

Différents types de moteurs pop-pop

Par Jean-Yves

Le premier moteur de la famille fut breveté par Désiré Piot en 1891. Constitué d'un évaporateur et d'une canalisation unique, il était silencieux. Plus tard (1924), McHugh y ajouta une membrane dont le bruit fit la célébrité de ce petit moteur et lui donna son nom. Afin de faciliter le remplissage d'eau, la canalisation unique fut souvent depuis remplacée par deux canalisations parallèles. Puis, quelqu'un supprima le ballon. Toutefois, afin de garder un encombrement raisonnable et afin de chauffer un volume de tuyauterie suffisant pour assurer la fonction d'évaporateur une partie du tube fut enroulée à spires plus ou moins jointives. Le moteur à spires - le plus simple de tous - était né.

Quels sont les points communs et quelles sont les différences entre ces moteurs ? Il n'est pas question ici de discuter du diamètre et de la longueur des canalisations, ni de la présence et de la forme éventuelle de tuyères, mais seulement des principes.

A) Qu'est-ce qui différencie les moteurs ?

- Membrane ou pas
- Forme de l'évaporateur
- Dimensions de l'évaporateur
- Nombre de canalisations
- Matériaux

1) Membrane ou pas ?

Une membrane présente un intérêt auditif certain. C'est sa principale raison d'être.

Elle semble cependant également stabiliser le fonctionnement. On remarque en particulier qu'un moteur à membrane supporte une plus grande plage de puissance de chauffe qu'un moteur sans membrane.

Elle diminue la performance (rendement, poussée et fréquence). Ceci s'explique par l'énergie qu'elle prélève aux mauvais moments du cycle. Quand la membrane se gonfle elle réduit l'effet de l'augmentation de pression. Quand elle se creuse elle atténue celui de la diminution de pression.

2) Forme de l'évaporateur



Tout a été plus ou moins fait. Des spécialistes en chaudières ont fait des évaporateurs à tubes de fumée de belle facture (ex photo ci-contre) qui ont amélioré un peu le rendement (resté tout de même très médiocre). On a vu des évaporateurs quasiment sphériques, cylindriques, plats...

Avec les évaporateurs plats ou allongés on a vu des orientations différentes, depuis l'horizontale jusqu'à la verticale. On a vu des piquages principalement vers le bas, mais il y en a eu sur le dessus ou sur les côtés. Certains étaient quasiment verticaux. D'autres très inclinés.

Dans tous les cas on a vu des moteurs qui marchaient bien. Petite précision : On a vu marcher des moteurs avec toutes les formes possibles d'évaporateurs. Mais cela ne signifie pas que n'importe quel moteur marche. Il y a d'autres paramètres à adapter.

3) Dimensions de l'évaporateur

Sa surface chauffée et chauffante permet le transfert d'énergie vers l'intérieur.

Son volume influe sur la fréquence de résonance et par là même sur la poussée. Il faut distinguer l'évaporateur physique et l'évaporateur réel. Ce qui importe, c'est le volume moyen de gaz (vapeur d'eau en quasi-totalité). Ce gaz (qui est un ressort) donne de l'élasticité au résonateur dont le deuxième constituant principal (la masse) est l'eau à l'état liquide contenue dans les canalisations. En augmentant le volume de l'évaporateur on diminue la fréquence. En le diminuant, on atteint la limite lorsque le moteur n'est plus constitué que par les canalisations. C'est le cas du moteur à spires, mais on a aussi réalisé des moteurs droits. Un simple tube obturé à l'extrémité haute peut fonctionner en moteur pop-pop.

4) Nombre de canalisations

Les moteurs à plusieurs canalisations sont assez rares et nous n'en avons actuellement pas l'expérience pour en parler. Par contre, à bien des occasions nous avons fait des mesures sur des moteurs à deux canalisations. Une expérience de dissymétrie malencontreuse a été relatée dans "Pulsed waterjet or pump?". La dissymétrie - pourtant minime - a mis en évidence une baisse de poussée, et même parfois un refus de pulsation du moteur.

Du point de vue de la mécanique vibratoire, un moteur symétrique à deux canalisations présente un nœud en son axe ; c'est-à-dire qu'il se comporte exactement comme deux demi-moteurs. Lorsqu'il y a une membrane la réalisation pratique d'un demi-moteur n'est pas possible, mais dans les autres cas (ballon ou spires) elle est très facile. La photo ci-dessous représente au banc d'essai au premier plan un moteur classique à 7 spires et derrière lui un moteur à 3 spires et canalisation unique. Les poussées mesurées à l'extrémité des chacune des 3 canalisations ont été très voisines.

