



**HAL**  
open science

## Simulation numérique de l'isolation acoustique d'une double plaque avec un système de contrôle actif

Azzedine Sitel, Catherine Guigou-Carter, Philippe Jean

### ► To cite this version:

Azzedine Sitel, Catherine Guigou-Carter, Philippe Jean. Simulation numérique de l'isolation acoustique d'une double plaque avec un système de contrôle actif. 10ème Congrès Français d'Acoustique, Apr 2010, Lyon, France. hal-00538340

**HAL Id: hal-00538340**

**<https://hal.science/hal-00538340>**

Submitted on 22 Nov 2010

**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.

## Simulation numérique de l'isolation acoustique d'une double plaque avec un système de contrôle actif

Azzedine Sitel<sup>1</sup>, Catherine Guigou-Carter<sup>1</sup>, Philippe Jean<sup>1</sup>

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

Dans ce papier, une méthode numérique permettant de simuler l'isolation acoustique d'une double plaque avec un système de contrôle actif et une couche poreuse à l'intérieur de sa lame d'air est présentée. La double plaque sépare une salle d'émission et une salle de réception, les sources secondaires et les microphones d'erreur sont distribués sur deux plans verticaux à l'intérieur de la lame d'air. Le rôle des sources secondaires est d'améliorer l'indice d'affaiblissement acoustique en basses fréquences en minimisant la pression acoustique aux microphones d'erreur créée par la source primaire placée dans la salle d'émission. Le principe de la simulation est basé sur la méthode découplée de GRIM où la pression rayonnée dans le local de réception est déterminée en fonction de la vitesse vibratoire de la double plaque et des fonctions de Green de la salle de réception. La double plaque et le système de contrôle actif sont modélisés par la méthode d'éléments finis avec le logiciel Nastran. Les fonctions de Green des deux salles sont modélisées analytiquement en utilisant une approche modale. Le modèle développé permet de tester l'effet sur l'efficacité du contrôle actif de plusieurs facteurs tels que les modes acoustiques évanescents à l'intérieur de la lame d'air de la double plaque, l'épaisseur de la lame d'air, le nombre des sources secondaires ainsi que l'effet d'une couche poreuse insérée dans la lame d'air entre le plan des sources secondaires et le plan des microphones d'erreur.

### 1 Introduction

Le développement de parois offrant un bon rapport (isolation et/ou absorption acoustique)/(masse+épaisseur) dans une large bande fréquences est un objectif majeur aussi bien pour l'industrie du bâtiment que celle des moyens de transport. Dans ce but, l'ANR a financé un projet de recherche baptisé PARABAS dont l'objectif est le développement de parois hybrides combinant des solutions actives et passives. Les solutions actives sont basées sur l'utilisation des systèmes de contrôle actif, elles permettent d'assurer l'isolation ou l'absorption acoustique des parois en très basses fréquences. En hautes et moyennes fréquences, les solutions passives prennent le relais, elles sont basées sur l'usage des matériaux absorbants. Cette étude porte sur la simulation numérique de l'indice d'affaiblissement acoustique  $R$  d'une double plaque contenant des sources secondaires de contrôle et des microphones d'erreur à l'intérieur de sa cavité d'air. La double plaque sépare une salle d'émission et une salle de réception. Le rôle des sources secondaires est d'améliorer l'indice  $R$  en minimisant la pression acoustique aux points de contrôle créée par une source primaire localisée dans la salle d'émission. Par ailleurs, dans le cas où les dimensions des volumes sont grandes par rapport à la longueur d'onde, les modes acoustiques d'ordre élevé se propagent même en très basses fréquences. Par conséquent, l'atténuation par contrôle actif de la pression acoustique sur quelques points localisés dans un grand volume ou sur une grande surface n'implique pas forcément l'atténuation du champ acoustique moyen dans ce volume ou sur cette surface. L'intérêt de cette simulation est d'apporter une meilleure compréhension sur les difficultés et les limites rencontrées lorsqu'un système de contrôle actif est installé dans une cavité d'air de grande surface et de petite épaisseur. La méthode de simulation est basée sur la méthode découplée

de GRIM développée par le CSTB [1-2]. La double plaque et les sources de contrôle sont modélisées par la méthode d'éléments finis avec le logiciel Nastran. La simulation permet de tester l'influence sur l'efficacité du contrôle actif des modes acoustiques évanescents à l'intérieur de la cavité d'air, l'effet du nombre de sources et de microphones de contrôle ainsi que l'influence d'une couche poreuse insérée à l'intérieur de la cavité d'air de la double plaque.

