

Gaz dans un moteur pop-pop

Par Jean-Yves

En plusieurs occasions on a noté la présence de gaz dans le moteur après une longue période de fonctionnement. Pourquoi quelques fois et pas toujours ? D'où vient ce gaz ? Pourquoi ? Comment ? Quand ? Quel est ce gaz ?...

Ci-après nous allons essayer de répondre plus ou moins à ces questions. Pour cela nous allons utiliser des valeurs numériques obtenues lors de nos expériences. Ces chiffres sont valables pour les moteurs utilisés. Pour d'autres moteurs les chiffres pourront être différents, cependant les mêmes lois devraient s'appliquer.

Faits :

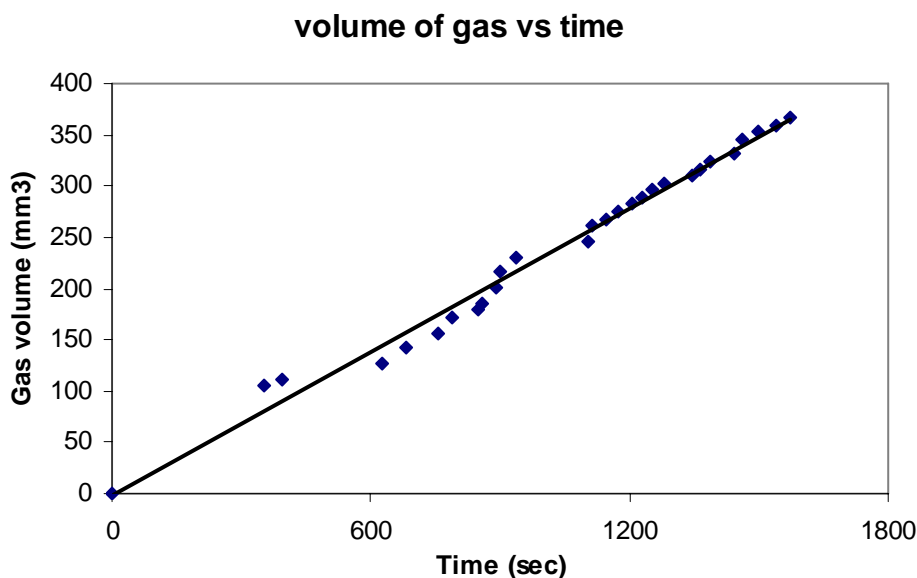
Quand un moteur a fonctionné longtemps, même s'il était plein d'eau au début, on trouve du gaz à l'intérieur.

La quantité de gaz est plus importante quand l'eau utilisée est prise au robinet au début de l'essai.

Le gaz (jusqu'à une certaine quantité) améliore (considérablement) les performances. Ceci est confirmé par les expériences de Slater (Il remplit ses moteurs pour en mouiller l'intérieur et, avant de démarrer, il vide la quasi-totalité de l'eau, en ne laissant que quelques gouttes dedans).

1. Production de gaz en fonction du temps :

A l'aide d'un moteur à spires décrit en annexe nous avons compté les bulles qui s'échappaient des tuyères, et nous avons mesuré la taille de ces bulles pour estimer le débit.



Grossièrement, pour ce moteur, le débit de gaz était constant et égal à $0,23\text{mm}^3$ par seconde (ou $14\text{mm}^3/\text{min}$). Pendant cette expérience, la poussée a toujours été comprise entre 0,4 et 1mN.

Nota : Ces chiffres sont valables pour ce moteur et pour cet essai particulier. Ils pourront être différents pour un autre moteur, et même pour celui-ci si les conditions sont différentes. Ce graphique est seulement donné à titre d'exemple.

