



HAL
open science

Modélisation numérique et caractérisation expérimentale des cellules hybrides efficaces en isolation acoustique sur une large bande de fréquences

Azzedine Sitel, Marie-Annick Galland, Catherine Guigou-Carter

► To cite this version:

Azzedine Sitel, Marie-Annick Galland, Catherine Guigou-Carter. Modélisation numérique et caractérisation expérimentale des cellules hybrides efficaces en isolation acoustique sur une large bande de fréquences. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00551170

HAL Id: hal-00551170

<https://hal.science/hal-00551170v1>

Submitted on 2 Jan 2011

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.

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Modélisation numérique et caractérisation expérimentale des cellules hybrides efficaces en isolation acoustique sur une large bande de fréquences

Azzedine Sitel¹, Marie-Annick Galland², Catherine Guigou-Carter¹,

¹CSTB, 24Rue Joseph Fourier, F-38400 Saint Martin d'Hères, {azzedine.sitel, catherine.guigou}@cstb.fr

²LMFA, Ecole Centrale de Lyon, 36, Avenue Guy de Collongue 69130, {marie-annick.galland}@ec-lyon.fr

Dans cette étude, une méthode numérique permettant de modéliser des cellules hybrides et les éléments actifs et passifs qui les composent est développée. Les cellules étudiées sont composées de plaques métalliques minces actives et passives offrant un très bon rapport (isolation acoustique)/(épaisseur et masse) des cellules. La plaque active joue le rôle de la source secondaire, elle rayonne des ondes acoustiques sous l'effet d'actionneurs piézo-électriques. La méthode de simulation est basée sur un calcul éléments finis réalisé avec le logiciel Nastran. Les cellules modélisées sont de types monoplaque et double plaque. La matrice de diffusion traduisant le comportement passif de la plaque active est modélisée ainsi que le spectre de ses pressions rayonnées traduisant son comportement actif. L'effet sur l'efficacité de la source secondaire des conditions aux limites est simulé. L'influence de l'épaisseur de la lame d'air sur l'isolation acoustique des cellules de type double plaque est abordée. Afin de valider le calcul, une méthode expérimentale permettant de caractériser en conduit la plaque active d'une part, et l'isolation acoustique d'un système hybride d'autre part est appliquée. Un très bon accord entre le calcul et l'expérience est trouvé pour les deux cellules hybrides étudiées ainsi que pour la plaque active jouant le rôle de la source secondaire.

1 Introduction

Le développement de parois offrant un bon rapport (isolation acoustique)/(masse+épaisseur) dans une large bande de fréquences est un objectif majeur aussi bien pour l'industrie du bâtiment que celle des moyens de transports. Avec des parois totalement passives, il est très difficile d'obtenir un bon rapport (isolation acoustique)/(masse et épaisseur) en particulier en très basses fréquences et aux fréquences de résonances. Pour améliorer les performances acoustiques des parois, des solutions basées sur le contrôle actif ont été proposées avant les années soixante [1]. Toutefois, le poids et l'encombrement importants des systèmes de contrôle actif (sources acoustiques, cartes électroniques de contrôle, microphones) de cette période ont limité l'usage du contrôle actif en acoustique à des applications très restreintes. Néanmoins, avec les avancées actuelles en matière d'informatique, d'électronique et de traitement de signal, il est maintenant possible de concevoir des sources acoustiques et des cartes de contrôle actif puissantes et efficaces tout en gardant une masse et une épaisseur faibles. Ainsi, le recours au contrôle actif pour concevoir à grande échelle des parois légères, minces et efficaces en isolation et/ou en absorption acoustique dans une large bande de fréquences n'est qu'une question de temps. Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet PARABAS, elle est la continuité des travaux réalisés précédemment au LMFA de l'Ecole Centrale Lyon [2], elle porte sur la modélisation numérique et la caractérisation expérimentale des cellules hybrides permettant d'atteindre un bon rapport (isolation acoustique)/(masse et épaisseur). Les cellules étudiées sont rectangulaires (6.6cm × 6.6cm) de type double plaque et monoplaque. La cellule de type double plaque est composée d'une plaque active couplée avec une plaque mince par une lame d'air. La plaque active joue le rôle de la source secondaire d'un système de

contrôle actif intégré à la cellule, elle rayonne des ondes acoustiques sous l'effet d'actionneurs piézo-électriques collés sur ses deux côtés [2]. Dans un premier temps, une méthode de simulation numérique permettant de modéliser la plaque active et le facteur perte par transmission TL des cellules hybrides est présentée. Cette méthode est basée sur un calcul éléments finis réalisé avec le logiciel Nastran. La plaque active est modélisée via la simulation de sa matrice de diffusion [3] et de son vecteur des pressions rayonnées [4]. L'effet mécanique des actionneurs piézoélectriques sur le rayonnement de la plaque active est modélisé par une force ponctuelle appliquée au centre des actionneurs. Le facteur perte par transmission TL des cellules est simulé dans le cas du contrôle actif. Pour valider le calcul, une méthode expérimentale basée sur la mesure de la matrice de diffusion d'une discontinuité à deux ports [3,4] est présentée. Cette méthode de mesure est appliquée pour caractériser la plaque active et mesurer le facteur perte par transmission des cellules hybrides.

