

Poussée d'un moteur pop-pop en fonction du temps

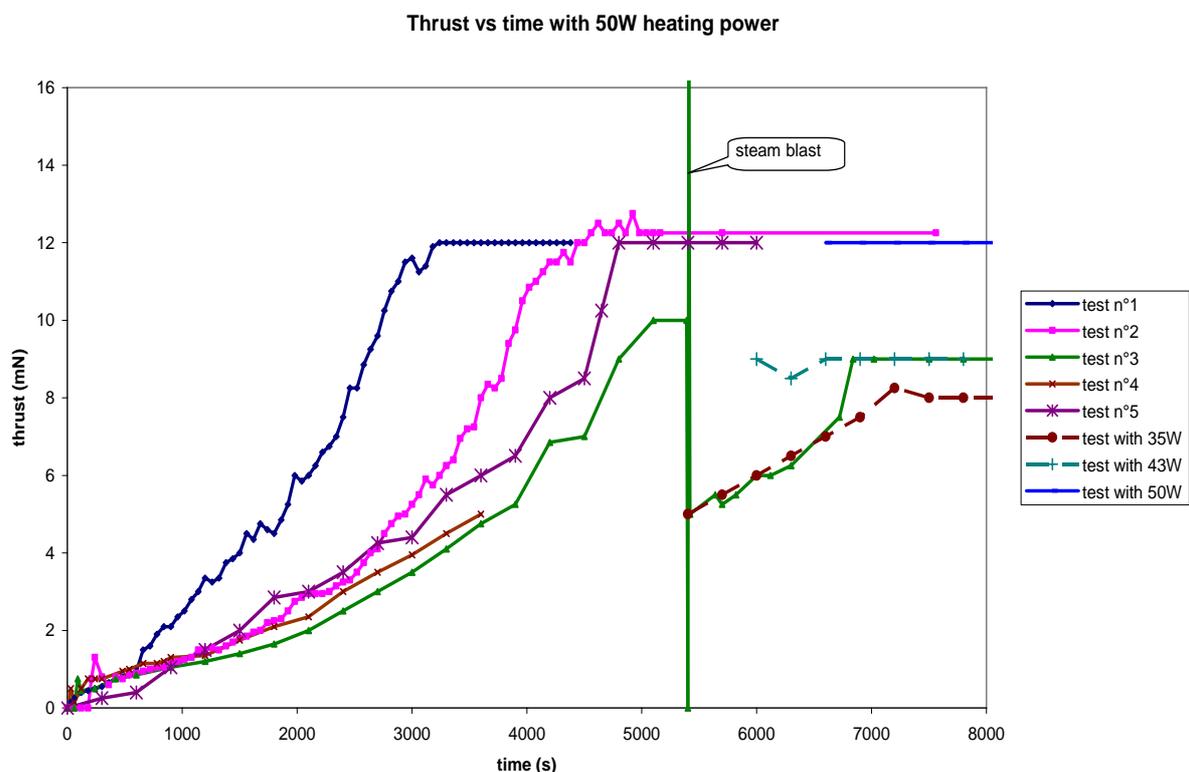
Par Jean-Yves

Grâce à l'emploi d'un chauffage électrique sur le banc d'essai, on a découvert que la poussée pouvait augmenter considérablement en fonction du temps (voir "Coil engine performances").

D'abord nous avons tâtonné pour trouver la puissance de chauffage donnant la meilleure poussée finale. Cela a pris du temps, mais la conclusion est que pour ce moteur la puissance optimale de chauffage est 50W (y compris les pertes calorifiques). En dessous de 50W la puissance restituée est plus faible. Au dessus de 50W il y a burnout dans les minutes qui suivent. Avec 50W la poussée finale peut atteindre 12mN à chacune des deux extrémités de tuyaux. (Nous avons effectué des mesures sur une seule des extrémités.)