Plus tard, on a réalisé exactement le même essai, mais cette fois on a utilisé de l'eau qui avait été tirée du robinet plusieurs jours plus tôt. D'abord le moteur s'est comporté comme lors du test précédent. La poussée était limitée à 1mN. Au bout de 541 seconds une bulle s'est échappée. Une autre bulle plus petite s'est échappée 107 secondes plus tard. Puis, plus de bulle visible, mais la poussée continuait à augmenter en fonction du temps pour atteindre 12mN au bout de 4800 secondes. Cette poussée maximale est égale à celle obtenue précédemment avec ce type de moteur. La fréquence des pop-pops était 7Hz. A t=6060 secondes, on a volontairement retiré la flamme, et 5 minutes plus tard on a mesuré le volume de gaz présent dans le moteur. On a obtenu 2,54cm³. Si le dégazage avait été linéaire (comme lors de l'essai précédent), cela donnerait approximativement 0,42mm³/s. C'est plus que lors de l'essai précédent. Cependant, on espérait moins car l'eau utilisée avait eu le temps de dégazer pendant les jours de repos dans un seau. La raison est sans doute la grande quantité d'eau circulant dans le moteur car il délivrait une puissance importante.

2. Poussée en fonction du volume de gaz :

La poussée évolue avec le volume de gaz dans le moteur. Ce qu'on appelle gaz ici n'inclut pas la vapeur. Malheureusement on ne peut pas mesurer simultanément le volume de gaz et la poussée. Cependant, on peut mesurer la poussée en fonction du temps, et pour toute valeur de poussée on peut arrêter le moteur et attendre son refroidissement puis mesurer le volume du gaz qu'il contient. C'est ce que nous avons fait plusieurs fois. Un nombre limité de fois ; pas parce que chaque étape prend beaucoup de temps, mais parce que très souvent après l'arrêt de la chauffe il se produit une chasse de vapeur et le gaz s'échappe à cette occasion. La méthode que nous avons utilisée pour résoudre ce problème est la suivante :

Mesure de poussée

Arrêt de la chauffe

Obturation des deux extrémités du tuyau avec les doigts

Attente de refroidissement pendant quelques minutes.

On retire les doigts (cercles rouges sur la peau en raison du vide qui suçait le sang)

Mise en place d'une cloche de verre pleine d'eau sur une des extrémités.

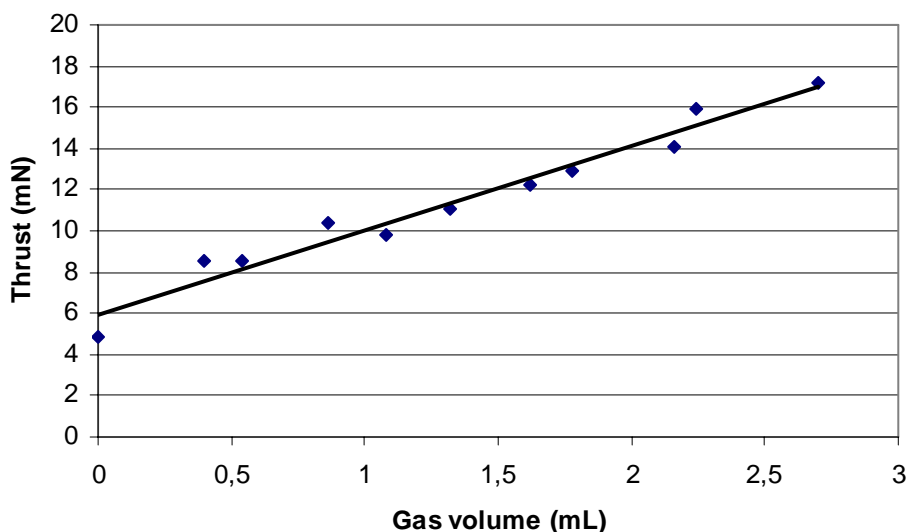
Chasse d'eau violente par l'autre extrémité (à l'aide d'une grosse seringue).

Aspiration du gaz piégé dans la cloche à l'aide d'une petite seringue graduée.