2 Méthode de Simulation

2.1 Modélisation de la plaque active

On considère une plaque active insérée dans un conduit rectangulaire avec des parois rigides (voir figure 1). Sous l'effet des actionneurs piézo-électriques, cette plaque vibre et rayonne des ondes acoustiques dans ses deux côtés. Dans le cadre de l'acoustique linéaire, et pour des fréquences inférieures à 2000Hz où seule l'onde plane se propage dans le conduit, le vecteur des ondes sortantes $\{P_1^-, P_2^+\}$ est lié au vecteur des ondes entrantes $\{P_1^+, P_2^-\}$ par la relation linéaire suivante [3, 4]:

$$\begin{Bmatrix} P_1^-(z_1) \\ P_2^+(z_2) \end{Bmatrix} = [D]_{2 \times 2} \cdot \begin{Bmatrix} P_1^+(z_1) \\ P_2^-(z_2) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} P_1^{S-}(z_1) \\ P_2^{S+}(z_2) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Où:

$$[D]_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \quad (2)$$

P_1^{S-} et P_2^{S+} sont les pressions rayonnées de part et d'autre de la plaque, elles représentent son comportement actif. $[D]_{2 \times 2}$ est la matrice de diffusion de la plaque, elle représente son comportement passif. Les coefficients D_{11} et D_{22} représentent respectivement les coefficients de réflexion anéchoïques de la plaque dans les côtés (1) et (2). D_{21} représente le coefficient de transmission anéchoïque du côté (1) vers le côté (2), D_{12} représente le coefficient de transmission anéchoïque du côté (2) vers (1). Dans le cas où la plaque est parfaitement symétrique, nous avons les propriétés de symétrie suivantes:

$$D_{21} = D_{12} ; D_{11} = D_{22} \quad (3)$$

$$P_1^{S-} = P_2^{S+} \quad (4)$$

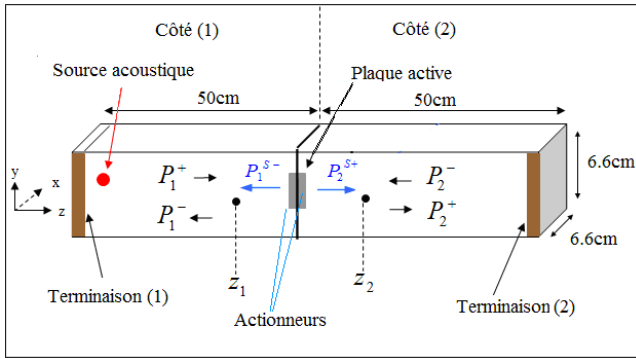


Figure 1 : Schéma général d'une plaque rayonnante insérée dans un conduit fini contenant une source acoustique.

On peut distinguer deux conditions acoustiques différentes du conduit de la figure 1:

- **Condition (a)** : Les deux terminaisons du conduit sont anéchoïques (P_2^- et P_1^+ sont nulles) et la source ponctuelle placée proche de la terminaison (1) est enlevée du conduit. L'équation (1) devient dans ce cas:

$$\begin{Bmatrix} P_1^{S-}(z_1) \\ P_2^{S+}(z_2) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1^-(z_1) \\ P_2^+(z_2) \end{Bmatrix} \quad (5)$$

Dans ce cas où seule l'onde plane se propage à l'intérieur du conduit dans la bande de fréquences étudiée, l'effet mécanique des actionneurs sur la vibration et donc le rayonnement de la plaque peut être modélisé avec une force ponctuelle appliquée au centre des actionneurs.

- **Condition (b)**: les actionneurs piézo-électriques sont désactivés et la terminaison (2) est anéchoïque (P_2^- , P_1^{S-} et P_2^{S+} sont nulles). L'équation (1) aboutit dans ce cas à l'équation suivante:

$$\begin{Bmatrix} P_1^-(z_1) \\ P_2^+(z_2) \end{Bmatrix} = [D]_{2 \times 2} \cdot \begin{Bmatrix} P_1^+(z_1) \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

Ce qui donne en combinant les équations (3), (4) et (6) les deux relations suivantes :

$$D_{11} = D_{22} = P_1^-(z_1)/P_1^+(z_1) \quad (7)$$

$$D_{21} = D_{12} = P_2^+(z_2)/P_1^+(z_1) \quad (8)$$

La simulation de la matrice de diffusion et du vecteur des pressions rayonnées de la plaque active est réalisée en modélisant le conduit présenté dans la figure 1 en utilisant le logiciel de calcul par éléments finis Nastran. Ainsi, la simulation de $\{P_1^{S-}, P_2^{S+}\}$ est réalisée à l'aide de l'équation (5) en modélisant le conduit avec la condition (a). Les terminaisons anéchoïques sont modélisées en attribuant aux deux extrémités du conduit une impédance Z_0 égale à celle de l'air. L'action mécanique des actionneurs sur la plaque est modélisée à l'aide d'une force ponctuelle appliquée au centre de la plaque orientée selon l'axe Z. La simulation des coefficients de la matrice de diffusion $[D]_{2 \times 2}$ est réalisée à l'aide des équations (7) et (8) en modélisant le conduit de la figure 1 dans le cas de la condition (b).

