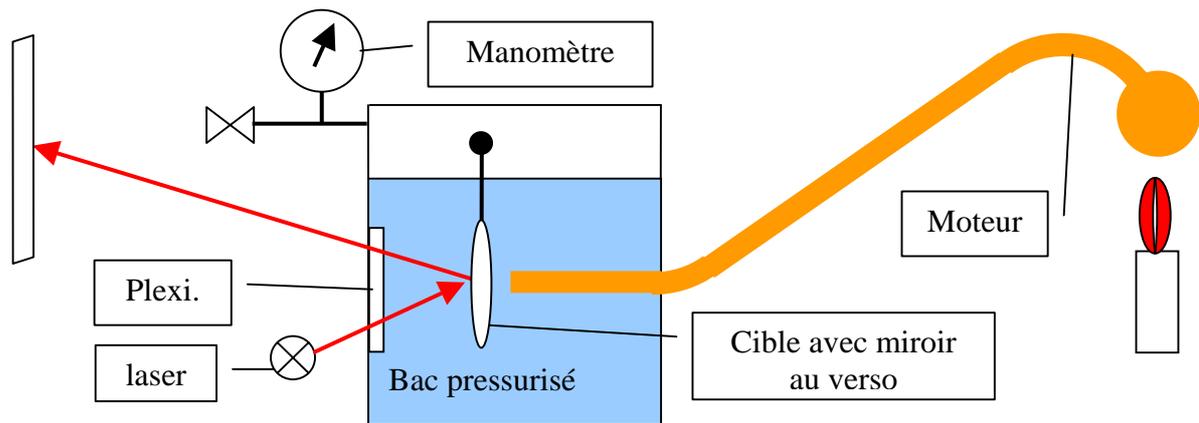


## Performances d'un moteur pop-pop "sous pression"

Par Jean-Yves

Avec des moteurs longs, en changeant la pente, on a déjà observé qu'il n'y a pas de différence visible de poussée quand le dénivelé, entre l'évaporateur et la surface de l'eau du bac, varie. Cependant, nos essais ont été limités à environ 1m (1 m quand même !). Cette hauteur n'est pas suffisante pour influencer substantiellement certains paramètres tels que la température d'ébullition. En mars 2006, avec Christophe nous avons envisagé de pressuriser le bac mais ne savions pas alors comment mesurer la poussée. Depuis, à l'aide de rayons laser j'ai développé plusieurs instruments de mesure. L'utilisation d'un rayon laser à travers une vitre pouvait être une façon de résoudre le problème. En conséquence, un nouveau banc d'essai a été construit selon le principe suivant.



Pendant que le moteur fonctionne, il est facile d'augmenter la pression à l'aide d'un compresseur connecté à la vane.

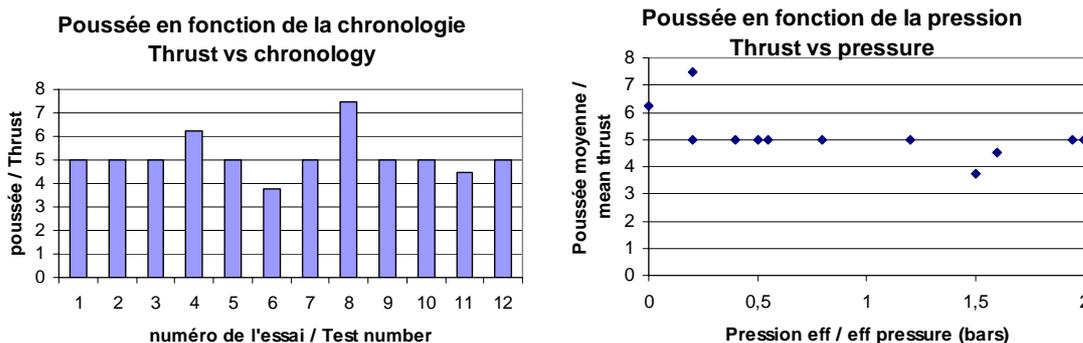
Nota: Evidemment, ceci ne s'applique pas aux moteurs à membranes car la pression interne empêcherait la membrane de bouger.

