

Proceedings of the Institute of Acoustics

DETERMINATION OF SOURCE IMPEDANCE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

L. DESMONS (1), J. HARDY(2), Y. AUREGAN(3)

(1) El1 échappement, Messel, France

(2) Laboratoire d'acoustique, Le Mans, France

(3) Laboratoire d'acoustique, Le Mans, France

1 . INTRODUCTION

Le bruit émis à la sortie d'une ligne d'échappement dépend des caractéristiques acoustiques de la source (le moteur à combustion interne) et des différents organes formant la ligne d'échappement elle-même. Dans la littérature, de nombreux modèles [1-4] des différents organes constituant une ligne d'échappement (chambres d'expansion, tubes perforés, résonateurs d'Helmholtz) existent. Les modèles de source sont plus rares. Néanmoins, le modèle de source linéaire et invariant dans le temps est le plus souvent utilisé pour déterminer expérimentalement les caractéristiques d'une source acoustique. Il y a deux principales méthodes de mesure pour calculer les caractéristiques de la source : les méthodes directes et les méthodes indirectes.

Les méthodes directes nécessitent une source de bruit extérieure et reposent sur la méthode classique des ondes stationnaires [5] ou la méthode à deux microphones [6-7]. Ross et Crocker [8] et Prasad et Crocker [9-10] ont utilisé ce type de méthode. Cependant, il est difficile de trouver des sources acoustiques extérieurs produisant des niveaux de bruit supérieur à ceux d'un moteur et fonctionnant dans les basses fréquences ($< 300\text{Hz}$). Pour cette raison, il est préférable d'utiliser des méthodes indirectes. Les méthodes indirectes sont basées sur la mesure de pression acoustique pour différentes charges connues. Dans la méthode à deux charges [11], les paramètres de sources sont calculés en résolvant un système d'équations obtenu en mesurant la pression complexe à la sortie de deux charges. Récemment, deux alternatives ont été suggérées : la

IMPEDANCE DE SOURCE

méthode à trois charges [12] et la méthodes à quatre charges [13]. Néanmoins, aucune mesure d'impédance de source, à notre connaissance, n'a été effectué en utilisant les méthodes indirectes pour une source de types moteur à combustion interne. C'est ce que nous nous proposons de faire en utilisant un grand nombre de charges.

2 . LA METHODE DES MOINDRES CARRES

La représentation d'un système acoustique formé d'un moteur à combustion interne et d'une ligne d'échappement est la suivante (fig 1) :

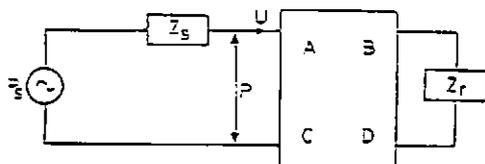


Figure 1 : schéma électrique équivalent pour un système acoustique d'une ligne d'échappement et du moteur

Nous choisissons de connecter à une même source acoustique un grand nombre de charges de même diamètre et de même géométrie (des tubes) et de mesurer la pression rayonnée en module et en phase.

En appliquant le théorème de Thévenin, il vient :

$$P_s = P_1 + U_1 Z_s \quad (1)$$

où le générateur de pression acoustique P_s et l'impédance de source Z_s ne dépendent pas de la charge ; et où la pression P_1 et le débit $U_1 = (P_1 / Z_1)$

peuvent être déduits de la pression rayonnée.

Il est alors possible de construire une fonction F telle que :

IMPEDANCE DE SOURCE

$$F(Z) = \sum_{i < j} |(P_i - P_j) + (U_i - U_j) Z|^2 \quad (2)$$

Cette fonction de Z est nulle pour $Z = Z_s$, positive ne possède qu'un seul minimum et pas permutation des indices i et j est symétrique. Il semble raisonnable de prendre pour Z_s la valeur de Z qui minimise la fonction F .

