



HAL
open science

Vibroacoustique avec une lame de fluide en contact avec la paroi vibrante

Jean-Michel Génevaux, Lazhar Benyahia

► **To cite this version:**

Jean-Michel Génevaux, Lazhar Benyahia. Vibroacoustique avec une lame de fluide en contact avec la paroi vibrante. 15ième congrès français de mécanique, Sep 2003, Nice, France. pp.communication 562. hal-00351849

HAL Id: hal-00351849

<https://hal.science/hal-00351849>

Submitted on 9 Mar 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Vibroacoustique avec une lame de fluide en contact avec une paroi vibrante

Jean-Michel Gènevaux*, Lazhar Benyahia**

Université du Maine

*Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine & **Laboratoire Polymères, Colloïdes et Interfaces
rue Aristote, 72000 Le Mans
jmgenev@univ-lemans.fr

Résumé :

La présence d'un film de fluide incompressible visqueux à la surface d'une structure vibrante modifie les caractéristiques vibratoires de celle-ci. L'idée est de tester si la présence de cette lame de fluide permet de diminuer la transmissibilité d'un champ sonore à travers cet interface. Une expérimentation est menée sur un système couplé composé ; d'une cavité acoustique de géométrie cylindrique circulaire aux parois rigides sauf pour l'une de ses extrémités : à cette extrémité est encastrée sur son contour une plaque circulaire déformable ; d'un film de fluide de faible épaisseur, inséré entre cette plaque et la cavité acoustique. La plaque est excitée par un pot vibrant. Un capteur d'effort et un accéléromètre sont fixés à cette plaque. Un microphone est inséré dans la cavité acoustique. Le domaine de fréquences exploré est inférieur à 200 Hz. Les essais montrent l'existence d'un seuil vibratoire en amplitude à partir duquel des ondes quasi-stationnaires apparaissent à l'interface fluide-gaz. Au delà de l'effet de masse ajoutée, l'augmentation d'amortissement du fait de la présence de ces ondes est quantifiable. L'augmentation de la viscosité du fluide, implique une variation de la dissipation, sous réserve que les ondes de surface restent présentes : en effet le seuil vibratoire pour les observer croît aussi avec la viscosité.

Mots-clefs :

vibroacoustique ; lame fluide ; interaction fluide-structure

1 Introduction

Pour réduire le bruit dans un échappement, un traitement des parois est généralement utilisé. Une autre solution consiste à injecter un fluide lourd (de l'eau par exemple) sous forme de gouttelettes, pour absorber de la quantité de mouvement, et si nécessaire faire décroître la température. Dans cette dernière configuration, l'effet de masse ajoutée du fluide lourd est utilisé, mais à l'intérieur de chaque goutte la vitesse est constante. Si la viscosité de ce fluide n'est pas négligeable, ce champ cinématique de type solide ne permet pas de dissiper de l'énergie. Dans le même ordre d'idée, des travaux précédents (Bruneau (1984)) évaluent le comportement acoustique d'une lame de fluide tombant librement, séparant l'espace en trois domaines gaz-liquide-gaz. Mais les conditions aux limites sur les deux interfaces gaz-liquide, rendent possible des champs de vitesses dans le fluide qui ne présentent que de faibles vitesses de déformations, ceci ne permet pas à la viscosité de jouer son rôle de dissipation. D'autres conditions aux limites (adhérence à une paroi) pourrait induire des gradients de vitesse plus importants, permettant à la dissipation dans le fluide de s'exprimer. Afin de tester cette hypothèse, une configuration est conçue avec une cavité de gaz, qui interagit avec un film de fluide lourd incompressible qui est en contact avec une paroi mobile. Cette étude présente les premiers résultats expérimentaux.

2 Configuration expérimentale

La configuration géométrique est présentée figure 1. Un tube cylindrique de diamètre intérieur $d = 0,290 \text{ m}$ de longueur $l = 0,803 \text{ m}$ a été fabriqué dans un polymère rigide transparent

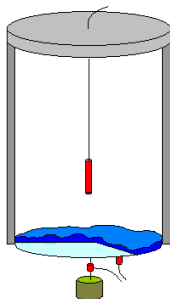


FIG. 1: La configuration expérimentale : une cavité, une plaque, un film de fluide lourd de viscosité contrôlée.

(PMMA). L'épaisseur de la paroi du tube est $e_t = 0.005 \text{ m}$ et les caractéristiques mécaniques de cette structure rejettent ses fréquences de résonances bien plus haut que la gamme de fréquences explorée.