Ainsi, pour un moteur particulier (type 4D12) on a réussi à déterminer que la meilleure poussée correspondait à la présence de 1,7 cm³ de gaz (à 20°C). Et, en fonction de la qualité de l'eau (juste tirée du robinet ou tirée la veille...), ce volume pouvait être atteint en une, deux ou trois heures, ou même davantage, la même puissance de chauffe étant utilisée.

Ensuite, pour gagner du temps on a utilisé une méthode plus simple. Quand le moteur était prêt et plein d'eau on introduisait une quantité bien connue d'air à l'aide d'une seringue et d'un capillaire. Cet essai a été réalisé sur un moteur relativement gros pour une meilleure précision relative. Le moteur à membrane utilisé est décrit en annexe. On a obtenu les résultats suivants.

Thrust vs gas volume



On pourra objecter qu'en plus de l'air volontairement introduit dans le moteur avec la seringue il y a eu du gaz produit selon le procédé décrit au chapitre 1. C'est vrai, mais :

On a réutilisé de l'eau déjà utilisée pour plusieurs moteurs et tirée du robinet une semaine avant ; c'est-à-dire que certains gaz s'étaient déjà échappés.

On a utilisé une chauffe électrique à puissance appropriée constante.

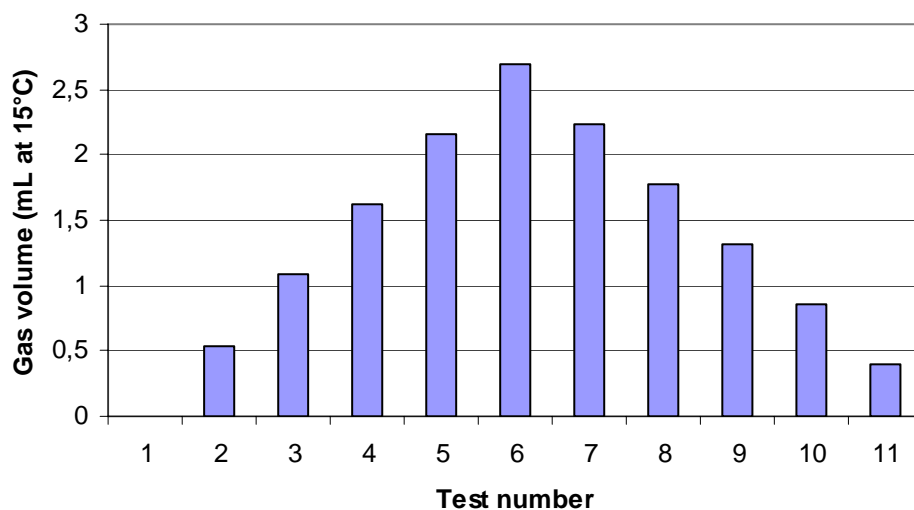
Tous les essais de la série ont été faits en peu de temps (11 essais en une heure).

On a commencé par augmenter le volume d'air, puis on l'a réduit.

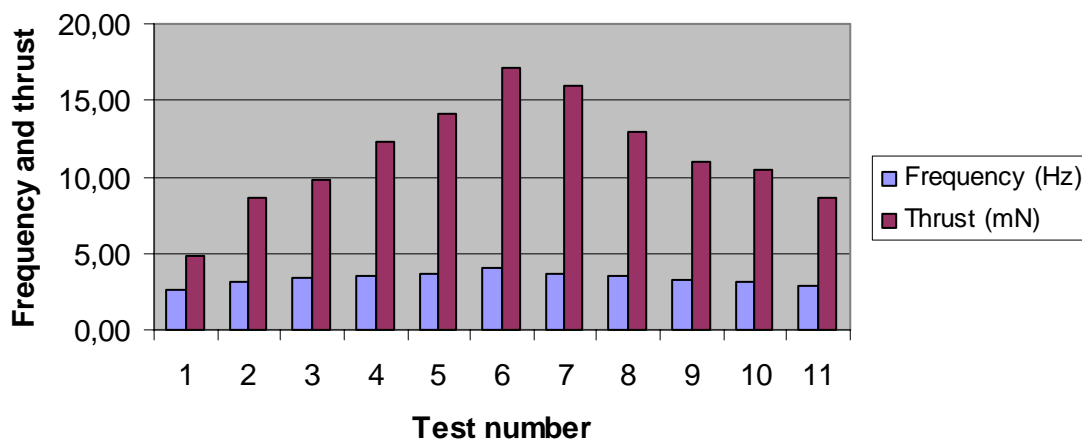
On a mesuré le volume de gaz produit pendant cette heure.