### 2 Méthode de simulation

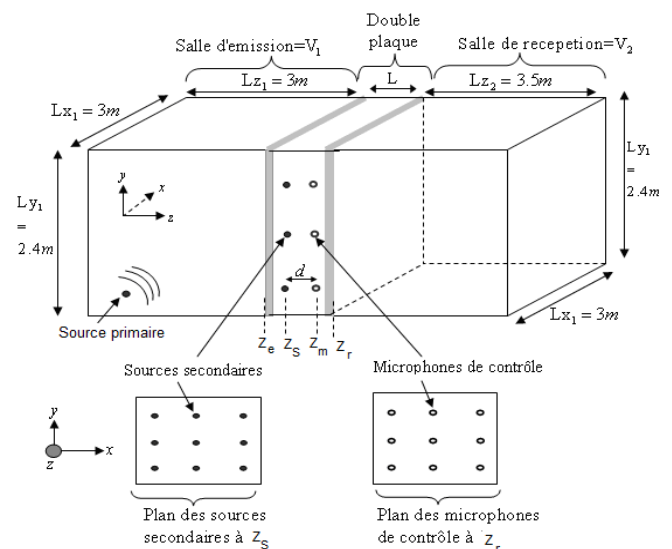


Figure 1 : Schéma du contrôle actif réalisé avec des sources secondaires et des microphones d'erreur placés dans la lame d'air d'une double plaque séparant deux salles.

On considère une double plaque avec une cavité d'air d'épaisseur  $L$  séparant une salle d'émission et une salle de

réception comme le montre la figure 1 ci-dessus. Les sources secondaires sont placées à l'intérieur de la cavité d'air sur un plan vertical à  $z_s$ . Les microphones d'erreur sont placés sur le plan vertical  $z_m$  à une distance  $d$  du plan des sources secondaires. La source primaire est localisée dans la salle d'émission. La simulation de l'indice d'affaiblissement acoustique  $R$  est dans ce cas réalisée avec deux principales étapes : La première est l'optimisation des sources secondaires par le calcul de leur spectre d'amplitude complexe permettant l'annulation de la pression acoustique aux points de contrôle. La seconde étape est le calcul du champ acoustique transmis dans la salle de réception résultant de l'action de la source primaire placée à l'intérieur de la salle d'émission et de l'action des sources secondaires optimisées placées à l'intérieur de la cavité d'air de la double plaque.

## 2.1 Optimisation des sources secondaires

Dans le cas de  $N$  sources secondaires et  $N$  microphones d'erreur, les amplitudes complexes  $A_j^{Sc}(f)$  des sources secondaires permettant d'annuler la pression acoustique aux points de contrôle se déduisent par le système d'équation suivant [3-4] :

$$\{A_j^{Sc}(f)\}_{1 \times N} = -[B(f)]_{N \times N}^{-1} \times \{P_{mic}^{pri}(f)\}_{1 \times N} \quad (1)$$

Où  $\{P_{mic}^{pri}\}_{1 \times N}$  est le vecteur de la pression acoustique aux  $N$  microphones d'erreur créée par la source primaire.  $[B]_{N \times N}$  est la matrice des chemins secondaires. Une  $j^{ème}$  colonne  $\{B_j\}_{1 \times N}$  de la matrice  $[B]_{N \times N}$  représente la pression acoustique créée aux  $N$  microphones d'erreur par la  $j^{ème}$  source secondaire normalisée (ayant une amplitude égale à l'unité pour toutes les fréquences).

Optimiser les sources secondaires revient donc à déterminer par calcul éléments finis les  $N$  colonnes  $\{B_j\}_{1 \times N}$  de la matrice  $[B]_{N \times N}$  et la pression  $\{P_{mic}^{pri}\}_{1 \times N}$  créée par la source primaire aux  $N$  points de contrôle.

Les différentes étapes de l'optimisation sont décrites par l'organigramme de la figure 2. Elles sont commentées ci-dessous :

1- Premièrement, le spectre du champ acoustique primaire dans la salle d'émission est calculé (par le code GAIA développé par le CSTB [1-2]) à tous les nœuds d'une grille maillée régulièrement sur la surface excitée de la double plaque à  $z_e$ . La sortie est un fichier nommé PRESS contenant le spectre de la pression acoustique  $P_{inc}(Q_i)$  aux  $M$  nœuds  $Q_{i=1, \dots, N}$  de la grille.

2- Un maillage éléments finis de la double plaque est d'abord créé avec le logiciel Patran. La sortie est un fichier A.bdf (entrée pour Nastran). Ensuite,  $N+1$  différents fichiers .bdf sont générés à partir du fichier A.bdf. Le premier ( $j=1+N$ ), est un fichier  $P^{pri}.bdf$  associé à la source primaire. L'excitation ou la charge est dans ce cas le spectre du champ acoustique incident  $P_{inc}(Q_i)$  créée par la source primaire aux nœuds  $Q_{i=1, \dots, N}(x_i, y_i, z_e)$ .