2.2 Simulation numérique du facteur perte par transmission acoustique des cellules hybrides

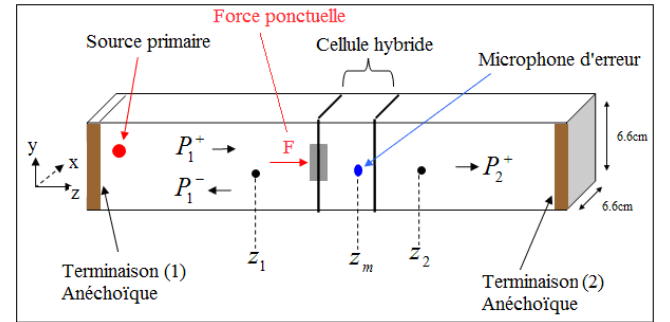


Figure 2 : Schéma général d'une cellule hybride insérée dans un conduit avec des terminaisons anéchoïques.

On considère une cellule hybride double plaque insérée dans le conduit présenté dans la figure.2. Elle est composée de la plaque rayonnante, d'un microphone d'erreur placé à z_m et d'une plaque mince. En vue d'améliorer l'isolation acoustique de la cellule, la plaque active est liée à un système de contrôle actif, elle joue le rôle de la source secondaire en minimisant le niveau de pression acoustique au microphone d'erreur créé par la source primaire (source ponctuelle). Dans le cas où la terminaison (2) du conduit est anéchoïque, le facteur perte par transmission TL(dB) de la cellule est calculé avec la relation suivante:

$$TL(dB) = 20 \cdot \text{Log} \left(\left| P_1^+(z_1) / P_2^+(z_2) \right| \right) \quad (9)$$

La simulation du facteur TL(dB) dans le cas du contrôle actif est réalisée avec deux étapes. La première est l'optimisation du spectre complexe de la force ponctuelle (jouant le rôle des actionneurs) qui permet la minimisation de la pression acoustique au point de contrôle. La deuxième étape est le calcul de la pression transmise $P_2^+(z_2)$ résultant de l'action de la force ponctuelle optimisée et de l'action de la source primaire placée proche de la terminaison (1). L'expression du spectre d'amplitude complexe $F^{op}(f)$ de la force ponctuelle optimisée est donnée par la relation suivante [1]:

$$F^{op}(f) = -P^{Pr}(z_m, f) / P^{Ss}(z_m, f) \quad (10)$$

Où $P^{Pr}(z_m, f)$ est le spectre de la pression acoustique au microphone d'erreur créée par la source primaire seule. $P^{Ss}(z_m, f)$ est le spectre de la pression acoustique au microphone d'erreur créée par le rayonnement de la plaque active (source secondaire) sous l'effet d'une force ponctuelle ayant une amplitude unitaire égale à 1 Newton pour toutes les fréquences étudiées.

Les différentes étapes de la simulation du facteur TL(dB) dans le cas du contrôle actif sont décrites par l'organigramme de la figure 3. Elles sont commentées ci-dessous:

1- Un maillage éléments finis du conduit de la figure (2) est d'abord créé avec le logiciel Patran. La sortie est un fichier A.bdf (entrée pour Nastran). A ce stade, les excitations (force ponctuelle et source primaire) ne sont pas encore introduites. Ensuite, deux fichiers .bdf sont générés à partir du fichier A.bdf. Le premier est un fichier B.bdf associé à la source primaire seule. L'excitation ou la charge est dans ce cas une source acoustique monopolaire placée sur un noeud proche de la terminaison (1) du conduit. Le deuxième est le fichier C.bdf dont l'excitation est une force ponctuelle parallèle à l'axe Z appliquée sur un noeud du maillage des actionneurs. L'amplitude de cette force est égale à un Newton pour toutes les fréquences étudiées.

2- Le logiciel Nastran est lancé 2 fois à partir des fichiers B.bdf et C.bdf. Deux fichiers .f06 sont créés (B.f06 et C.f06), ils comportent la valeur de la pression acoustique en fonction de la fréquence à tous les noeuds du maillage des tronçons remplis d'air du conduit.