En écrivant Z sous la forme $Z = x + y$, la fonction F est minimum pour

$$\frac{\partial F(Z)}{\partial x} = \frac{\partial F(Z)}{\partial y} = 0$$

Nous en déduisons la valeur de l'impédance de source Z_s soit :

$$Z_s = \frac{-\sum_{i < j} |U_i - U_j| \begin{bmatrix} P_i - P_j \\ U_i - U_j \end{bmatrix}}{\sum_{i < j} |U_i - U_j|^2}$$

Ce résultat est comparable à celui de Bodeu [14], et a été testé sur une source simple (un haut parleur) par Desmons et Hardy [15].

3 . EXPERIENCE ET RESULTAT

Pour appliquer, la méthode à plusieurs charges sur un moteur à combustion interne, il faut mettre au point une méthode expérimentale permettant la mesure de la pression rayonnée, à la sortie des différentes charges, référence à un signal, capté, par exemple, au niveau de l'arbre à cames. Dans ce paragraphe, nous présentons d'une part la méthode utilisée pour mesurer les pressions acoustiques complexes, puis nous utilisons ces données pour déterminer l'impédance de source Z_s d'une boîte noire formée du moteur, des collecteurs et de la deserte collecteur, pour quelques harmoniques moteur.

IMPEDANCE DE SOURCE

3.1 Mesure des pressions rayonnées en module et en phase

La manipulation a été réalisée sur un moteur Renault F3P, 4 cylindres, 4 temps de 1798cm³ et d'une puissance de 70 kWatt installé sur un banc moteur. Les lignes d'échappement montées à la sortie de la descente collecteur sont 6 lignes tubulaires de 3m, 3.5m, 4m, 4.5m, 5m, 5.5m de longueur et de 0.05m de diamètre. Des sondes de température placées au ras de la paroi interne des tubes permettent de connaître l'évolution en température. Un microphone B & K 1/2 pouce est placé à 32cm de l'axe du tube, perpendiculairement à la sortie, pour éviter le bruit des gaz.

Pour obtenir un signal de référence, une pastille réfléchissante est collée sur l'arbre à cames et une fibre optique est utilisée en cellule opto-électrique-réflexe : à chaque coïncidence de la fibre optique, une impulsion électrique est déclenchée. L'enregistrement simultané du signal de pression et du signal d'arbre à cames se fait sur un magnétophone DAT 2 pistes SONY. Pour chaque longueur de tube, une acquisition est effectuée tous les 100tr/mn entre 1000tr/mn et 5000tr/mn à pleine charge. Un exemple de résultat obtenu pour un tube de longueur 4.5m à 2500tr/mn est présenté sur la figure 2.

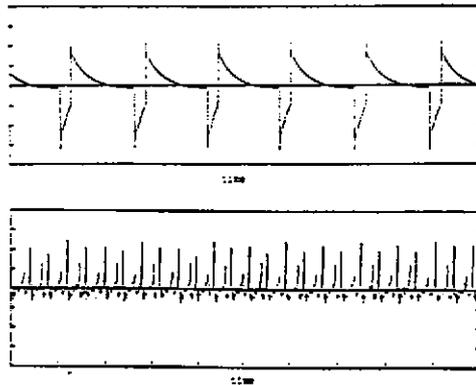


Figure 2 : enregistrement simultané des 2 signaux
a) arbre à cames
b) pression

Proceedings of the Institute of Acoustics

IMPEDANCE DE SOURCE

Les signaux sont ensuite transférés sur ordinateur "Masscomp" et traités à l'aide du logiciel de traitement de signal ILS. Il est alors simple d'écrire les pressions rayonnée en module et en phase.

3.2 Application de la méthode à plusieurs charges sur la source moteur

Les modèles des matrices de transfert de tube sont traités dans la littérature (voir Davies [2]) et considérés comme suffisants, ainsi que le modèle de l'impédance de rayonnement de Levine et Schwinger [16].