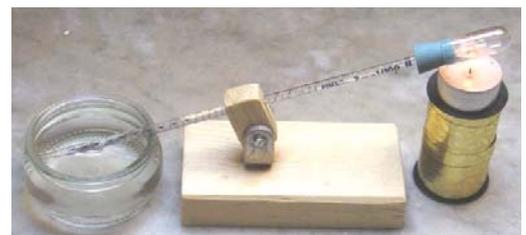


Nota :

- Le moteur à 7 spires est un moteur de banc d'essai. Il est bien évident que les poussées opposées s'annuleraient sur un bateau.
- Le remplissage du moteur à 3 spires nécessite l'utilisation d'un capillaire souple et d'une seringue.
- Le chauffage est ici réalisé électriquement afin d'en maîtriser la puissance. Lors des essais l'ensemble de la bobine est calorifugé.
- La puissance de chauffe utilisée sur le moteur à 3 spires était environ la moitié de celle du moteur à 7 spires (=> poussée identique à une des sortie du 7 spires qui lui avait le double de puissance de chauffe).

5) Matériaux

Chacun "défend" son moteur et nous ne prétendons pas détenir un secret ou une vérité. Force est de constater qu'il y a avec des matériaux très différents des moteurs qui marchent bien. Les extrêmes classiques sont d'un côté le moteur tout en cuivre et de l'autre le moteur en verre (exemple ci-contre). Entre les deux on trouve principalement le moteur en laiton, le moteur en acier, et les moteurs composites. Exemple : évaporateur en aluminium et canalisations en plastique.



B) Quels sont les points communs entre les moteurs pop-pop ?

- Ce sont tous des transducteurs d'énergie thermique en énergie mécanique.
- Ils nécessitent une source chaude et une source froide.
- Ils fonctionnent tous en régime diphasique (vapeur et liquide cohabitent).
- Ils oscillent à une fréquence qui est grossièrement fonction du volume moyen de gaz (vapeur d'eau et autres gaz, essentiellement N₂ et O₂) et de la masse moyenne de l'eau contenue dans les canalisations (la fréquence est un peu plus faible dans le cas d'un moteur à membrane mais cela s'explique facilement par la souplesse et l'hystérésis apportée par celle-ci).
- Ils propulsent le bateau selon le principe de l'hydrojet pulsé.

Nous avons pu observer ce qui se passait à l'intérieur de moteurs plus ou moins transparents construits dans ce but.

Dans les moteurs ayant un évaporateur massif en cuivre et une canalisation isolante (plastique), tout le cuivre est soumis à la source chaude ; tandis que la source froide est loin en aval de la canalisation. Résultat : l'évaporateur est entièrement surchauffé et l'interface (oscillante) vapeur/eau est située plus bas dans la canalisation.

Dans les moteurs à spires réalisés entièrement en matériau isolant (verre), l'interface se forme quelque part entre l'endroit chauffé et la source froide.

Dans les moteurs ayant d'une part un évaporateur plat, mince et pas très bon conducteur de la chaleur, et d'autre part des canalisations en cuivre, la source chaude est localisée à l'endroit où la flamme lèche le métal tandis que la source froide remonte jusqu'en haut des canalisations. Résultat : tout se passe dans l'évaporateur. La bulle de vapeur se forme au-dessus de la flamme et sa dimension varie à la fréquence du pop-pop. Toutefois, en apportant à ce type de moteur une énergie supérieure à l'habituelle nous avons fait fonctionner l'évaporateur "à sec" ; c'est-à-dire que l'interface restait dans les canalisations.

Avec des moteurs en verre remplis avec de l'alcool méthylique on a pu observer un bon fonctionnement avec une source chaude de seulement environ 65°C. A l'opposé, avec des moteurs entièrement en cuivre nous avons surchauffé l'évaporateur jusqu'à environ 800°C.

Quel que soit le moteur, il y a oscillation autour d'une position moyenne qui dépend principalement des dimensions, des matériaux, et de la puissance de chauffe.

Un moteur avec un gros évaporateur muni d'une toute petite membrane se comporte presque comme un moteur sans membrane. Signalons pour terminer que nous avons même installé une petite membrane sur un moteur à spires afin d'en mesurer la fréquence (voir photo ci-dessous).



L'autre moteur est un modèle de simplicité. Il est fait avec un bout de cuivre de 8x1 (la partie chauffée) prolongé par un tube de laiton de 6x0,5. Ce moteur a marché pendant des heures.

Conclusion : Il n'y a pas de frontière entre un type de moteur et un autre. Malgré les différences apparentes, que la vapeur soit très surchauffée ou non, tous ces moteurs sans exception sont régis par les mêmes lois de la physique et de la thermodynamique.