Ensuite, plusieurs essais ont été réalisés avec 50W. Si on avait utilisé une bougie la durée de chaque essai aurait été très courte et on aurait conclu que la poussée était de l'ordre de 1mN. En fait, elle peut être nettement plus forte pour ceux qui savent attendre.

Le graphique suivant montre la poussée mesurée en fonction du temps lors de divers essais sur le même moteur, et avec la même puissance de chauffe + le résultat final d'autres essais avec une puissance moindre.



Ce qui nous a chagriné de prime abord, c'est le fait que les résultats (pente des courbes) sont différents alors que les conditions initiales étaient les mêmes : même moteur, même puissance de chauffe, même température.

Cependant, il peut y avoir une explication liée à la réutilisation de la même eau dont les caractéristiques ont pu changer (dégazage et disparition du chlore).

Test n°1 réalisé le 29 sept 2006 avec de l'eau qui sortait juste du robinet.

Test n°2 réalisé le 1er oct 2006

Tests n°3 et n°4 réalisés le 2 oct 2006

Test n°5 et suivants réalisés le 3 oct 2006

Commentaires :

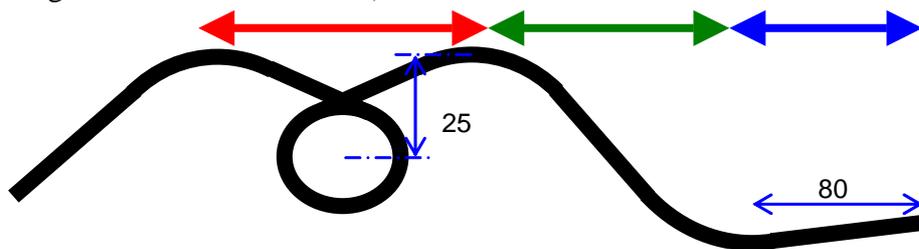
Pour une raison inconnue il y a eu une violente chasse de vapeur lors du troisième essai. Ensuite, le moteur est reparti de lui-même mais n'a pas pu atteindre la poussée de 12mN. Nous n'avons pas d'explication certaine. Nous n'avons pas noté, mais il est possible que pour permettre au moteur de redémarrer on ait réduit la puissance et qu'on ait oublié de revenir à 50W. Les autres courbes sont cohérentes (dans la mesure où l'on tient compte du dégazage).

Chaque point du graphique est la moyenne estimée visuellement de la poussée mesurée pendant les 15 secondes précédentes. Quelquefois il y a eu de grosses variations de poussée à basse fréquence et les erreurs peuvent être de l'ordre de 10%, voire un peu plus. On le sait, mais les points sont ceux qui ont été notés aussi objectivement que possible.

Le chronomètre était démarré à la première impulsion visible, mais quelquefois le moteur mettait plusieurs minutes à réellement démarrer. Aussi, le zéro des courbes peut être décalé en + ou en - jusqu'à 300 secondes.

L'essai n°4 a été volontairement stoppé pour mesurer la quantité de gaz dans le moteur. Sans cela, tout laisse supposer qu'il aurait été comparable aux essais n°5 et n°3 jusqu'à 10mN.

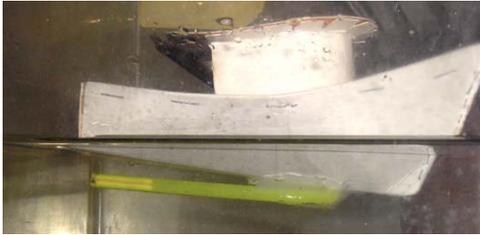
A la fin de chaque essai quelques gouttes d'eau ont été déposées sur le tuyau pour savoir où il était surchauffé. A chaque fois, la zone délimitée par la flèche rouge sur le schéma ci-dessous était surchauffée. La bobine était très surchauffée et la température allait en décroissant le long du tuyau pour atteindre 100°C au sommet des coudes (là où les flèches rouge et verte se rencontrent).