L'extrémité supérieure de ce tube est fermée par une plaque rigide dans le même polymère, percée de plusieurs trous qui permettent de guider le câble du microphone. L'extrémité inférieure est fermée par une plaque circulaire en duralumin, dont le diamètre est $d_p = 0.320 \text{ m}$ et son épaisseur $e_p = 0.001 \text{ m}$. Cette plaque est considérée encastree sur une ligne circulaire correspondant au diamètre du tube d . Un pot vibrant électro-dynamique (LDS V201) est connecté au centre de la plaque. L'effort d'excitation est mesuré grâce à l' d'un capteur de force (Endevco 2311-500) entre le pot et la plaque, et peut être contrôlé à l'aide d'un frontal d'acquisition et d'un logiciel dédié (Siglab) implanté sur un ordinateur de bureau. L'accélération de la plaque peut aussi être mesurée à l'aide d'un accéléromètre (Endevco 256HX-100) de faible masse est de $m_a = 0.0042 \text{ kg}$ et qui peut être placé à proximité du centre de la plaque. Entre deux tests avec des fluides différents, la manipulation est lavée avec un savon et rincée plusieurs fois afin de limiter la présence de surfactant qui changerait la tension superficielle à la surface libre, puis séchée. Les fonctions de réponse en fréquence (accéléromètre/force) et (pression acoustique/force) présentent toujours des maxima aux mêmes fréquences (voir figure 2). Les résultats présentés sont obtenus par un accroissement de la fréquence d'excitation pas à pas.

3 Résultats et interprétations

Avant de nous concentrer sur l'influence de la viscosité du fluide, quelques essais préliminaires permettent de tester les différents paramètres influents sur la réponse.

3.1 Quelques essais préliminaires

L'effet de masse ajoutée Une expérience de référence sans lame de fluide lourd est d'abord menée. Les fonctions de réponse en fréquence entre 20 Hz et 250 Hz sont présentés figure 2. Nous pouvons remarquer : les résonances coïncident pour le microphone et l'accéléromètre ; une première résonance est située vers 90 Hz . Une scrutation à l'aide d'un vélocimètre laser, nous confirme que le premier mode de vibration correspond à celui d'une plaque circulaire encastree sur sa circonférence ; la seconde résonance est à proximité du premier mode acoustique longitudinal de la cavité acoustique. En effet, sa valeur théorique est donnée par,

$$f_{acoustic} = \frac{c}{2l} = \frac{340}{2 \cdot 0.803} = 211 \text{ Hz}, \quad (1)$$

avec c la célérité du son dans l'air. L'influence de l'épaisseur de la lame de fluide sur la fonction de réponse en fréquence est tout d'abord testé en utilisant de l'eau. Le paramètre de masse ajouté relative est $\tilde{\rho} = \frac{\rho_f h}{\rho_p}$. Avec l'accroissement de l'épaisseur de la lame d'eau, on note (figure 3) : une diminution de la fréquence de résonance ; pour la première résonance, des ondes stationnaires sont observées à la surface libre gaz-fluide pour les amplitudes d'excitation présentées. Leur longueur d'onde (proche de 0.005 m) s'accroît avec la décroissance de la fréquence. Les valeurs de longueurs d'ondes sont de l'ordre des ondes capillaires. L'amplitude de ces ondes sont plus grandes au centre de la plaque, là où est présent le maximum de la forme propre de cette plaque. A cet instant de la présentation, il n'est pas possible de savoir si l'amortissement observé est plus important que celui obtenu simplement avec un système ayant une masse plus importante. Nous montrerons dans le paragraphe 3.2 que la viscosité de l'eau influe sur les résultats présenté figure 3, nous n'avons pas uniquement un effet de masse ajoutée. Dans la suite du travail, nous nous attacherons à caractériser les fonctions de réponse en fréquence à proximité de la première résonance, car pour les autres, les longueurs d'ondes à la surface libre sont encore plus petites ce qui implique que les écoulements de fluide dus aux mouvement de surface libre pénètrent d'autant moins dans l'épaisseur du film. Cherchant à caractériser l'influence de ces mouvements, nous nous plaçons donc autour du premier mode.

L'effet de l'amplitude d'excitation Du fait de la grande amplitude des ondes de surface par rapport à l'épaisseur du film, nous devons tester la dépendance de la fonction de réponse en fréquence à l'amplitude d'excitation. Nous pilotons donc la manipulation en terme d'accélération au point mesuré sur la plaque. Nous menons cette expérience pour une épaisseur de film d'eau de 5.3 mm . Des effets non linéaires sont observé sur la figure 4 : un accroissement de la fréquence de résonance avec l'amplitude d'excitation ; il existe une amplitude minimale d'excitation à partir de laquelle les ondes de surface apparaissent au centre de la plaque sous forme d'un petit disque. Si l'amplitude est encore augmentée, le diamètre du disque présentant des ondes stationnaires augmente. Cette zone correspond donc aux zones de fluide au voisinage d'un point de la plaque d'amplitude de vibration supérieure à un niveau critique. Est-ce une instabilité paramétrique ? Ces effets non linéaire peuvent être dus à la grande amplitude des ondes de surface par rapport à l'épaisseur du fluide, mais aussi au comportement de la plaque qui est encastrée sur tout son pourtour. La mesure de l'amplitude de ces ondes n'est pas présentée ici. Pour toutes les expériences décrites ci-après, le nécessaire contrôle d'amplitude se fait en terme d'accélération au point de mesure sur la plaque.

