

## Où passe la puissance consommée par un moteur pop-pop ?

La bougie (ou tout autre moyen de chauffage) transfère de la chaleur à l'évaporateur et à l'air ambiant. Quand chaque jour les médias nous rebattent les oreilles avec les économies d'énergie on sent qu'il y a là aussi du gaspillage. En laboratoire, pour l'étude d'un moteur pop-pop on peut diminuer les pertes en employant un réchauffeur électrique et en utilisant un bon calorifugeage. Mais d'une part ce ne serait pas réaliste sur un bateau équipé d'une propulsion pop-pop ; et d'autre part nous allons voir que le gain à obtenir –si c'est possible– n'est pas à cette échelle.

Nous avons fait quelques mesures sur un banc d'essai. Le moteur utilisé était constitué d'un évaporateur en cuivre et d'une canalisation unique en laiton de diamètre interne 8mm.

1°) Chauffage de l'évaporateur à sec (c'est-à-dire le moteur ne contenant que de l'air). Le moteur était installé sur le banc d'essai comme s'il avait été plein d'eau. Le bas de la canalisation était immergé à la même profondeur que lors d'un fonctionnement normal. La même température dans le haut du moteur que quand il marche a été atteinte avec une puissance de chauffe de 14,5W.

Il a été constaté que seul l'évaporateur et le haut de la canalisation étaient chauds. Un rapide calcul a justifié cela. Les pertes par conduction vers l'eau du bac par la seule canalisation en laiton sont très faibles ( $\ll 1$ W). Dans la partie la plus chaude il y a surtout de la conduction et de la convection avec l'air ambiant.

2°) Moteur en fonctionnement normal optimisé. Pour obtenir ce fonctionnement la puissance de chauffe a été portée à 45W. Il a été intéressant de constater que le gradient de température le long de la canalisation était à peu près le même que lors du fonctionnement à sec. (Voir graphe en annexe). On peut donc considérer que la puissance « utile » transmise au moteur était  $45 - 14 - 5 = 30,5$ W. La fréquence et la poussée développées par le moteur ont été mesurées. Fréquence 3,2Hz. Poussée : 41,5mN.

Le mouvement du piston liquide étant à peu près sinusoïdal (nous l'avons vu dans d'autres occasions), cela nous a permis de calculer la course du piston liquide (180mm) et la puissance mécanique restituée : 0,032W. C'est très peu (hélas !), mais très en accord avec tout ce qui a été mesuré sur des dizaines de moteurs différents.

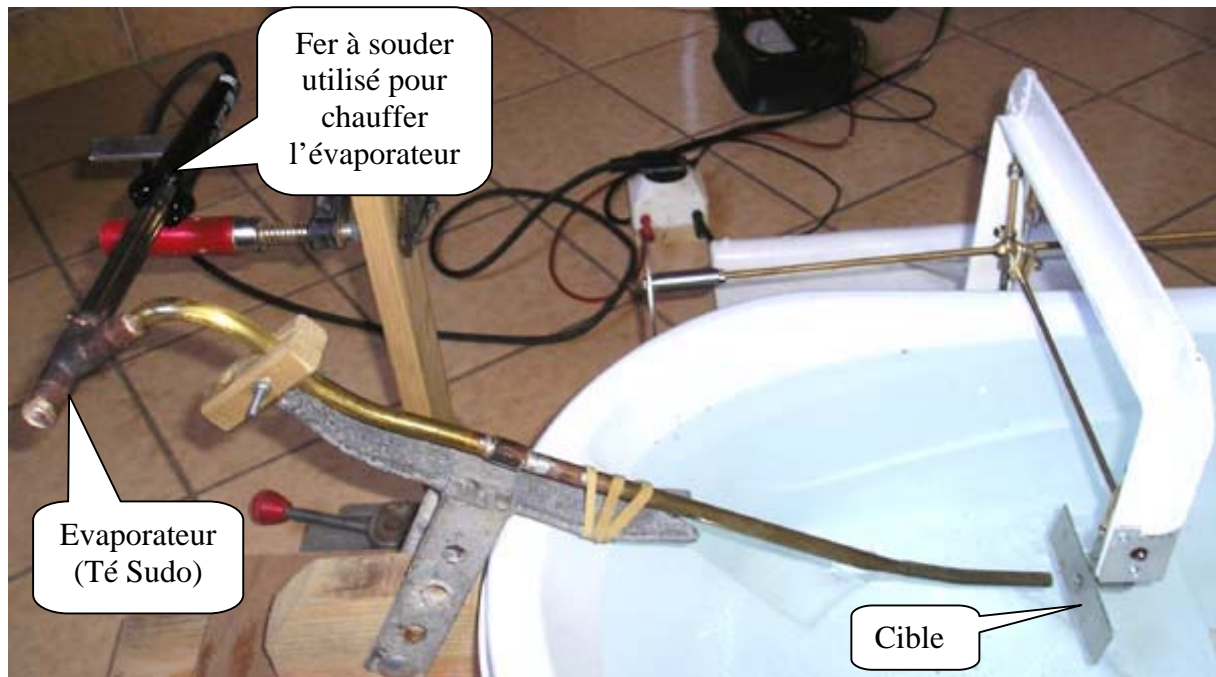
**Conclusion : Environ 1/3 de la puissance de chauffe passe dans l'air, et environ 2/3 passent dans l'eau. Seuls des fifrelins sont récupérés sous forme mécanique.**