3- L'étape suivante consiste à extraire des deux fichiers B.f06 et C.f06 le spectre de la pression acoustique sur le noeud associé à la position du microphone d'erreur. Une fois les deux pressions $P^{Pr}(z_m, f)$ et $P^{Ss}(z_m, f)$ obtenues, on en déduit à l'aide de l'équation (10) le spectre d'amplitude complexe $F^{op}(f)$ de la force ponctuelle optimisée. Pour prendre en compte l'effet de la réponse fréquentielle de la plaque rayonnante sur l'efficacité du contrôle actif, $F^{op}(f)$ est multipliée par le module normalisé du spectre de la pression rayonnée $P_2^{S+}(f)$.

4- Une fois la source secondaire optimisée, la première étape de calcul du facteur TL dans le cas du contrôle actif, est la création d'un fichier D.bdf à partir de A.bdf avec une excitation combinant à la fois la source ponctuelle avec son

spectre d'amplitude optimisé $F^{op}(f)$ et la source primaire.

5- Le logiciel Nastran est lancé à partir du fichier D.bdf. Un fichier D.f06 est créé, il contient la pression acoustique à tous les noeuds du maillage des deux conduits d'air situés de part et d'autre de la cellule dans le cas du contrôle actif.

6- Enfin, le facteur perte par transmission TL(dB) est calculé dans le cas du contrôle actif à l'aide de l'équation (9) après extraction des pressions $P_{1,2}^+$ et du fichier D.f06.

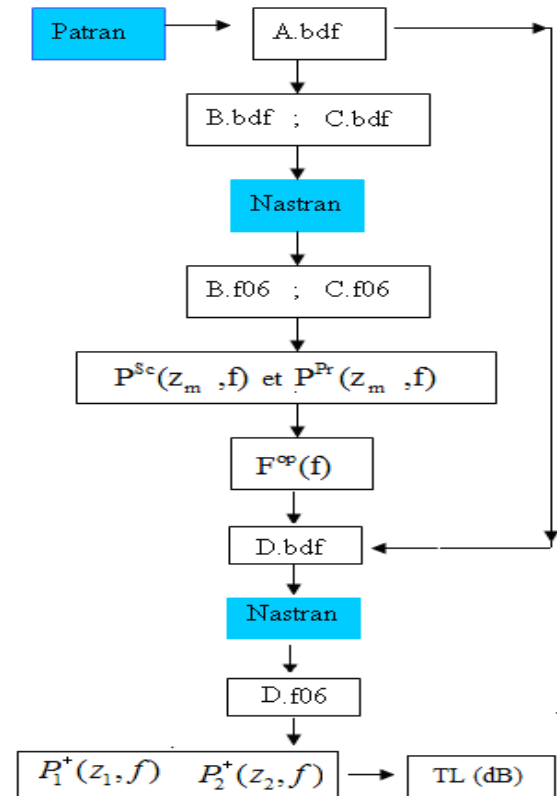


Figure 3 : Organigramme de simulation numérique du facteur perte par transmission TL(dB) d'une cellule hybride dans le cas du contrôle actif.

3 Méthodes de mesure

3.1 Caractérisation expérimentale de la plaque active

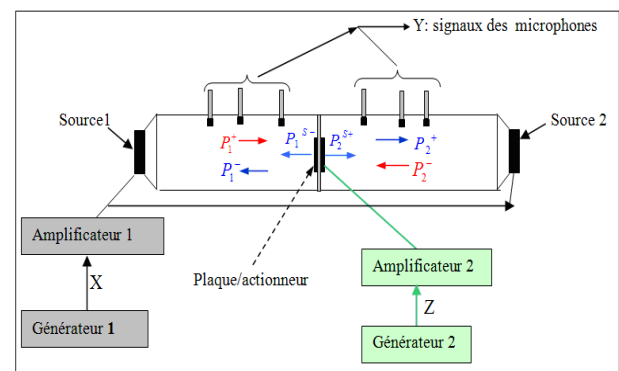


Figure 4 : Conduit expérimental permettant de caractériser la plaque active.

Caractériser la source secondaire revient à mesurer sa matrice de diffusion $[D]_{2 \times 2}$ et ses pressions rayonnées. La méthode de mesure de $[D]_{2 \times 2}$ et de $\{P_1^{S-}, P_2^{S+}\}$ est basée sur la mesure des pressions incidentes et réfléchies P^\pm de part et d'autre de la plaque insérée dans le conduit de mesure de la figure 4. La mesure de la matrice de diffusion $[D]_{2 \times 2}$ de la plaque active est réalisée dans le cas passif (sans que les actionneurs soient activés). Pour avoir autant d'équations que d'inconnues, on répète l'expérience deux fois. Pour obtenir un système inversible, on change les conditions acoustiques du conduit d'une mesure à l'autre. Ces deux conditions sont obtenues en utilisant la méthode de deux sources [3-5]:

