

Moteur pop-pop et résonateur de Helmholtz

Je veux tuer ce canard ! Le moteur pop-pop n'est pas – dans l'utilisation qui en est normalement faite – un résonateur de Helmholtz.

J'ai obtenu (accidentellement) le résonateur de Helmholtz lors de la réparation d'une brasure. Confirmation aussi heureuse qu'inattendue (*1). Ce résonateur –comme je l'ai écrit en 2005 (*2) de façon théorique- a une fréquence propre très très supérieure à celle du pop-pop. N'étant pas mélomane je situais cette fréquence vers 1kHz. Ce qui est sûr, c'est que c'était très audible, bien supérieur à 150Hz et bien inférieur à 10kHz. On peut se livrer à un petit calcul avec le moteur qui a "chanté".

Volume du ballon : $V=1838\text{mm}^3$

Section de la canalisation : $S=20\text{mm}^2$

Longueur : $L=210\text{mm}$

La température du ballon et de l'air contenu pendant cet intermède musical était décroissante de 500 à 200°C environ ; ce qui donne pour l'application numérique

$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{VL}}$ (longueurs en m) ; soit $800 > f > 500\text{Hz}$. En accord avec ce qui a été entendu.

Ce même moteur a une fréquence pop-pop de l'ordre de 6Hz (mesurée entre 5,8 et 6,25). Il y a donc un rapport de l'ordre de 100 entre les deux fréquences qui sont par conséquent complètement découplées. Il faut donc chercher ailleurs la raison du pop-pop.

Selon les températures de la surface du métal, on sait qu'en fonctionnement établi l'interface est proche du ballon. On a d'un côté un ressort constitué par la vapeur contenue dans le ballon à une pression moyenne très voisine de la pression atmosphérique, et de l'autre une masse constituée par l'eau contenue dans la canalisation. On peut se livrer à nouveau à un petit calcul.

Pour notre application la masse d'eau dans la canalisation est environ 4,2g et le volume de vapeur dans le ballon 1,838cm³. A 100°C la masse volumique de la vapeur est 0,60kg/m³. Il y a donc $1,838 \times 10^{-6} \times 0,60 = 1,102 \times 10^{-6} \text{kg}$; soit $\frac{1,102 \times 10^{-6}}{18 \times 10^{-3}} = 61,2 \times 10^{-6}$ mole. En supposant qu'il n'y ait ni condensation, ni

vaporisation la vapeur joue le rôle d'un ressort de raideur k telle que $k = \frac{dF}{dl} = \frac{S \cdot dP}{dl}$

avec dP =variation de pression liée au déplacement dl du boudin d'eau. La vapeur étant supposée parfaite : $PV=nRT$. Pour cette application $PV=61,2 \times 10^{-6} \times 8,314 \times 373 = 0,19$.

$k = \frac{dF}{dl} = \frac{S \cdot dP}{dl}$..et $V=S \cdot l$ (l =longueur d'un ballon imaginaire de même section S que la

canalisation); ce qui donne $P = \frac{nRT}{S \cdot l}$ dont la dérivée par rapport à l est

$$P' = \frac{dP}{dl} = -\frac{nRT}{S \cdot l^2} = -\frac{nRT}{S} \times \frac{S^2}{V^2}$$

Nota : le signe – vient du fait que la pression augmente quand le volume diminue, mais c'est la valeur absolue qui nous intéresse.

$$k = S \cdot P' = -\frac{nRTS^2}{V^2} = -\frac{61,2 \cdot 10^{-6} \times 8,314 \times 373 \times (20 \cdot 10^{-6})^2}{(1,838 \cdot 10^{-6})^2} = 22,47 \text{N/m}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{22,47}{4,2 \cdot 10^{-3}}} = 11,6 \text{ Hz}$$

C'est presque le double de la réalité, mais rappelons que le but était seulement de vérifier l'ordre de grandeur à l'aide d'hypothèses simplificatrices.

*1. Circonstances de l'expérience accidentelle.

Le moteur pop-pop était installé verticalement avec le ballon en haut. La canalisation était légèrement pincée dans les mordaches en plomb d'un étau afin de réparer une brasure défectueuse sur le ballon. La température était élevée afin de faire fondre la brasure. (Alliage de cuivre et argent. Point de fusion approximatif : 630°C). Le chalumeau était allumé et faisait du bruit. Environ 10 secondes après que le chalumeau ait quitté le ballon, la brasure ayant un bel aspect, le chalumeau a été stoppé. Immédiatement j'ai entendu le bruit émis par le moteur. Je dois avouer que je ne m'y attendais pas et qu'il m'a fallu quelques secondes pour comprendre d'où il venait. Ensuite je l'ai écouté attentivement jusqu'à ce qu'il disparaisse.

*2. Voir « Propulsion d'un bateau par moteur pop-pop » (appelé "Première approche" sur www.eclecticspace.net), chapitre 13, §1.