Pour calculer l'impédance de source de la boîte noire formée du moteur, des collecteurs et de la descente collecteur, nous formons deux combinaisons de tubes respectivement de (3m, 3.5m, 4m, 5m, 5.5m) et (3m, 3.5m, 4.5m, 5m, 5.5m) et appliquons l'expression (3).

Les impédances de sources ainsi calculées (pour les deux combinaisons) sont présentées figure 3 pour l'harmonique 2 et figure 4 pour l'harmonique 4. Connaissant l'impédance de source, de l'équation (1) nous déduisons le générateur de pression acoustique.

Chacune des configurations composées de 5 tubes, nous a permis de calculer les paramètres de source (p_s , Z_s). Il nous est alors possible de simuler la pression rayonnée pour le sixième tube de longueur $l = 4.5m$ (par exemple pour la première configuration).

Les résultats sont présentés sur les figures 5 et 6 respectivement.

IMPEDANCE DE SOURCE

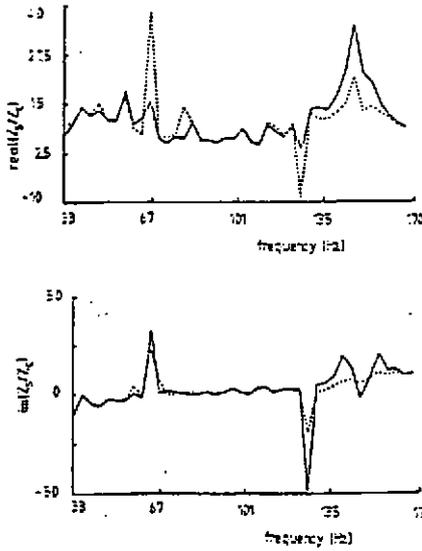


Figure 3 : impédance de source de la boîte noire obtenue avec — la première configuration, - - - la seconde configuration de 5 tubes pour l'harmonique 2.

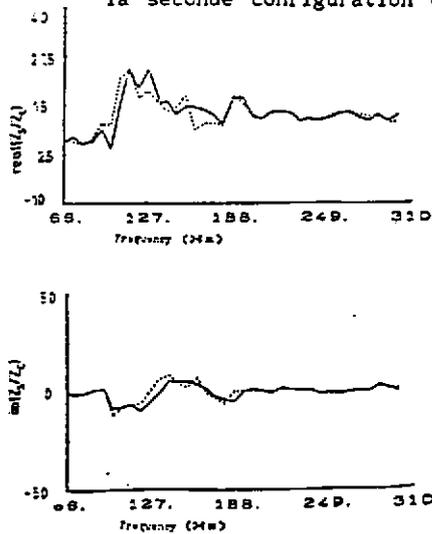


Figure 4 : impédance de source de la boîte noire obtenue avec — la première configuration, - - - la seconde configuration de 5 tubes pour l'harmonique 4.

IMPEDANCE DE SOURCE

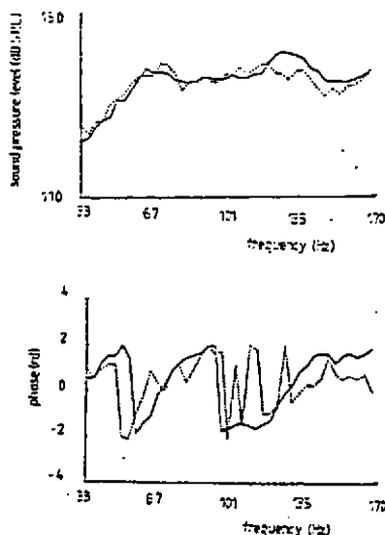


Figure 5 : pression rayonnée à 32 cm d'une ligne tubulaire de 4.5 mètre de longueur et de 0.05 m de diamètre : — mesurée, - - - calculée pour l'harmonique 2.