1ère mesure : la source du côté gauche est activée, celle du côté droit est désactivée. Ainsi, la première mesure des pressions $P_{1,2}^\pm$ donne l'équation suivante:

$$\begin{Bmatrix} P_1^{-(1)} \\ P_2^{+(1)} \end{Bmatrix} = [D]_{2 \times 2} \cdot \begin{Bmatrix} P_1^{+(1)} \\ P_2^{-(1)} \end{Bmatrix} \quad (11)$$

2ème mesure : la source du côté droit est désactivée, celle du côté gauche est activée, ce qui donne:

$$\begin{Bmatrix} P_1^{-(2)} \\ P_2^{+(2)} \end{Bmatrix} = [D]_{2 \times 2} \cdot \begin{Bmatrix} P_1^{+(2)} \\ P_2^{-(2)} \end{Bmatrix} \quad (12)$$

$[D]_{2 \times 2}$ est donc déduite des équations (11) et (12) :

$$[D]_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} P_1^{-(1)} & P_1^{-(2)} \\ P_2^{+(1)} & P_2^{+(2)} \end{bmatrix}_{2 \times 2} \times \begin{bmatrix} P_1^{+(1)} & P_1^{+(2)} \\ P_2^{-(1)} & P_2^{-(2)} \end{bmatrix}_{2 \times 2}^{-1} \quad (13)$$

Les pressions rayonnées $\{P_1^{S-}, P_2^{S+}\}$ expérimentales sont déterminées avec la relation suivante [4] :

$$\begin{Bmatrix} P_1^{S-} \\ P_2^{S+} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1^- \\ P_2^+ \end{Bmatrix} - [D]_{2 \times 2} \cdot \begin{Bmatrix} P_1^+ \\ P_2^- \end{Bmatrix} \quad (14)$$

$[D]_{2 \times 2}$ est la matrice de diffusion expérimentale mesurée dans l'étape précédente. Les $P_{1,2}^\pm$ sont mesurées en activant les actionneurs et en désactivant les sources externes (1) et (2). $P_{1,2}^\pm$ sont déduites à partir des fonctions de transfert entre les signaux Y issus des microphones de mesure et le signal de référence Z sortant de l'amplificateur 2 (voir figure 4).

3.2 Mesure du facteur perte par transmission d'une cellule hybride

Le facteur perte par transmission TL(dB) de la cellule est déduit du coefficient de transmission anéchoïque D_{21} de la matrice de diffusion expérimentale de la cellule hybride à l'aide de la relation suivante:

$$TL(dB) = 10 \cdot \text{Log} \left(1 / |D_{21}|^2 \right) \quad (15)$$

La matrice de diffusion expérimentale de la cellule est mesurée en utilisant l'équation (13). Le contrôle actif est réalisé avec une carte de contrôle basée sur l'algorithme X-LMS filtré [2]. Le signal électrique X alimentant les sources externes (1) et (2) est pris comme signal de référence (voir figure 5).

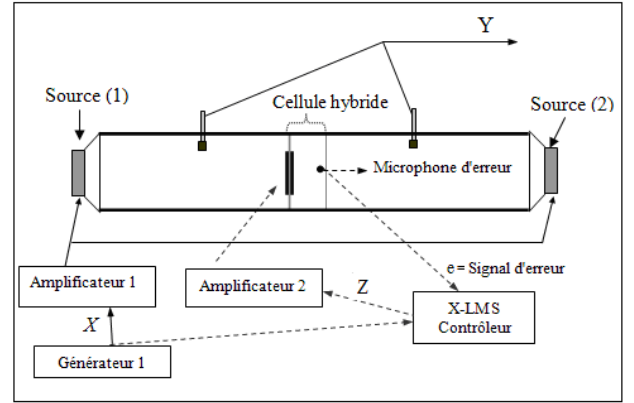


Figure 5 : Conduit expérimental permettant de mesurer la matrice de diffusion d'une cellule hybride.

4 Résultats

Deux cellules hybrides sont étudiées (figure 6). La cellule (A) est de type double plaque, la cellule (B) est de type monoplaque. Les dimensions et les caractéristiques des plaques minces et des actionneurs collés à la plaque active sont listées dans le tableau 1 ci-dessous. Les mesures sont réalisées avec le conduit Matisse [2] du laboratoire LMFA de l'Ecole Centrale de Lyon.

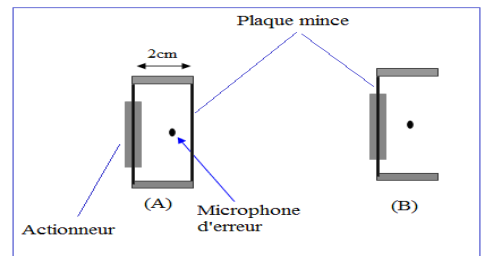


Figure 6 : Schéma des cellules étudiées.