Après une heure, le volume de gaz contenu dans le moteur (après extraction de l'air volontairement introduit) était 0,4mL. Comme prévu, c'était peu. Toutefois, on en a quand même tenu compte. Dans l'analyse finale on a ajouté 0,04mL à chaque étape.

Gas volume vs test number

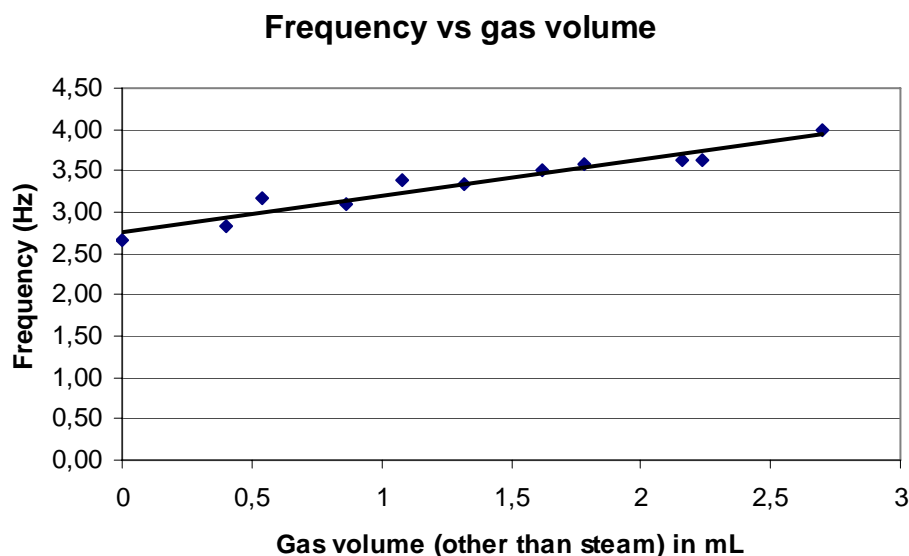


Frequency and thrust vs test chronological number



3. Fréquence en fonction du volume de gaz :

La puissance de chauffe étant constante, on a tracé la courbe de fréquence en fonction du volume de gaz.



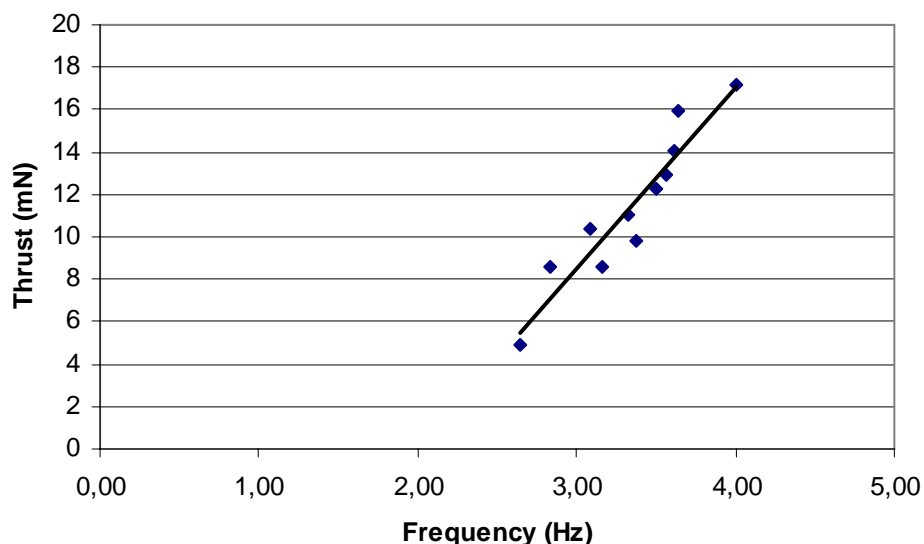
Ceci confirme les observations précédentes. La fréquence augmente avec le volume de gaz (autre que la vapeur) contenu dans le moteur.