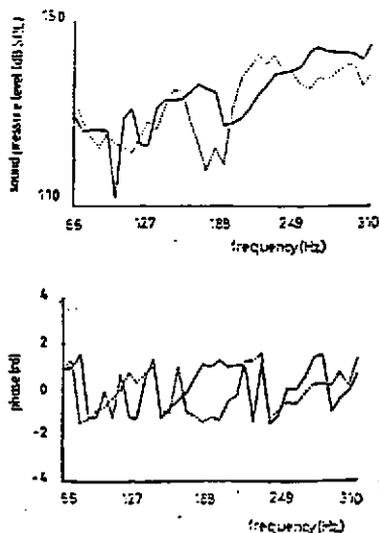


Figure 6 : pression rayonnée à 32 cm d'une ligne tubulaire de 4.5 mètre de longueur et de 0.05 m de diamètre : — mesurée, - - - calculée pour l'harmonique 4.

4 . CONCLUSION

Nous montrons qu'un modèle extrêmement simplifié peut rendre compte pour des fréquences inférieures à 300 Hz, du bruit produit à la sortie d'une ligne d'échappement en séparant les rôles de la ligne elle-même et de la source. La caractérisation de l'impédance de la source formée du moteur, des collecteurs et de la descente collecteur, nécessite l'utilisation d'un seul microphone (non calibré) et d'un ensemble de charges calibrées.

5 . REFERENCES

- [1] M.L. MUNJAL, Acoustics of ducts and and mufflers, Wiley and Sons, (1987).
- [2] P.O.A.L. DAVIES, Practical flow duct acoustics, Journal of Sound and Vibration, 124, 91-115, (1988).
- [3] J.W. SULLIVAN, A method for modeling perforated tube muffler components, J.A.S.A., 66, 772-778, (1979).
- [4] A.D. JONES, Modelling the exhaust noise radiated from reciprocating internal combustion, Noise Control Engineering Journal, (1984).
- [5] H.O. TAYLOR, A direct method of finding the values of materials as sound absorbers, Phys. Rev., 2, 270, (1913).
- [6] J.Y. CHUNG et D.A. BLASER, Transfer function method for measuring in duct acoustic properties : I, theory ; II, experiment, J.A.S.A., 68, 907-921, (1980).
- [7] A.F. SEYBERTAND et D.F. ROSS, Experimental determination of acoustic properties using two microphones random excitation technic, J.A.S.A., 61, 1362-1370, (1977).
- [8] D.F. ROSS et D.F. CROCKER, Measurement of acoustical internal impedance of an internal combustion engine, J.A.S.A., 74, 18-27, (1977).

Proceedings of the Institute of Acoustics

- [9] M.G. PRASAD et M.G. CROCKER, Acoustical source characterization studies on a multi-cylinder engine exhaust system, J.S.V., 90, 479-490, (1983).
- [10] M.G. PRASAD et M.G. CROCKER, Studies of acoustical performance of a multi-cylinder exhaust muffler system, J.S.V., 90, 491-508, (1983).
- [11] M.L. LATHURIYA et M.L. MUNJAL, Exprimint evaluation of the aeroacoustic characteristics of a source pulsating gas flow, J.A.S.A., 65, 240-248, (1979).
- [12] H.S. ALVES et A.G. DOIGE, A three load method for noise source characterization in ducts, Noise Control, 329-334, (1987).
- [13] M.G. PRASSAD, A four load method for evaluation of acoustical source impedance in duct, J.S.V., 114, 247-256, (1987).
- [14] H. BODEN, A multiple load method for measuring the source characteristics of time-variant source, J.S.V., 148, (3), 437-453, (1991).
- [15] L. DESMONS et J. HARDY, A least square method for evaluation of characteristics of acoustical sources. Soumis à publication.
- [16] H. LEVINE et J. SCHWINGER, On the variation of sound from unflanged circular pipe, Phys. Rev., 73, 386-406, (1948).