### Observations :

- Pendant la marche du moteur la pression a été augmentée. Le moteur s'est arrêté. Nous avons réduit la pression. Le moteur a redémarré.
- A n'importe quelle pression (jusqu'à 2 bars (29 psi)) nous avons chauffé l'évaporateur et le moteur a fonctionné (voir nota ci-dessous).
- La poussée instantanée est plus irrégulière ou hasardeuse, il n'est donc pas évident de mesurer la fréquence... Il semble cependant que la fréquence moyenne augmente avec la pression.
- En raison de la forme du moteur et des matériaux utilisés (acier inox pour le tuyau et cuivre pour l'évaporateur) la limite supérieure du serpent liquide était connue et on a pu vérifier que seul le cuivre était surchauffé (= clairement au-dessus de 100°C).
- La puissance de chauffe nécessaire augmente "peu" avec la pression. On a utilisé une chauffe électrique avec un petit morceau de laine de roche pour calorifuger le dessus de l'évaporateur. A la pression atmosphérique la puissance de chauffe (y compris les pertes) était d'environ 45W. A 3 bars (pression absolue) elle était environ 65W.
- Poussée moyenne : Voir les graphiques.

Nota : avant de fermer le bol j'ai fait marcher le moteur pendant environ une heure. La poussée a semblé normale pour un moteur de cette dimension. Je ne l'ai pas mesurée, mais selon les mouvements de l'eau je l'ai estimée grosso modo à 25mN. Pendant tous les essais avec bol fermé le moteur a fonctionné avec une poussée faible (environ 5mN). Une fois les essais terminés j'ai ouvert le bol et essayé de répéter l'essai initial. La poussée était toujours environ 5mN. J'ai alors introduit un peu d'air dans le moteur. Sa poussée a augmenté et au bout de 50 minutes elle s'est stabilisée à environ 32mN (ce que j'avais estimé 25mN auparavant). C'est la meilleure poussée moyenne que peut développer ce moteur. Cependant, quand le bol était fermé et pressurisé, je ne pouvais pas mettre d'air dans le moteur. C'est pourquoi la poussée n'a pas été optimisée.

Graphiques:



La pression a été mesurée avec une assez bonne précision (environ +/-0,1b). Pour la poussée, cela a été un peu plus difficile car je ne pouvais pas amortir l'équipage mobile (cible et miroir) faute de place dans le bol. Pour la précision je dirais +/-1,5mN.

Approche théorique/analyse :

La fréquence évolue comme la racine carrée de  $PS^2/MV$  (voir "Fréquence d'un pop-pop") avec  $P$  = pression interne,  $S$  = section du tuyau,  $M$  = masse du serpent d'eau, et  $V$  = volume de l'évaporateur. Pour un moteur donné, dans des conditions stables de fonctionnement le volume  $V$  de gaz (vapeur) et la masse d'eau (serpent liquide)  $M$  sont constants. En conséquence, la fréquence évolue comme la racine carrée de la pression absolue.

La poussée moyenne évolue comme le carré du produit  $LF$  dans lequel  $L$  est la course et  $F$  est la fréquence. Comme nous avons mesuré une poussée quasiment constante, cela signifie que la course est inversement proportionnelle à la fréquence (qui semble augmenter)

Etant donné que la puissance restituée évolue comme  $(LF)^3$  et du fait que  $LF$  est constant, la puissance est indépendante de la pression. Un autre facteur tend à le confirmer : la puissance de chauffe augmente peu avec la pression. En fait la puissance consommée augmente un peu (de 45W à 65W) mais la puissance utile n'augmente pas tant car la température de vaporisation à 3 bars (abs) est 120°C au lieu de 100°C à la pression atmosphérique, et les déperditions calorifiques évoluent avec la température.