Air	
Fluid mass density	$\rho_0 = 1.213 \text{ kg/m}^3$
Sound speed	$c_0 = 342 \text{ m/s}$
Plaques minces	
Longueur	$a = 6.6 \text{ cm}$
largeur	$b = 6.6 \text{ cm}$
épaisseur	$h = 0.2 \text{ mm}$
Masse volumique	7700 kg/m^3
Module de Young	$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ GPa}$
Coefficient de poisson	$\nu = 0.33$
Actionneurs	
Longueur	$a = 5.5 \text{ cm}$
largeur	$b = 5.5 \text{ cm}$
épaisseur	$h = 0.5 \text{ mm}$
Masse volumique	14435 kg/m^3
Module de Young	$E = 7 \cdot 10^{11} \text{ GPa}$
Coefficient de poisson	$\nu = 0.3$

Tableau 1 : Caractéristiques élastiques et dimensions des plaques et des actionneurs étudiés.

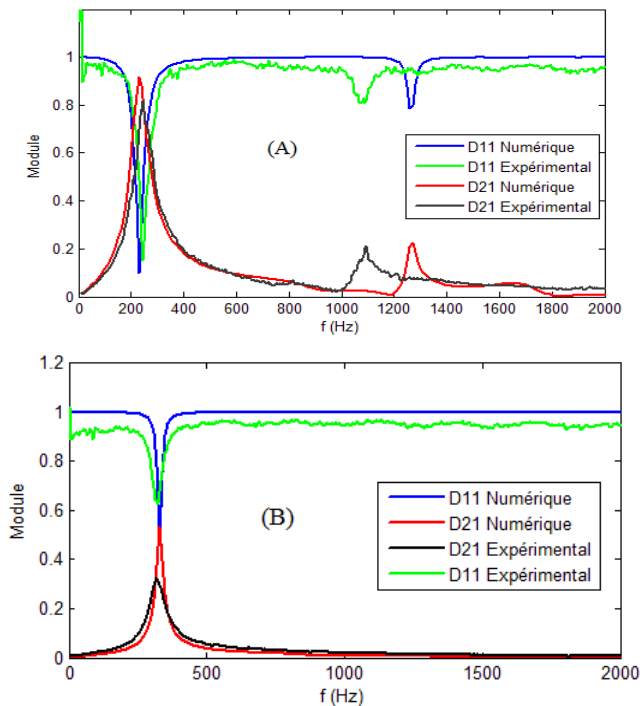


Figure 7 : Coefficients de diffusion expérimentaux et numériques d'une plaque mince avec et sans actionneurs. (A): Plaque mince sans actionneurs; (B): Avec actionneurs.

La figure 7 donne le module numérique et expérimental des coefficients de diffusion d'une plaque mince encadrée avec et sans actionneurs piézoélectriques. Dans les deux cas, les coefficients de diffusion expérimentaux sont en très bon accord avec ceux issus du calcul numérique. Pour la plaque sans actionneurs, le module du coefficient de transmission D_{21} est marqué par deux maxima, celui du coefficient de réflexion D_{11} est marqué par deux minima. Ces pics correspondent aux deux premiers modes vibratoires de la plaque mince. Le premier mode est situé proche de 200Hz. Autour de cette fréquence la plaque devient très transparente. Le second mode (plus petit) est situé autour de 1100Hz pour les coefficients expérimentaux, et autour de 1300Hz pour les coefficients numériques. Ce décalage peut s'expliquer par une différence entre les conditions aux limites théoriques et expérimentales. Pour la plaque avec actionneurs (figure 7 (B)), l'amplitude du premier mode est moins importante que celle du mode vibratoire de la plaque sans actionneurs et, sa fréquence de résonance est décalée vers les hautes fréquences. Cette différence est due à la masse ajoutée apportée par le poids supplémentaire des actionneurs piézoélectriques. Sur la figure 8 est tracé le module des pressions rayonnées P_2^{S+} et P_1^{S-} par une plaque active. La figure 8(A) donne la pression rayonnée calculée numériquement dans le cas d'une plaque excitée par une force ponctuelle pour deux conditions aux limites différentes. La figure 8(B) donne les pressions P_2^{S+} et P_1^{S-} expérimentales d'une plaque excitée par des actionneurs piézo-électriques. On note les remarques suivantes:

- Les résultats numériques et expérimentaux montrent que les plaques rayonnent des ondes acoustiques en particulier autour de la fréquence de résonance de leur premier mode vibratoire.

-Les modules mesurés des P_2^{S+} et P_1^{S-} rayonnées dans les deux côtés de la plaque sont identiques, ce qui vérifie la symétrie du comportement actif de la plaque.

- La simulation montre que les fréquences de résonance sont très sensibles aux conditions aux limites. Plus la plaque est encadrée, plus ses fréquences de résonance se décalent vers les hautes fréquences.