L'introduction de  $P_{inc}(Q_i)$  dans A.bdf est réalisée avec un programme nommé Modif\_bdf. Les  $N$  autres fichiers  $B_{j=1, \dots, N}.bdf$  correspondent aux  $N$  différentes sources secondaires normalisées. Chaque fichier  $B_j.bdf$  est créé en introduisant dans A.bdf une source acoustique monopolaire en tant qu'excitation placée au nœud correspondant à la position de la  $j^{ème}$  source secondaire. Pour tous les fichiers  $B_j.bdf$ , l'amplitude des monopoles est égale à 1 pour toutes les fréquences.

3- Le logiciel Nastran est lancé  $N+1$  fois à partir des fichiers  $B_j.bdf$  et  $P^{pri}.bdf$ .  $N+1$  fichiers .f06 ( $B_j.f06$  et  $P^{pri}.f06$ ) sont créés, ils comportent les valeurs de la pression acoustique à tous les nœuds du maillage de la cavité d'air de la double plaque à toutes les fréquences étudiées.

4- l'étape suivante consiste à extraire de chaque fichier f06 la pression acoustique sur les  $N$  nœuds associés aux positions des  $N$  microphones d'erreur et les stocker sous forme de vecteurs  $\{B_j\}_{1 \times N}$  et  $\{P_{mic}^{pri}\}_{1 \times N}$ . Pour cela un code nommé EXTRACT a été développé. Les sorties sont  $N+1$  fichiers, chacun contient la pression acoustique aux  $N$  points de contrôle à toutes les fréquences considérées.

5- La dernière étape de l'optimisation des sources secondaires est le stockage des vecteurs  $\{B_j\}_{1 \times N}$  sous forme de la matrice des chemins secondaires  $[B]_{N \times N}$  et puis le calcul du spectre des amplitudes optimisées  $A_{j=1, \dots, N}^{Sc}(f)$  des  $N$  sources secondaires en utilisant l'équation (1). Cela est réalisé avec un code nommé OPTI. Les sorties sont  $N$  fichiers, chacun est associé à une source secondaire contenant son amplitude complexe optimisée en fonction de la fréquence.

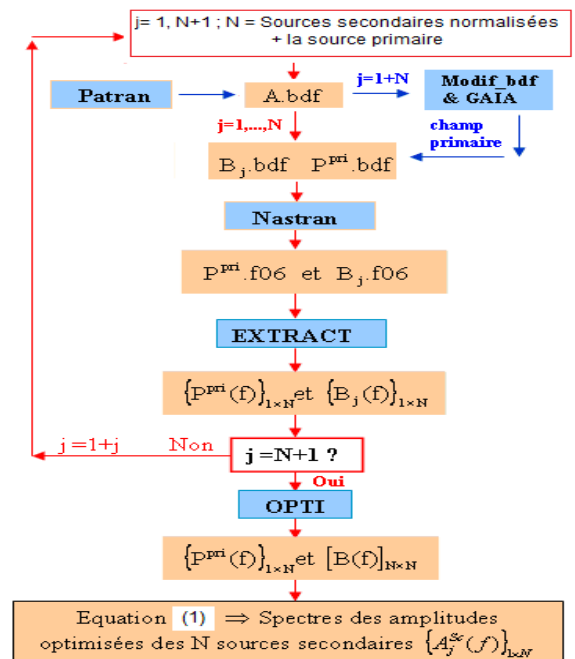


Figure 2 : Optimisation numérique des sources secondaires placées dans la lame d'air de la double plaque.

## 2.2 Calcul de l'indice d'affaiblissement acoustique dans le cas du contrôle actif

La procédure pour le calcul de l'indice d'affaiblissement acoustique dans le cas du contrôle actif est décrites ci-dessous en 5 étapes :

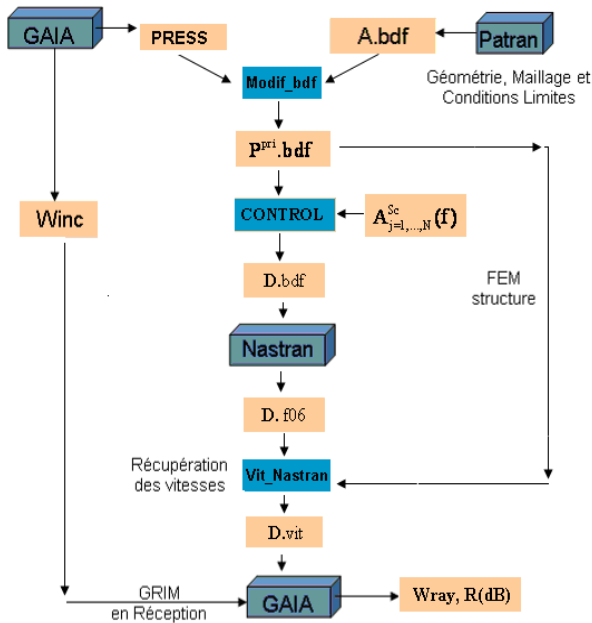


Figure 3 : Calcul de l'indice d'affaiblissement acoustique  $R$ (dB) de la double plaque dans le cas du contrôle actif.