Un faible effet de tension superficielle L'existence ou non d'ondes stationnaires à la surface libre joue un important rôle. Lorsque ces ondes sont présentes, la tension superficielle devrait influencer sur la relation entre fréquence et longueur d'onde. Pour l'eau, nous modifions cette caractéristique en introduisant goutte à goutte un produit surfactant : dès la première goutte, la fréquence de résonance s'accroît légèrement, et est par la suite insensible à l'ajout d'une quantité plus importante de surfactant. Ceci est cohérent avec un accroissement de rigidité de la surface libre due à la présence du surfactant.

3.2 Un effet de la viscosité

Pour mettre en évidence l'influence de la viscosité, l'eau est remplacée par de l'huile. Une huile de grande viscosité (Esso 15W40) est choisie. La figure 5 montre que le module de la

fonction de réponse en fréquence est supérieure de 10 dB à celui obtenu avec de l'eau. Nous remarquons aussi que aucune zone d'onde stationnaire n'est observée pendant l'essai avec huile quand bien même les amplitudes d'accélération au centre de la plaque étaient les mêmes. Cela signifie que le niveau critique d'excitation (voir paragraphe 3.1) pour l'huile est supérieur à celui de l'eau, et serait donc fonction de la viscosité. En fait, la viscosité est si élevée que le film d'huile suit exactement le mouvement de la plaque. L'inexistence d'un gradient de vitesse dans le fluide, implique que la viscosité ne contribue pas à la fonction de réponse en fréquence du système. Nous n'observons dans ce cas que l'effet de masse ajoutée. Ceci est confirmé par la mesure de l'amortissement à la résonance (mesure à -3 dB). Pour la plaque sèche et pour le film d'huile, les amortissements mesurés sur les fonctions (accéléromètre/force) sont de 0.25%, et pour le film d'eau de 0.6%.

Des essais plus fins ont été menés avec des mélanges d'eau et de glucose pour lesquels la viscosité a été mesurée au sein du Laboratoire Polymères, Colloïdes et Interfaces sur un rhéomètre à contrainte imposée (AR1000 TA Instruments) avec une configuration cône-plan de 60 mm de diamètre. L'eau (fluide0) est prise comme référence et les deux autres mélanges sont composés (en terme de masse) respectivement de eau-glucose : (fluide1 : 75%-25%); (fluide2 : 49%-51%). Dans la gamme de taux de cisaillement jusqu'à 200 s^{-1} (à la limite du régime turbulent) le comportement des trois produits est parfaitement newtonien et les viscosités mesurées à 20°C sont alors : fluide0 : $\nu_0 = 1\text{ mPa s}$; fluide1 : $\nu_1 = 1.7\text{ mPa s}$; fluide2 : $\nu_2 = 9.3\text{ mPa s}$. Les trois courbes de réponse en fréquence pour des niveaux d'accélération crête constante sont présentées figure 7. La position en fréquence du pic de résonance est plus liée à la quantité de fluide versée, qu'à l'amortissement : 5 gr de fluide diminuent la fréquence de résonance de 1 Hz . La mesure d'amortissement pour ces trois courbe est donc faite par la méthode à -3 dB : eau 0.22 ; fluide1 0.18 ; fluide2 0.18. La tendance à la diminution de l'amortissement avec l'augmentation de la viscosité dans cette gamme de d'étude est confirmée. Pendant ces trois expériences, les ondes de surfaces étaient à chaque fois présentes sur une partie du domaine. Les mesures présentées ici, ne rendent pas compte de la proportion de la surface libre présentant des ondes de surface. Cette proportion doit dépendre du seuil (en amplitude) d'apparition de ces ondes. Pour aller plus loin dans l'analyse, il est nécessaire dans les expériences à venir, de mesurer l'amplitude de ces ondes en fonction de la distance au centre de la plaque.

4 Conclusion.

Cette étude expérimentale montre que la présence d'un film de fluide lourd à la surface d'une surface vibrante d'une structure qui est couplée à une cavité, permet de dissiper de l'énergie à la fréquence de résonance. Ce comportement est conditionné par l'effet de masse ajoutée, l'existence ou non d'ondes stationnaires à la surface libre gaz-fluide, la viscosité, qui dissipe de l'énergie, mais peut aussi faire disparaître les ondes de surface, la tension superficielle, les amplitudes du mouvement qui peuvent faire apparaître des effets non linéaires.