Lorsque l'on utilise une bougie ou une lampe à alcool ces proportions peuvent être pires.

Dans cet exemple le rendement global est 0,07%. (Rappelons qu'il s'agit d'un relativement gros moteur à peu près optimisé. Pour un petit moteur *lambda* du commerce c'est pire.)

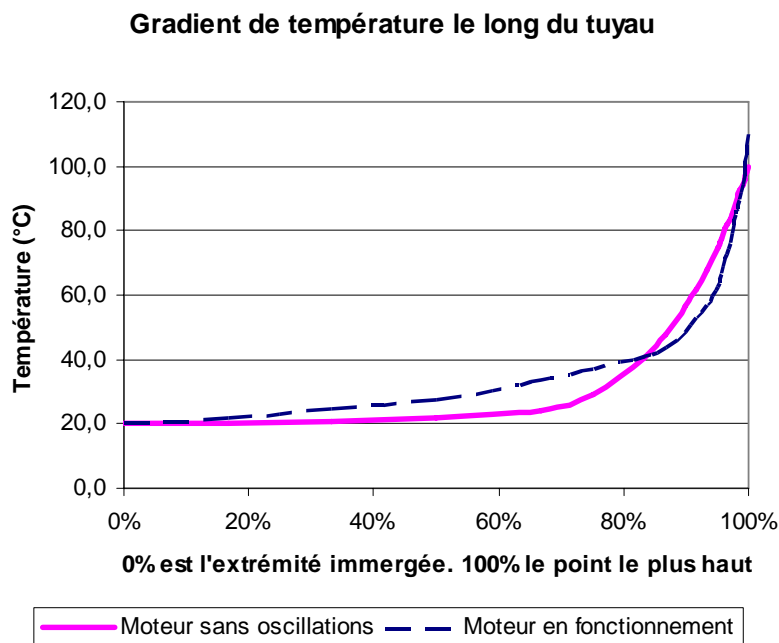
Une grande partie de la puissance passe bien dans l'eau du bac. Nous l'avons constaté à d'autres occasions en suivant l'élévation de température de l'eau du bac lors d'essais de longue durée avec une petite quantité d'eau. Pourquoi et comment cela se fait-il ? Si le moteur était plein d'eau immobile, on pourrait calculer la puissance transmise à l'aide des caractéristiques géométriques et de la conductivité thermique de l'eau (0,556W/m.K). Résultat infime : moins de 10mW. Mais l'eau est en mouvement. C'est un mouvement alternatif. A chaque période (dans notre exemple) il est renouvelé  $9 \text{ cm}^3$  d'eau. Et cela se produit 3,2 fois par seconde. Le débit moyen est donc  $29 \text{ cm}^3/\text{s}$ . A ce débit, il suffit que la température moyenne de l'eau qui sort soit seulement supérieure de  $0,25^\circ\text{C}$  à celle du bac pour transférer 30,5W.  $[30,5 / (4,18 \times 19)]$ . Cela explique pourquoi le bas des canalisations est toujours froid lors du fonctionnement normal d'un moteur pop-pop.

Vue partielle du banc d'essai. Pour une meilleure compréhension se reporter au document qui décrit le principe du banc d'essai : *Test bench for pop-pop engines*.



Le fer à souder est alimenté à travers un gradateur. Tension et courant sont mesurés pour déterminer la puissance.

Le graphe ci-dessous représente le gradient de température le long de la canalisation du moteur dans deux cas.



En trait interrompu bleu le gradient **mesuré** sur d'autres moteurs (un plus grand et un plus petit, les deux étant semblables) et légèrement corrigé pour le rapporter à la température de 20°C au niveau du bac.

En violet le gradient approximatif (résultat d'un **calcul** approché) obtenu lors du chauffage modéré du moteur sans oscillations.