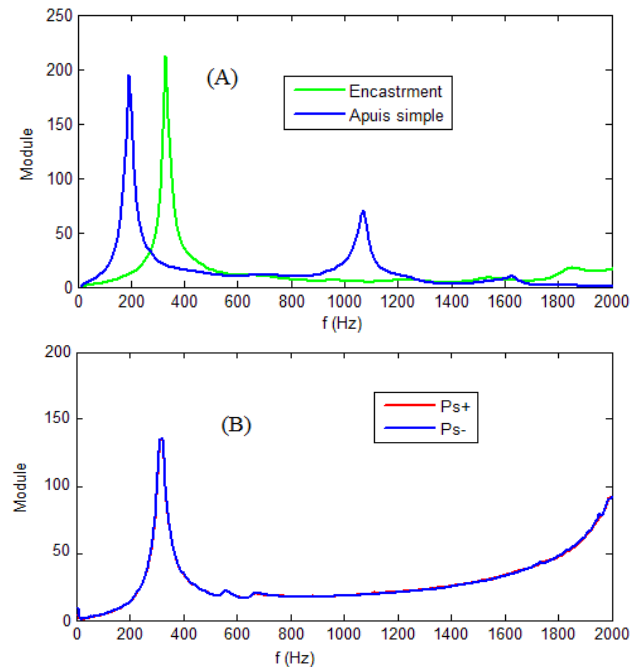


Figure 8 : Module de la pression rayonnée par la plaque active; (A) : Calcul numérique (B) : Expérience

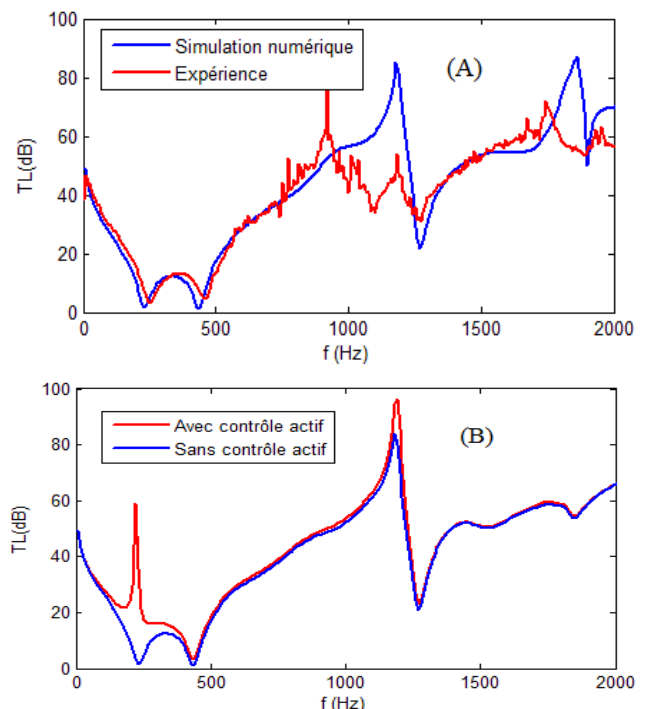


Figure 9 : Facteur perte par transmission TL(dB) de la cellule double plaque de la figure 6; (A) : TL(dB) numérique et expérimental dans le cas passif; (B) : TL(dB) numérique avec et sans contrôle actif.

La figure 9(A) donne le facteur TL(dB) expérimental et numérique dans le cas passif sans contrôle actif. La cellule simulée est composée de deux plaques minces couplées avec une lame d'air de 2 cm d'épaisseur. Un très bon accord est noté entre le calcul et l'expérience. Les deux courbes montrent que l'isolation acoustique de la cellule diminue en particulier au voisinage de deux fréquences particulières. La première, est la fréquence de résonance du premier mode vibratoire des deux plaques minces de la cellule, elle est située proche de 230Hz. La seconde est la fréquence de respiration [1-2] de la double plaque, elle est proche de 500 Hz. Sur la figure 9(B) est tracé TL(dB) numérique simulé avec et sans contrôle actif. On constate que le gain en isolation acoustique obtenu avec le contrôle actif est supérieur à 20dB quand la fréquence est proche de la fréquence de résonance de la plaque rayonnante. Toutefois, l'efficacité du contrôle actif diminue quand on s'éloigne de cette fréquence. Cette tendance est aussi vérifiée par l'expérience (voir figure 10). Ces résultats s'expliquent par le fait que les plaques actives rayonnantes sous l'effet d'actionneurs piézoélectriques ou sous l'effet d'une force ponctuelle, sont efficaces en tant que sources secondaires seulement autour de la fréquence de résonance de leur premier mode vibratoire (voir figure 8). Ainsi, malgré le contrôle actif, les cellules hybrides de type double plaque restent transparentes à des fréquences proches de leur fréquence de respiration. Afin d'éliminer l'effet négatif de la fréquence de respiration (l'effet masse/ressort/masse) sur l'isolation acoustique, nous avons simulé le TL(dB) d'une cellule de type monoplaque (voir figure 6) avec et sans contrôle actif. La figure 11 montre que dans le cas du contrôle actif, l'isolation acoustique de la cellule monoplaque reste supérieure à 16 dB dans toute la bande de fréquences étudiée.