Nota : Afin d'avoir le même débit aux deux extrémités, ce moteur a deux tuyaux opposés. Cette symétrie est pour le banc d'essai seulement.

Lors des essais n°1, 2, 3, 5 et suivants on a observé que des bulles de gaz s'échappaient à l'extrémité des tuyaux. A la fin du troisième essai on a attendu le refroidissement et ensuite on a mesuré la quantité de gaz dans le moteur. 1,8cm³. On a stoppé le quatrième essai plus tôt pour faire le même type de mesure. On a trouvé 1,0cm³. A la fin de l'essai n°5 on a eu 1,2cm³ mais la réalité était un peu supérieure (quelques bulles se sont visiblement échappées). Plus tard, lors d'un autre essai on a mesuré 1,7cm³, ce qui est cohérent avec la première mesure.

A ce stade, on a repensé à la procédure utilisée par Slater pour son moteur à membrane performant. « Mettre un peu d'eau dedans, secouer le moteur, vider l'eau et remplir seulement les tuyaux. Ainsi vous aurez les meilleures performances. » (Je ne me souviens plus des termes exacts et c'était en anglais, mais la signification est celle-là.) Oui Slater. Tu as raison ! Et pour permettre aux bulles de gaz en trop de s'échapper sans casser le serpent d'eau (dont l'inertie est nécessaire aux vibrations) l'extrémité du tuyau doit remonter légèrement. C'est le cas sur le bateau de Slater. Naomi m'a dit qu'il y avait eu 300 prototypes dans la maison... Le résultat est là.



Ceci est une photo d'un des bateaux e Slater prise à travers la vitre d'un aquarium. Grâce à l'avant effilé du bateau les tuyaux sont inclinés vers le haut.

Nos ancêtres peuvent avoir deviné cela car quelques vieux bateaux pop-pop ont un tuyau qui remonte. (Le Racer et le Battleship de Sutcliffe par exemple).

Quantité d'air (en supposant que c'est de l'air) :

On a remarqué en de nombreuses occasions que lorsque la poussée finale était atteinte il s'échappait des petites bulles. Le moteur (de même que tous les autres moteurs pop-pop que nous avons testés) ne marchait pas régulièrement. En gros, toutes les 40 à 60 secondes il s'arrêtait pendant 5 secondes. A ce moment là, on voyait quelquefois des petites bulles s'échapper. Et quand le moteur redémarrait quelques petites bulles s'échappaient

Le volume délimité par la flèche rouge (4 spires et deux bouts de tuyaux) est en théorie de $3,85\text{cm}^3$. Le volume rouge+vert est théoriquement de $4,85\text{cm}^3$ Ce volume est très vraisemblablement celui qu'occupe le gaz au point mort haut.

A la fin de l'essai n°3, le volume de gaz était $1,8\text{cm}^3$ à 20°C , grossièrement confirmé par un autre essai avec $1,7\text{cm}^3$ mesuré. A plus de 100°C cela veut dire plus de $2,3\text{cm}^3$.

En conséquence, dans les conditions les meilleures il y avait au moins 50% d'air dans le moteur.

Course du serpent liquide (ou du piston liquide)

Connaissant la poussée (12mN) et le diamètre de tuyère (4mm) on a calculé que le produit FréquencexCylindrée était $7\text{cm}^3/\text{s}$. Pour cela on a utilisé les résultats obtenus lors de l'étude du "Banc d'essais de moteur pop-pop" (voir ce document). Comme la fréquence était environ 8 Hertz cela a conduit à 70mm de course.