1- La première étape du calcul de l'indice d'affaiblissement acoustique  $R$  dans le cas du contrôle actif est la création d'un fichier  $D.bdf$  (entrée pour Nastran) avec une excitation combinant à la fois les  $N$  monopoles secondaires avec leurs amplitudes optimisées  $A_{j=1,\dots,N}^{Sc}(f)$  et le champ incident  $P_{inc}(Q_i)$  sur la surface excitée de la double plaque.  $D.bdf$  est créée à partir du fichier  $P^{pri}.bdf$  associé à la source primaire créée précédemment en y introduisant des sources monopolaires (placées aux nœuds associés aux positions des sources secondaires) avec leurs spectres d'amplitudes complexes  $A_{j=1,\dots,N}^{Sc}(f)$ . Cette opération est réalisée avec un programme nommé **CONTROL** (voir figure 3 ci-dessus).

2- Le logiciel **Nastran** est lancé à partir du fichier  $D.bdf$ . Un fichier  $D.f06$  est créé, il contient les valeurs de la vitesse vibratoire à tous les nœuds de la double plaque à toutes les fréquences étudiées.

3- L'étape suivante consiste à extraire (avec le logiciel **Vit\_Nastran**) le spectre des vitesses vibratoires associées aux nœuds du maillage situées sur la surface  $z_r$ , rayonnante de la double plaque (côté réception) et les stocker dans un fichier nommé  $D.vit$ .

4- Les vitesses du fichier  $D.vit$  sont ensuite utilisées par le code **GAIA** pour calculer la pression et la puissance acoustique rayonnée à tout point  $M(x,y,z)$  du volume de réception en utilisant l'intégrale de Green [1-2].

5- L'indice d'affaiblissement  $R$  (dB) est enfin calculé à partir des puissances acoustiques moyennes  $W_{inc}$  et  $W_{ray}$  des volumes d'émission et de réception.

## 3 Analyse et discussion des résultats

On note que les étapes de calcul par éléments finis réalisées avec **Nastran** (voir figures 2 et 3) peuvent se faire suivant deux méthodes différentes. La première est la méthode modale réalisée avec le solveur **Nastran 111**. Avec cette méthode, la solution (pression acoustique ou vitesse vibratoire) aux nœuds du maillage de la double plaque se déduit en fonction d'une décomposition modale sur la base des modes acoustiques et structurels de la double plaque ; le nombre de modes est fixé ce qui permet de diminuer le temps de calcul. La deuxième approche est la méthode directe réalisée avec le solveur **Nastran 108**. Avec la méthode directe, la solution aux nœuds est calculée d'une manière exacte (résolution globale du système), ainsi, tous les modes acoustiques et structurels de la double plaque sont indirectement pris en compte. Le temps de calcul est par conséquent plus important que celui de la méthode utilisant une troncature modale.

### 3.1 Influence des modes acoustiques évanescents de la lame d'air de la double plaque dans le cas passif

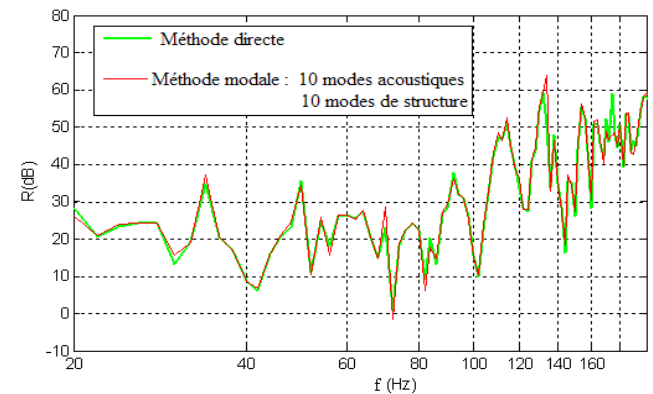


Figure 4 : Indice d'affaiblissement acoustique  $R$ (dB) d'une double plaque passive simulé avec la méthode modale et directe durant les étapes de calcul éléments finis réalisées avec **Nastran**.

Sur la figure 4 est tracé l'indice d'affaiblissement  $R$  d'une double plaque dont les caractéristiques sont données par le tableau 1 ci-dessous. L'épaisseur  $L$  de la cavité d'air de la double plaque est égale à 20cm. L'indice  $R$  est obtenu sans contrôle actif avec les méthodes modale et directe suivant les étapes de calcul éléments finis réalisées par **Nastran**. Avec la courbe verte, l'indice  $R$  est calculé avec la méthode directe où tous les modes acoustiques et structurels de la double plaque sont indirectement pris en compte dans le calcul. Avec la courbe rouge, l'indice  $R$  est simulé avec la méthode modale en prenant en compte dans le calcul les dix premiers modes acoustiques de la cavité d'air et les dix premiers modes de structure. La différence entre les deux courbes est très faible, l'influence sur l'indice  $R$  des modes supérieurs non pris en compte dans la méthode modale est donc négligeable dans la bande de fréquences étudiée. Il est à noter que les modes acoustiques transversaux de la lame d'air qui n'ont pas été pris en compte dans le calcul sont tous évanescents en dessous de 100Hz, car, leur fréquence de coupure étant supérieure à 100Hz [5]. Ainsi, on peut confirmer que la convergence peut être obtenue avec la méthode modale en considérant dans le calcul que les modes structurels et acoustiques dont la fréquence de résonance/coupure est inférieure à la fréquence maximale

