'eau et de la fréquence propre du pendule de mesure on ne peut pas garantir que la poussée était nulle, mais elle était inférieure à 5% de la poussée moyenne.
- ❖ Bouffées de puissance (chasse vapeur) sans périodicité établie. Une chasse de vapeur se produit probablement comme pour les autres moteurs quand une goutte d'eau rencontre une paroi très surchauffée.

### Position de la bobine

L'utilisation de tuyaux horizontaux était une erreur. Inutile de commenter le résultat.

### Orientation de la bobine

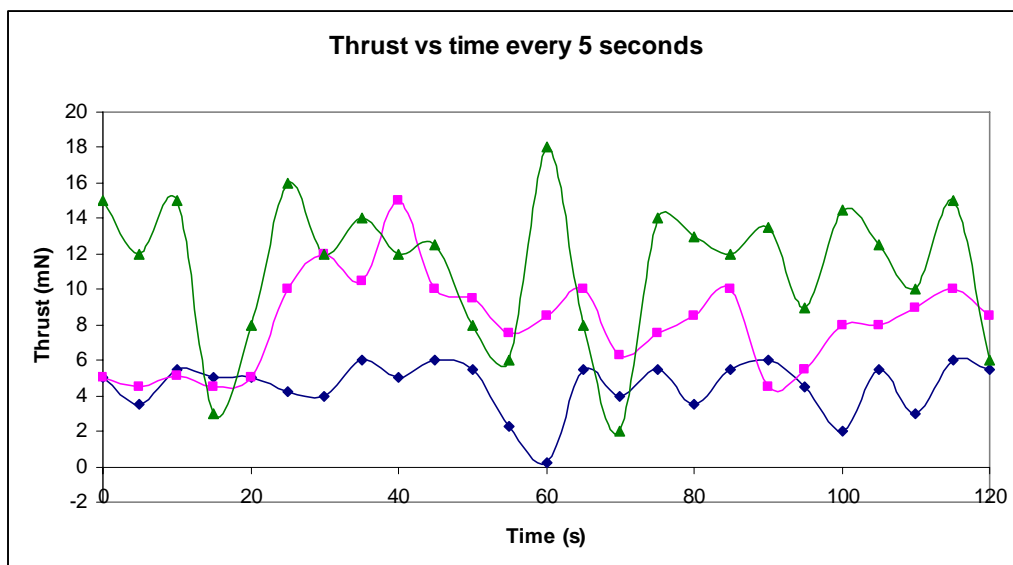
Notre observation a été confirmée par Guus qui est arrivé à la même conclusion.

### Fluctuations de poussée

Comme pour les autres moteurs, la poussée fluctue. Ce qui est frustrant, c'est le fait que la poussée moyenne peut être très différente lors de deux essais consécutifs réalisés dans des conditions similaires. Avec une chauffe modérée on a réussi à obtenir un accroissement très lent de la poussée moyenne pendant environ une heure avant stabilisation.

On a de nombreux enregistrements (manuels) de la poussée en fonction du temps pour une puissance de chauffe donnée, mais quelquefois une spire était surchauffée, quelquefois deux, trois..., quelquefois il s'agissait de spires centrales, quelquefois de celles des extrémités. Et en raison de l'utilisation de calorifuge tout autour de la bobine on ne pouvait pas le vérifier en cours de fonctionnement.

Ci-dessous on donne un graphique montrant comment les variations instantanées de poussée peuvent changer. Et ce résultat est amorti par le pendule de mesure dont la constante de temps est 0,3 seconde. La réalité est pire, l'essentiel des impulsions étant produit à 7 hertz n'est pas visible ici.



La meilleure poussée moyenne mesurée avec des tuyaux horizontaux a été 9mN avec des pointes à 13,5mN. La disposition horizontale des tuyaux est probablement responsable de certaines de nos difficultés à obtenir une bonne interface liquide vapeur de chaque côté.



Plus tard, avec le moteur visible sur la photo on a mesuré une poussée de 12mN (sur chaque tuyau) avec des pointes à 18 pendant une demi-seconde. Et cette fois, le résultat était reproductible. Un petit enregistrement de ce moteur est donné ci-dessus par la courbe verte. Pour plus de détails voir le document « Essai d'un moteur à spires ».