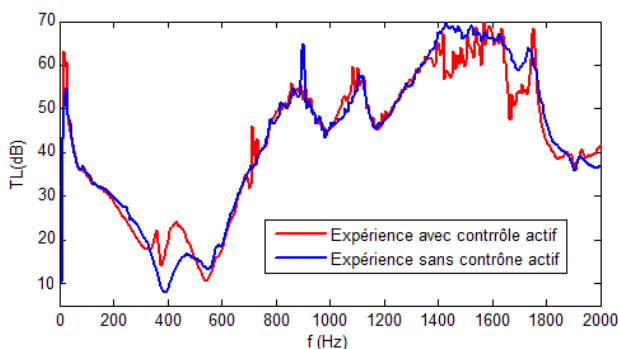


Figure 10 : TL(dB) avec et sans contrôle actif mesuré pour la cellule double plaque (A) de la figure 6.

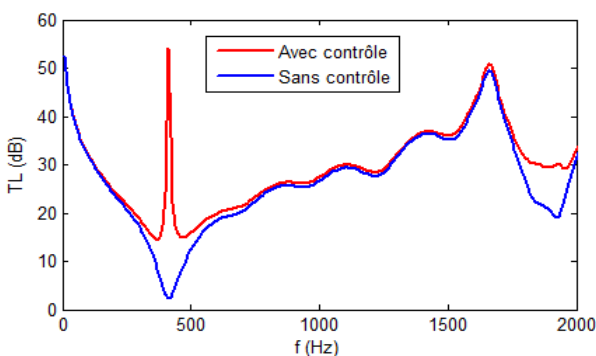


Figure 11: TL(dB) numérique avec et sans contrôle actif simulé pour la cellule monoplaque (B) de la figure 6.

5 Conclusion

Dans ce travail, une méthode numérique permettant de modéliser l'isolation acoustique des cellules hybrides de type double plaque et monoplaque est présentée. Cette méthode permet la simulation du facteur perte par transmission acoustique optimisé des cellules hybrides ainsi que le comportement passif et actif de la plaque active jouant le rôle de la source secondaire. Pour valider les résultats numériques, une méthode expérimentale basée sur la mesure de la matrice de diffusion a été appliquée pour caractériser la plaque active d'une part, et de mesurer l'isolation acoustique des cellules hybrides d'autre part. Un bon accord entre la simulation et l'expérience a été constaté pour une cellule hybride de type double plaque ainsi que pour ses deux plaques active et passive. Les principales conclusions tirées de cette étude sont les suivantes:

- La source secondaire (plaque/actionneurs) est efficace seulement autour de la fréquence de résonance de son premier mode vibratoire.

- Pour les cellules de type double plaque, la simulation et l'expérience ont montré que le contrôle actif permet d'améliorer l'isolation acoustique de la cellule autour de la fréquence de résonance de la plaque active. Proche de cette fréquence, un gain en TL(dB) supérieur à 15dB est obtenu par le contrôle actif. Cependant, le contrôle actif n'améliore pas l'isolation de la cellule autour de sa fréquence de respiration. A cette fréquence, la double plaque reste très transparente.

- La simulation a montré qu'une cellule hybride de type monoplaque présente un très bon rapport (isolation acoustique/masse+épaisseur) aux basses et aux moyennes fréquences. Avec le contrôle actif, le facteur perte par transmission TL(dB) de cette cellule est supérieur à 17dB pour toutes les fréquences étudiées comprises entre 0Hz et 2000Hz.

Remerciements

Ce travail a été soutenu par L'ANR par l'intermédiaire du projet PARABAS (ANR-06-BLAN-0081).

Références

- [1] P.A. Nelson and S.J. Elliott, "Active Control of Sound", Academic Press Limited, London (1992).
- [2] C. Batifol, T.G. Zielinski, M. N. Ichchou and M-A Galland "A finite-element study of a piezoelectric/poroelastic sound package concept", *Smart Mater Struct.* 16 (2007) 168–177.
- [3] M. Abom, "Measurement of a scattering-matrix of acoustical two ports", *Mechanical systems and signal and signal processing.* 5(2), (1991), 89-104.
- [4] J. Lavrenjev, H. Bodèn, M. Abom, "A measurement method for determination the source data of acoustic two-port sources", *J.V.S.*, 1996, 197(1) (1991), 1-16.
- [5] A. Sittel, J-M. Ville, F. Foucart, "Multiloop procedure for measurement of acoustic scattering matrix of a duct discontinuity for higher order modes propagation conditions", *J.A.S.A.*, 2006, Vol (120), Issue 5, pp (2478-2490).