étudiée. On peut en conclure que dans le cas passif (c'est-à-dire sans contrôle actif), l'influence sur l'indice R des modes acoustiques évanescents de la cavité d'air de la double plaque est négligeable.

Caractéristiques des deux cloisons de la double plaque	
Largeur et hauteur	$L_x=3m, L_y=2.4m$
Épaisseur	$h=2.5cm$
Module de Young	$E=0.684 GPa$
coefficient de Poisson	$\nu = 0.1$
Masse volumique et matériau	$\rho=725 kg/m^3$ , plâtre
Facteur de perte	0.005
Conditions aux limites	Appuis simple
Absorption des parois des deux salles	Alpha = 0.4

Tableau 1 : Caractéristiques de la double plaque.

### 3.2 Influence des modes acoustiques évanescents de la lame d'air de la double plaque dans le cas du contrôle actif

Le contrôle actif est simulé dans le cas 9 sources secondaires monopôlaires et 9 microphones d'erreur (figure 1). L'épaisseur L de la cavité de la double plaque est égale à 20cm. La distance  $d=z_m - z_s$  séparant le plan des sources secondaires et le plan des microphones d'erreur est égale à 10cm. La distance entre le plan des microphones et la deuxième peau de la double plaque est égale à 5cm. La figure 5 donne le gain sur l'indice R (différence des R avec et sans contrôle) obtenu par un contrôle total (sans limitation de l'efficacité du contrôle actif) aux points correspondants aux positions des microphones d'erreur. Avec la courbe verte, le calcul éléments finis par Nastran est réalisé avec la méthode directe qui prend en compte indirectement tous les modes acoustiques et structurels de la double plaque même lorsqu'ils sont évanescents. Avec les autres couleurs, le calcul éléments finis est réalisé avec la méthode modale. Avec la courbe rouge, seuls les modes acoustiques de la double plaque qui sont propagatifs en dessous de 100 Hz sont pris en compte dans le calcul. La courbe bleue est simulée sur la base de 36 modes acoustiques, soit 10 modes propagatifs et 26 modes évanescents dessous de 100Hz. Avec la courbe mauve, un grand nombre de modes évanescents (supérieur à 200 modes) à l'intérieur de la lame d'air de la double plaque est pris en compte.

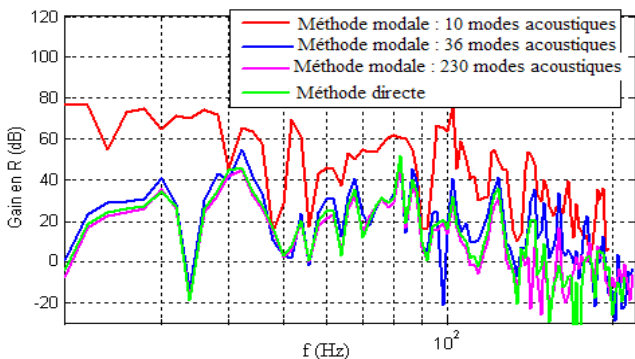


Figure 5 : Gain en indice d'affaiblissement acoustique R(dB) obtenu avec un contrôle actif complet simulé avec la méthode modale et directe durant les étapes de calcul éléments finis réalisées avec Nastran.

Deux remarques principales sont à noter :

- Les courbes calculées avec la méthode modale convergent vers celle obtenue avec la méthode directe

(solution exacte) quand le nombre des modes acoustiques de la lame d'air pris en compte dans le calcul augmente.

- Le gain sur l'indice R obtenu par contrôle actif dans le cas où une grande partie des modes évanescents n'est pas prise en compte dans le calcul (courbe rouge) est largement supérieur à celui simulé avec tous les modes (courbe verte).

On peut donc en conclure que :

- Dans le cas du contrôle actif, à l'inverse du cas passif, la méthode modale ne donne pas des résultats corrects quand le nombre des modes évanescents pris en compte dans le calcul n'est pas suffisamment élevé.

- Les modes acoustiques évanescents (d'ordre élevé) à l'intérieur de la cavité d'air de la double plaque ont un effet très négatif sur l'efficacité du contrôle actif même en très basses fréquences.