Nota : Sur certains moteurs il peut y avoir une apparente stabilité, voire une légère diminution de la fréquence au début mais la fréquence finit toujours par augmenter avec le volume de gaz.

4. Poussée en fonction de la fréquence :

Le dénominateur commun de la poussée et de la fréquence est certainement le volume de gaz ; cependant, on peut tracer la courbe de poussée en fonction de la fréquence.

Thrust vs frequency



5. Quel est le gaz (dans des conditions normales) ?

Pour ce petit chapitre c'est Loïc qui m'a fourni les chiffres. Dans l'eau il y a des gaz dissous. Quand on utilise l'eau du robinet il peut y avoir du chlore, mais l'essentiel des gaz dissous est composé d'azote et d'oxygène. La quantité maximale dépend de la température. A 20°C il peut y avoir 9,54mg d'oxygène par liter. A 100°C c'est seulement 3,15mg. Pour l'azote ces chiffres sont respectivement 15,3 et 5,9mg/L. En conséquence, quand on chauffe l'eau de 20°C environ à 100°C environ, il peut s'échapper 6,4mg d'oxygène et 9,4mg d'azote par litre.

Le volume d'un moteur pop-pop est petit. Cependant, en raison de son principe, tout le contenu du bac d'essai est concerné car l'eau est alternativement aspirée et refoulée par le(s) tuyau(x) du moteur. Quand un moteur fournit une poussée faible l'eau est peu renouvelée et les gaz s'échappent lentement. Mais quand un moteur secoue bien, le débit de gaz doit être plus important.

Annexe

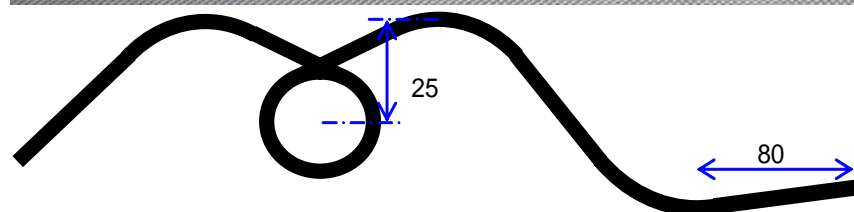
Description des moteurs :

Celui utilisé pour la mesure de production de gaz est celui-ci.



4 spires. Diamètre intérieur: 12mm. Tuyau de diamètre intérieur 4mm et extérieur 6mm. Chacune des extrémités était connectée à un réservoir d'eau.

Pour la mesure de poussée on a utilisé un moteur similaire mais avec des tuyaux plus courts et des pentes plus fortes.



80mm inclut la tuyère qui fait partie du réservoir d'essai.

Pour la dernière série de mesures on a utilisé le moteur PPVG sur lequel une membrane en aluminium a été placée. Et pour le chauffer on a utilisé un fer à souder.



Une pièce d'adaptation spéciale (en cuivre) a été conçue pour transférer l'essentiel de la puissance électrique du fer à souder vers le moteur (en puissance de chauffe).