

Poussée d'un moteur pop-pop en fonction de la puissance de chauffe

Par Jean-Yves

On a observé précédemment que la poussée maximale nécessitait du temps pour être atteinte. (Voir « Performances d'un moteur à spires » et « Poussée d'un moteur pop-pop en fonction du temps ») Cette poussée maxi a été obtenue avec un mélange de gaz (autre que de la vapeur) et de vapeur dans le moteur. A cette occasion on a aussi remarqué que la poussée dépendait de la puissance de chauffe mais les mesures n'étaient pas assez précises pour définir la relation correspondante.

Sachant cela, on a construit un moteur tenant compte des éléments favorables connus à ce moment là :

- Bobine avec de nombreuses spires (7) pour un gros volume de gaz.
- Tuyaux relativement longs pour une bonne stabilité (de fréquence et de course).
- Tuyaux montants à la sortie de la bobine (pour augmenter le volume de gaz).
- Tuyaux coudés ensuite vers le bas, puis légèrement vers le haut pour aider au dégazage (de l'excès de gaz).

Le résultat est visible sur cette photo.



Nota : Le deuxième moteur au second plan est la moitié de celui qui est en essai. Il fera l'objet d'un autre essai et d'une autre publication.

On a chauffé la bobine avec un fer à souder (visible sur la photo) et on a ajusté la puissance avec un gradateur. Le reste du banc d'essai est décrit dans « Performances d'un moteur à spires ».

Pour gagner du temps on a introduit volontairement un peu d'air dans le moteur avant de chauffer. A notre surprise il a commencé à vibrer très vite avec des conditions stables (poussée moyenne constante) et a délivré une poussée plus forte que tout ce que nous avons vu auparavant avec des moteurs pop-pop.

On a maintenu constante la puissance de chauffe pendant 30 minutes. Ensuite on l'a diminuée légèrement et on a attendu la nouvelle poussée. 20 minutes plus tard on a à nouveau diminué légèrement la puissance de chauffe...etc...jusqu'à ce que le moteur s'arrête.

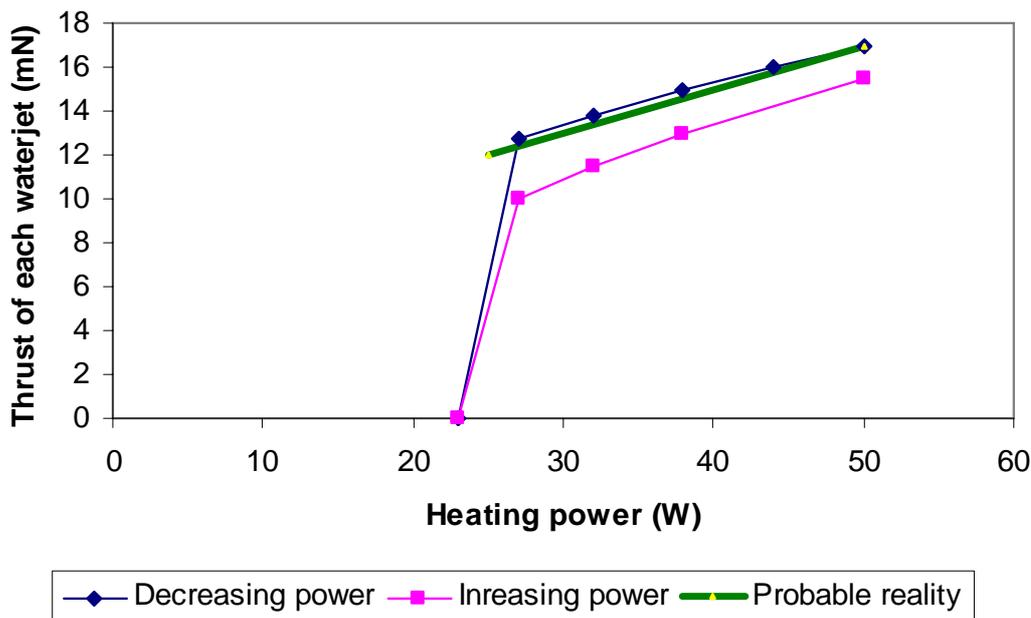
Nota 1: Il s'est arrêté par burnout. Malgré une puissance faible toute la bobine était surchauffée. On a réfrigéré le moteur en versant un peu d'eau sur la bobine. Puis on a augmenté la puissance pour que le moteur redémarre.