L'effet négatif des modes évanescents sur le contrôle actif peut s'expliquer par la combinaison des deux effets suivants :

- Les modes acoustiques évanescents ne sont pas porteurs d'énergie [5], leur influence sur l'indice R est négligeable dans le cas passif (fig.4). En revanche, dans le cas du contrôle actif, ils faussent les signaux communiqués aux sources de contrôle via les microphones d'erreur. Il s'en suit que la réaction des sources secondaires est faussée elle aussi. En effet, les sources secondaires minimisent la pression acoustique aux points de contrôle modifiée par des modes évanescents qui n'ont aucun effet sur R au lieu de minimiser la pression associée aux seuls modes propagatifs.

- Les modes acoustiques évanescents d'ordre supérieur rendent la distribution du champ acoustique en fonction des coordonnées x et y très complexe même en basses fréquences. Par conséquent, la minimisation de la pression acoustique à N points de contrôle par les sources secondaires ne permet pas de minimiser la pression acoustique moyenne sur toute la surface verticale du plan des microphones d'erreur.

Le rôle négatif des modes évanescents est d'autant plus fort que la distance séparant les microphones d'erreur et les discontinuités est faible. Dans notre cas, les discontinuités sont à la fois les deux peaux de la double cloison et les sources secondaires. Ceci est confirmé par la figure 6, car, le gain sur l'indice R obtenu par contrôle dans le cas où l'épaisseur L de la cavité d'air de la double plaque est égale à 5cm est largement inférieur à celui obtenu dans le cas où L=20cm.

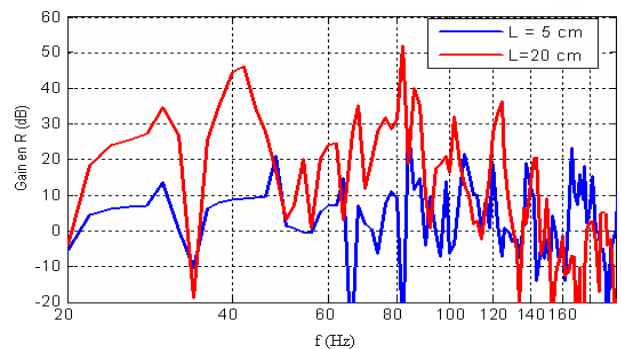


Figure 6 : Gain en indice d'affaiblissement acoustique R(dB) obtenu avec un contrôle actif complet simulé avec la méthode directe pour deux valeurs différentes de l'épaisseur L de la cavité d'air de la double plaque.

### 3.3 Influence du nombre de microphones d'erreur et de sources secondaires sur le contrôle actif

Afin de tester l'influence du nombre de sources secondaires et/ou des microphones d'erreur sur l'efficacité du contrôle. Nous avons simulé trois cas différents du contrôle actif schématisés par la figure 7. Les cas I et II sont simulés respectivement avec 9 et 20 sources secondaires et 9 et 20 microphones d'erreur. Pour le troisième cas, le contrôle est simulé avec 9 sources secondaires et 45 microphones de d'erreur. Dans ce cas, chaque source secondaire est associée à 5 microphones d'erreur. Le signal d'erreur à minimiser est la pression acoustique moyennée sur ces 5 microphones.

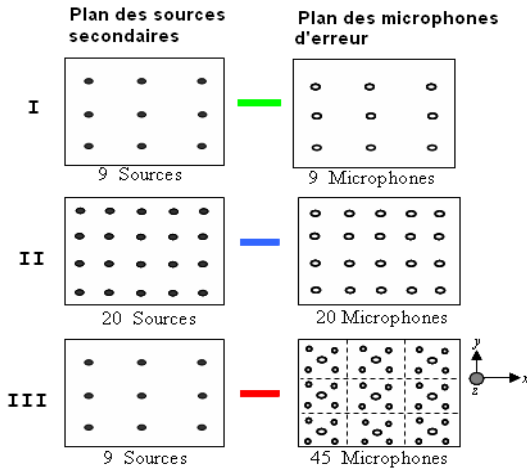


Figure 7 : Schéma précisant les trois cas du contrôle actif simulés.

La figure 8 donne le gain sur l'indice R obtenu par les trois cas du contrôle actif schématisés par la figure 7. Le gain sur l'indice R obtenu par le contrôle actif dans les cas II et III est meilleur en basses fréquences de quelques dB par rapport au cas I, de plus, la bande de fréquences contrôlée est élargie aux hautes fréquences. Deux petites différences entre le cas II et III sont cependant à signaler :

- En très basses fréquences proches de 20Hz, le gain sur l'indice R obtenu dans le cas III est supérieur à celui obtenu dans le cas II (la différence entre les deux courbes est de l'ordre de 9dB).
- Pour le cas II, la fréquence en dessous de laquelle le gain sur l'indice R reste positif est légèrement supérieure à celle associée au cas III.