Références

- Bruneau, M Dumas, P Potiez, P 1984 Etude de l'affaiblissement acoustique de rideaux de liquides *Acustica* **56**, 205-213.
- Géraldin, M Rixen, D 1996 Théorie des vibrations. Application à la dynamique des structures *Masson, Paris*
- Lamb 1993 Hydrodynamics *Cambridge University Press, Cambridge*

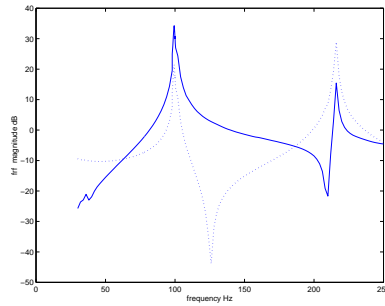


FIG. 2: Modules des fonctions de réponse en fréquence pour la plaque sèche : ligne continue accéléromètre/force ; ligne pointillé microphone/force

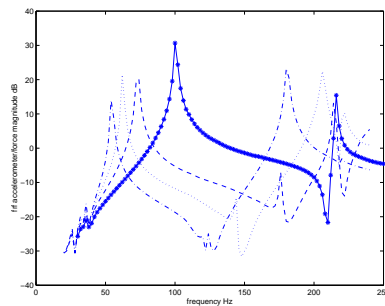


FIG. 3: Influence de l'épaisseur du film d'eau sur le module de la fonction de réponse en fréquence (microphone/force) : *, plaque sèche; - - $\tilde{\rho} = 1.71$ épaisseur de film 4.6 mm ; : $\tilde{\rho} = 2.97$ épaisseur de film 8.0 mm ; - - $\tilde{\rho} = 4.92$ épaisseur de film 13.3 mm

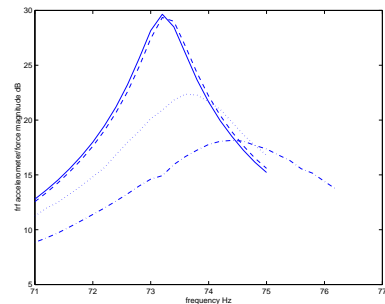


FIG. 4: Influence de l'amplitude d'excitation sur la fonction de réponse en fréquence (accéléromètre/force), avec 5.3 kg m^{-2} de masse d'eau ajoutée: $0.0046m$ $\tilde{\rho} = 1.70$: $- 3.16 \text{ ms}^{-2}$; - - 3.33 ms^{-2} ; - . - 12.7 ms^{-2} ; : 25.3 ms^{-2} .

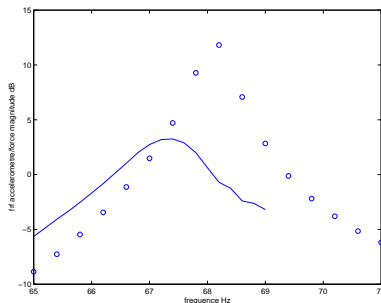


FIG. 5: Influence de la viscosité sur la fonction de réponse en fréquence (accélération/force) pour une masse ajoutée de 5.3 kg/m^2 : - eau ; o huile. La viscosité de l'huile, non sollicité du fait de l'absence d'ondes de surface, ne participe pas à l'amortissement.

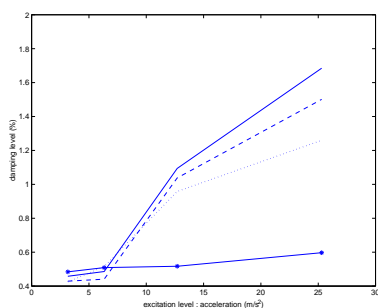


FIG. 6: Influence de l'amplitude d'excitation sur le niveau d'amortissement (accéléromètre/force) pour plusieurs niveau d'eau : * 0.0 m ; - 4.6 mm ; -- 8.0 mm ; + 13.3 mm . Lorsque les ondes de surface apparaissent (entre des niveau d'excitation de 6 et 13 m/s^2), l'amortissement s'accroît brusquement .

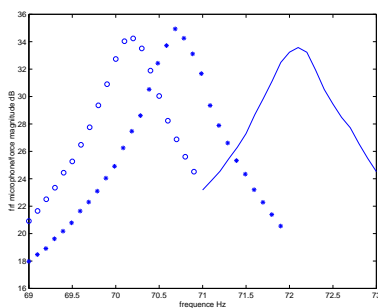


FIG. 7: Influence de la viscosité sur la fonction de réponse en fréquence (microphone/force) pour une masse ajoutée de 4.6 kg/m^2 : - eau ; o (72% eau 25% glucose) ; * (49% eau 51% glucose).