Nota 2: A part le burnout mentionné ci-dessus qui a été provoqué volontairement, nous avons eu le plaisir de n'en rencontrer aucun autre, ni de chasse vapeur, lors de cet essai qui dura plus de 4 heures.

Pour confirmer le résultat, on a augmenté la puissance par paliers successifs et à nouveau on a mesuré la poussée. Cependant, pour ne pas attendre pendant des heures et des heures cet essai a été réalisé plus rapidement et la poussée finale réelle aurait pu être légèrement supérieure à ce que nous avons mesuré.

Le graphique qui suit montre les résultats moyens. La courbe bleue correspond aux mesures faites lors de la diminution de puissance par paliers. La valeur supérieure (17mN pour 50W) est fiable. Elle a été vérifiée de nombreuses fois. La courbe violette représente les mesures obtenues lors de l'augmentation de puissance. La pseudo hystérésis entre ces deux courbes est due au fait que nous n'avons pas attendu pendant des heures à chaque palier la stabilisation ; surtout en montant. La vérité est nécessairement entre ces deux courbes, proche de la bleue, passant par (50W ; 17mN), et limitée quelque part entre 23 et 27W. On pense qu'elle est approximativement comme représentée par la courbe verte.

Final thrust vs heating power



Conclusion:

- En dessous d'une certaine puissance de chauffe il n'y a aucune poussée. (Pas de vibration)
- Au dessus de cette limite le moteur marche correctement dans une grande plage de puissance de chauffe.
- La poussée évolue approximativement linéairement avec la puissance de chauffe. ($T=T_0+kP$).

Nota : Ici, $T_0=12\text{mN}$ et $k=0,2$, mais évidemment T_0 et k dépendent du moteur.

Annexes :

Différents modes possibles :

Comme décrit dans les pages précédents au dessus d'une puissance minimum de chauffe le moteur marche correctement dans une grande plage de puissance de chauffe et la poussée évolue linéairement avec cette puissance. ($T=T_0+kP$). Cependant, ce n'est pas le seul mode de fonctionnement. Examinons plus en profondeur ce qui peut arriver en fonction de la puissance de chauffe.