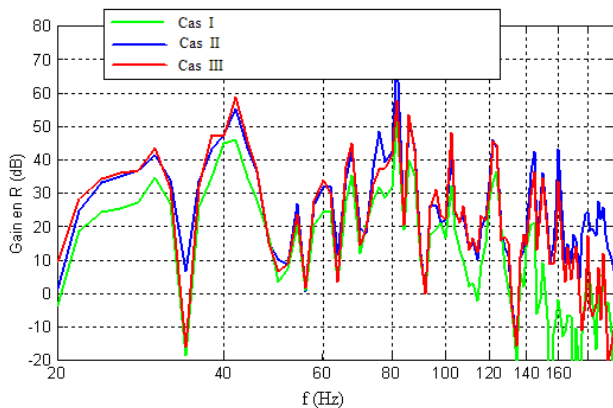


Figure 8 : Gain en indice R(dB) obtenu avec un contrôle actif complet simulé avec la méthode directe pour les trois cas différents du contrôle actif de la figure 7.

D'une manière générale, ces résultats montrent que le gain en isolation acoustique obtenu par l'augmentation du nombre de sources secondaires ou de microphones d'erreur n'est pas très important devant le coût et la masse du matériel ajouté. En effet, à cause des modes évanescents dans la lame d'air, la multiplication du nombre de sources secondaires ou de microphones d'erreur n'améliore pas d'une manière significative l'efficacité du contrôle actif.

### 3.4 Influence d'une couche de matériau absorbant insérée entre le plan des sources secondaires et le plan des microphones d'erreur

Pour apporter une nette amélioration sur l'efficacité du contrôle actif, il faut éliminer l'effet négatif des modes acoustiques évanescents sur le plan des microphones d'erreur. Dans ce but, l'insertion d'une couche de matériau poreux entre le plan des sources secondaires et le plan des microphones d'erreur pourrait être un bon moyen (voir figure 9). En effet, les modes évanescents s'atténuent d'une manière beaucoup plus importante dans un milieu absorbant (tel qu'un matériau poreux) que dans l'air.

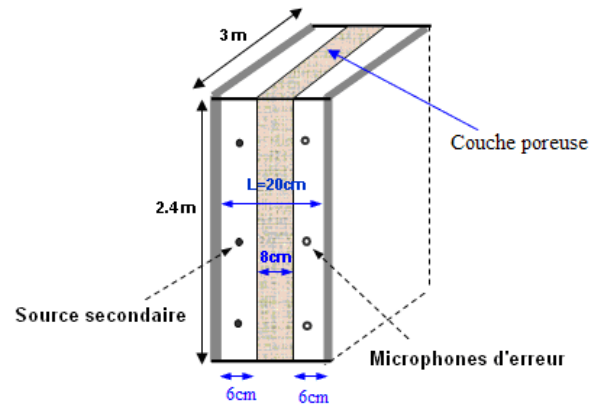


Figure 9 : Schéma d'une double plaque avec une couche de matériau poreux insérée entre le plan des sources et le plan des microphones de contrôle.

Le matériau poreux est simulé avec le modèle du fluide équivalent [5] par Nastran. L'épaisseur de la couche poreuse est de 8 cm, ces caractéristiques sont données par le tableau 2.

La figure 10 donne l'indice d'affaiblissement R(dB) de la double plaque simulé avec et sans couche poreuse dans le cas passif (c'est-à-dire sans contrôle actif). Le matériau poreux est simulé avec le modèle du fluide équivalent [5] par Nastran. L'épaisseur de la couche poreuse est de 8cm, ses caractéristiques sont données par le tableau 2.

Les tendances de la courbe de l'indice R avec la couche poreuse sont en bon accord avec les résultats attendus. En effet, la fréquence de résonance de la double plaque (masse-ressort-masse) située à 44 Hz pour l'indice R pour la cloison sans matériau poreux, a été légèrement décalée vers les basses fréquences pour l'indice R pour la cloison avec couche poreuse. De plus, à partir de 80Hz, l'indice R obtenu pour la cloison avec la couche poreuse est généralement plus grand que celui calculé pour la cloison sans matériau poreux ce qui est accord avec les résultats de la littérature, car, le matériau poreux dissipe d'avantage l'énergie acoustique quand la fréquence augmente.

Caractéristiques de la couche poreuse (model fluide équivalent)	
Résistivité	$\sigma = 36000 \text{ Nm}^{-4}$
Porosité	$\phi = 0.95$
Tortuosité	$\alpha_{\infty} = 1.1$
Longueur caractéristique visqueuse	$\Lambda = 150 \mu\text{m}$
Longueur caractéristique thermique	$\Lambda' = 220 \mu\text{m}$

Tableau 2 : Constantes caractéristiques du matériau de la couche poreuse.