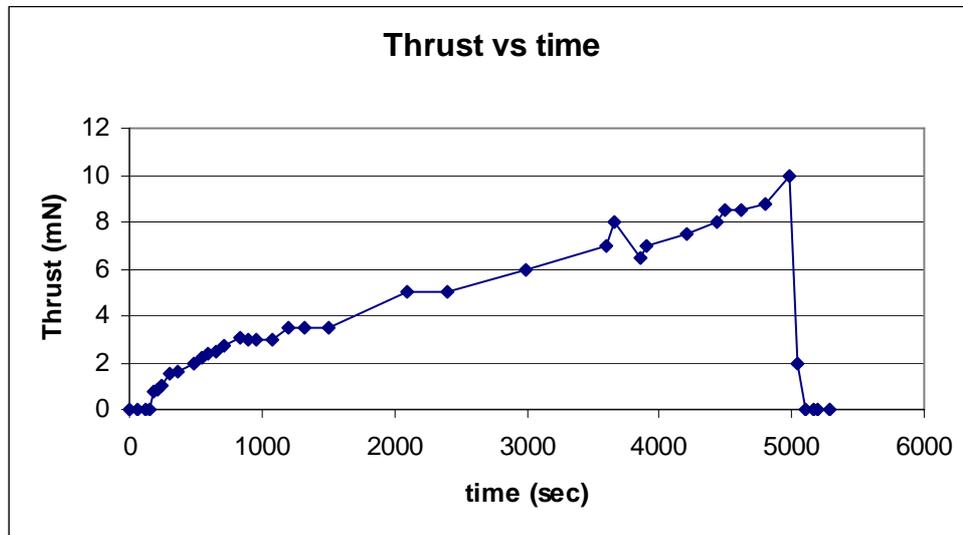
Conclusions:

- La poussée finale augmente avec la puissance de chauffe, mais cette dernière a des limites car trop de chaleur conduit au burnout. La précision des mesures était insuffisante pour permettre de définir la relation entre puissance de chauffe et poussée.
- La meilleure poussée s'obtient quand il y a de l'air dans le moteur.
- Cette quantité d'air semble dépendre de la puissance de chauffe (ou de la poussée).
- Un bon moyen de se débarrasser de l'air en excès est d'incliner légèrement les tuyaux de l'hydrojet.
- En supposant le mouvement sinusoïdal, sa course moyenne est approximativement 70mm pour 12mN.

On a essayé de mesurer le débit de gaz en fonction du temps, mais ce faisant on a perturbé l'équilibre du moteur. On a stoppé là. En fonction de la taille des bulles et de leur fréquence, une estimation grossière est de $5\text{cm}^3/\text{h}$.

Chaque essai s'il se passe bien dure plus d'une heure. Et comme 50W est la puissance limite, de nombreux essais on conduit au burnout ou à un effet de pompe. Par exemple, cinq tentatives ont avortées par burnout avant qu'on réussisse à démarrer le moteur pour le cinquième essai. Et il aurait pu y avoir encore des chasses de vapeur comme lors de l'essai n°3. Nous n'avons pas l'intention de passer davantage de temps sur ce sujet...à moins que quelqu'un découvre du nouveau ou quelque chose de faux.

En complément de ces essais nous avons essayé de voir si la longueur des tuyaux avait une influence sur la poussée maximale. On les allongés tous les deux de 90mm. Plusieurs essais avec 50W ont conduit à des burnouts. On a réussi avec 35W et obtenu grossièrement la même poussée maxi moyenne qu'avec les tuyaux courts (10mN)...mais malheureusement le moteur s'est arrêté par burnout.



Par comparaison avec les autres moteurs, celui-ci marchait plus régulièrement (pas de bouffées de puissance, pas de chasse vapeur) jusqu'à (3600s, 7mN).

Additif (octobre 2008) :

Tout ce qui précède date d'octobre 2006. Depuis, il a été fait des progrès dans la connaissance des moteurs pop-pop. D'une part on sait que ce n'est pas exactement de l'air qui se dégage dans le moteur. Voir "Gaz dans un moteur pop-pop". D'autre part, si 35W (au lieu de 50W) ont été suffisants pour un moteur rallongé, c'est parce que les 90mm de cuivre ajoutés ont été connectés à l'aide d'un petit bout de durite en caoutchouc. Rupture du pont thermique entre la source chaude (le chauffage électrique) et la source froide (le bac d'essai).