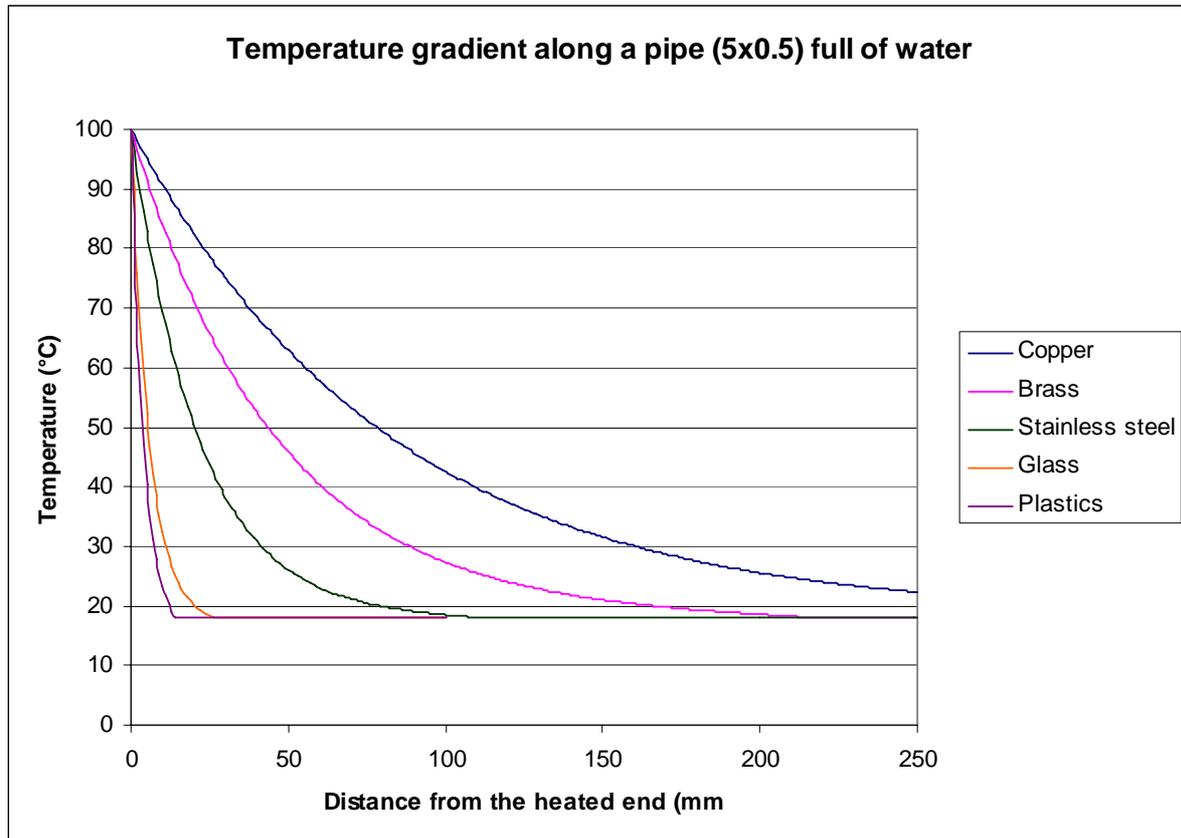
- 1) Si la puissance de chauffe est inférieure à la température de vaporisation à la pression du ballon (généralement très voisine de la pression atmosphérique) l'eau ne bouillera jamais.
- 2) Si la puissance de chauffe est juste un peu supérieure, l'eau se met à bouillir gentiment et la vapeur chasse lentement l'eau vers le bas (sans oscillations) jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint. L'interface eau vapeur se situe plus bas. A partir de cet endroit en suivant le tuyau vers le bas la température décroît plus ou moins rapidement en fonction du matériau utilisé (voir graphe donné en annexe).
- 3) Si la puissance de chauffe est un peu plus forte l'eau descend plus vite dans le tuyau et les oscillations commencent. (Situation "normale" espérée).
- 4) Si la puissance de chauffe est trop importante, la descente de l'eau est rapide et il se produit des chasses de vapeur. Ensuite, on peut rencontrer trois cas possibles.
 - 4.1) Soit burnout. Etat stable avec l'interface située beaucoup plus bas dans le tuyau. Rien de plus.
 - 4.2) Soit une petite entrée d'eau froide. Le moteur redémarre et rapidement il y a une nouvelle chasse de vapeur suivie par une nouvelle entrée d'eau froide, redémarrage, chasse vapeur... à intervalles réguliers.
 - 4.3) Soit une grosse entrée d'eau froide, un refroidissement du ballon et un délai important avant l'ébullition, redémarrage pendant peu de temps et à nouveau une chasse de vapeur...

La seconde solution (4.2 et seulement celle-là) est très intéressante car le moteur délivre une poussée moyenne importante. Plusieurs d'entre nous ont travaillé sur ce sujet. Jusqu'à présent on a observé le phénomène (voir par exemple <http://smg.photobucket.com/albums/v347/highstorrsprom/other/pop%20pop%20boat/?action=view¤t=moving.flv> où le moteur fonctionne à environ 5Hz avec en plus une chasse vapeur périodique toutes les 3 secondes) mais nous ne maîtrisons pas ce procédé.

In addition, with some coil engines we have observed 3 and even 4 different frequencies at a time with the same engine. It depends on the number of turns and on the heating power. But these running modes are not handled at all.

Gradient de température :

Le graphe "théorique" qui suit représente pour un tuyau de diamètre extérieur 5mm et d'épaisseur 0,5mm la température en fonction de la distance par rapport à l'interface eau vapeur.



Rappel : Ceci s'entend pour un moteur qui ne pulse pas. Quand il pulse l'eau augmente le transfert entre la source chaude et la source froide.