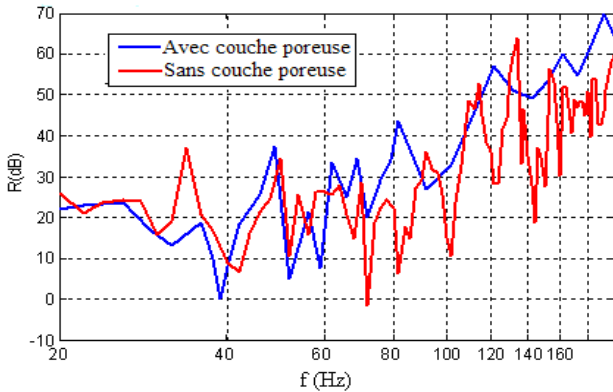


Figure 10 : Indice R(dB) d'une double plaque passive simulé avec et sans couche poreuse entre le plan des sources secondaires et le plan des microphones d'erreurs.

Le gain sur l'indice R obtenu par contrôle actif calculé avec et sans couche poreuse est tracé dans la figure 11. Avec la couche poreuse absorbante, le contrôle actif est très efficace en basses fréquences. En effet, Plus que 36dB de différence entre les deux cas (avec et sans poreux) pour les très basses fréquences proches de 20Hz. Et, plus de 20 dB de différence entre les deux cas pour les fréquences comprises entre 20Hz et 70Hz. On peut conclure que l'usage d'une couche de matériau poreux entre le plan des microphones d'erreur et le plan des sources secondaires permet d'améliorer considérablement le contrôle actif en basses fréquences en éliminant une grande partie de l'effet négatif des modes évanescents aux points de contrôle.

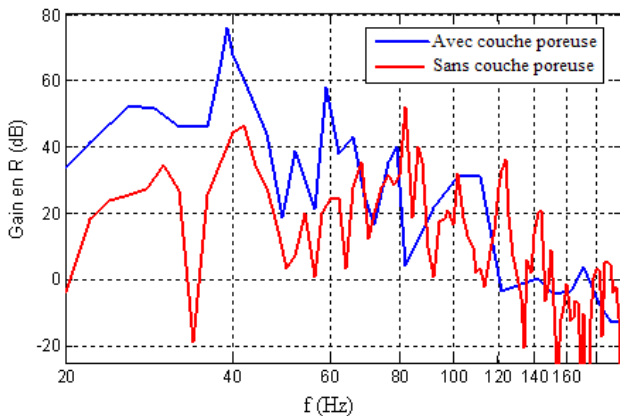


Figure 11 : Gain en indice d'affaiblissement acoustique R(dB) d'une double plaque simulé avec et sans couche poreuse insérée entre le plan des sources secondaires et le plan des microphones d'erreurs.

## 4 Conclusion

Dans cette étude, une méthode de simulation permettant de prédire l'indice d'affaiblissement acoustique d'une double plaque avec un système de contrôle actif et une couche poreuse à l'intérieur de sa cavité d'air est développée. Les principales conclusions tirées de cette simulation sont les suivantes:

- Les modes évanescents à l'intérieur de la cavité de la double plaque ont un effet très négatif sur l'efficacité du contrôle actif en basses fréquences même quand le nombre des sources secondaires et des microphones d'erreur est important. Cet effet négatif augmente quand l'épaisseur de la lame d'air diminue. Cela s'explique essentiellement par le fait que les modes évanescents faussent les signaux communiqués aux sources de contrôle via les microphones d'erreur.

- L'usage d'une couche de matériau absorbant entre le plan des microphones d'erreur et le plan des sources secondaires élimine l'effet négatif des modes évanescents, et améliore considérablement le gain sur l'isolation acoustique obtenu par le contrôle actif en particulier aux très basses fréquences.

Les perspectives de ce travail sont d'une part la réalisation des mesures de l'indice d'affaiblissement acoustique R dans le cas où les sources et les microphones d'erreur sont placés à l'intérieure de la lame d'air d'une double plaque séparant deux locaux, et d'autre part, la simulation du contrôle actif en prenant en compte la réponse fréquentielle, la directivité et le comportement passif (réflexion, diffraction) des sources secondaires utilisées en pratique.

## Remerciements

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

## Références

- [1] P. Jean, P. and J.-F. Rondeau, "A simple decoupled modal calculation of sound transmission between volumes", *Acta Acustica united with Acustica*, 2002, 88, 924–933.
- [2] P. Jean, H. Siwiak, and G.Joubert, "A decoupled vibro-acoustic development of fem: application to laboratory modelling", *Building Acoustics*, 2006, 13, 83 – 98.
- [3] P.A. Nelson and S.J. Elliott, "Active Control of Sound", Academic Press Limited, London (1992).
- [4] P. Sas, C. Bao, F. Augusztinovicz and W. Desmet, "Active control of sound transmission through a double panel partition", *Journal of Sound and Vibration*, 180(4), 609-625 (1995).
- [5] A. Sittel "Méthodes de mesure des matrices acoustiques des discontinuités à un ou à deux ports en présence des modes élevés" Décembre 2005. Thèse de l'université de Technologie de Compiègne.
- [6] J. F Allard, "Propagation of Sound in Porous Media: Modelling Sound Absorbing materials", New York, Elsevier (1993).