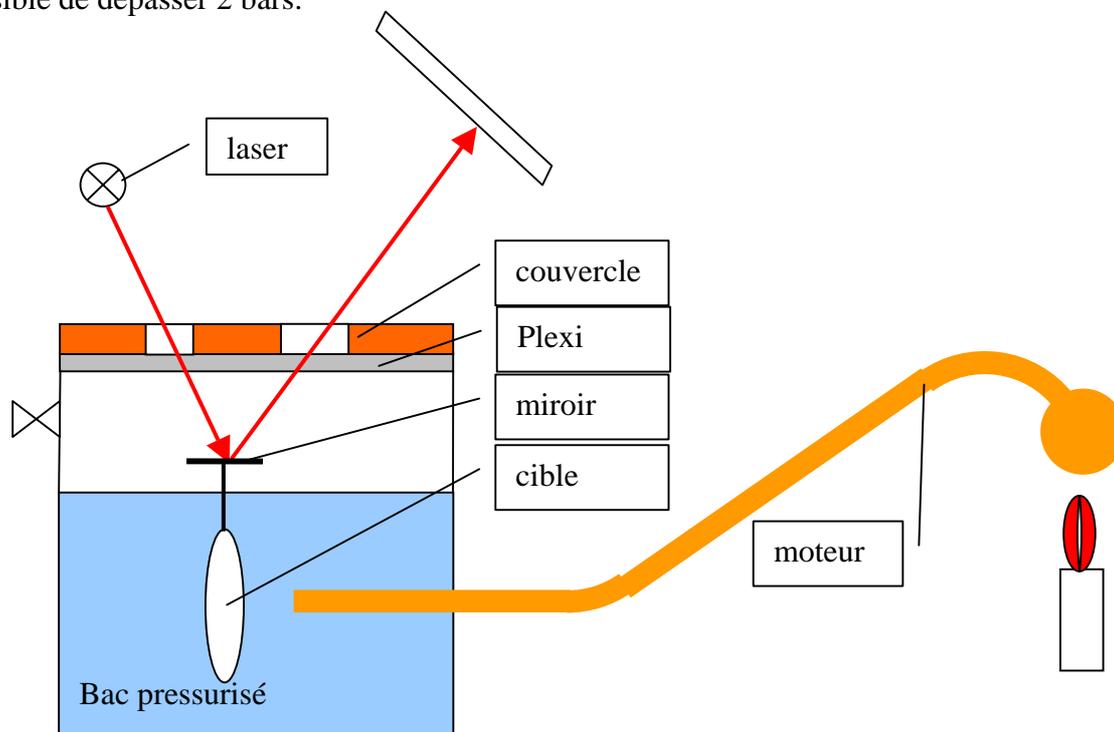
Conclusion :

Elle nécessite confirmation par d'autres essais (!). Cependant, il semble que pour un moteur donné la fréquence augmente avec la pression tandis que la poussée moyenne reste à peu près constante.

## Annexe

### Commentaires pour ceux qui voudraient tester un moteur pop-pop sous pression.

La première version du banc d'essai a été construite comme suit et j'espérais tester le moteur jusqu'à 7 bars (100psi). Cependant, en raison de problèmes techniques il n'a pas été possible de dépasser 2 bars.



Composants principaux de gauche à droite: pointeur laser, bac d'essai (bol en inox d'une ancienne machine à café professionnelle), bride inférieure, plexiglass, bride supérieure. Et en bas à gauche se trouve le moteur qui a été conçu pour être chauffé électriquement.



Nota : les coudes inférieurs du moteur ont été rendus nécessaires pour le raccorder au bol à la partie inférieure afin de permettre le passage de la bride inférieure (en contreplaqué) après finition des soudures.

Sur la bride supérieure les deux petits trous ont été utilisés pour le cheminement du rayon laser et le plus grand servait à observer l'intérieur.

Malheureusement, très vite ce banc d'essai à montré un problème : à cause de la condensation à la partie inférieure du plexiglass (comme on peut le voir sur la photo ci-contre) il était impossible d'observer l'intérieur et le rayon laser était trop dispersé et atténué.



Pour la version suivante du banc d'essai j'ai dû utiliser un morceau de plexiglass que j'ai cintré comme le bol. En raison de cette déformation, le fin rayon laser envoyé par l'émetteur (un pointeur laser, jaune sur la photo) est devenu un faisceau plat (visible sur la fenêtre supérieure du bol).

Heureusement, il était plat dans le bon sens. Sur l'échelle de lecture il donnait un trait horizontal, et il était facile d'en suivre la déviation verticale. (Mieux que sur la photo, à cause du flash).



Ampèremètre et voltmètre  
(pour avoir une idée approximative  
de la puissance de chauffe)

Pop-Pop électrique (fer  
à souder)



Pointeur  
laser

Tuyau pour  
pressurisation

Gradateur  
de "puissance de  
chauffe"