HAL open science

Rayonnement acoustique de structures de type ossature bois : comparaison entre méthode éléments finis et formulation intégrale

Antonin Tribaleau, Olivier Dazel, Najat Tahani, Bruno Brouard, Jean-Michel Génevaux

To cite this version:

Antonin Tribaleau, Olivier Dazel, Najat Tahani, Bruno Brouard, Jean-Michel Génevaux. Rayonnement acoustique de structures de type ossature bois : comparaison entre méthode éléments finis et formulation intégrale. CFM 2011 - 20ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2011, Besançon, France. hal-03421302

HAL Id: hal-03421302

https://hal.science/hal-03421302v1

Submitted on 9 Nov 2021

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.

Rayonnement acoustique de structures de type ossature bois : comparaison entre méthode éléments finis et formulation intégrale

A. Tribaleau[a,b], O. Dazel[b], N. Tahani[b], B. Brouard[b], J.M. Génevaux[b]

a. *Critt Bois, 27 rue Philippe Seguin, 88051 EPINAL*
b. *Laboratoire d'Acoustique de l'Université du Maine (LAUM), UMR CNRS 6613, avenue Olivier Messiaen, 72085 LE MANS cedex 9*

Résumé :

Un des points délicats de la construction bois se situe au niveau de l'isolation acoustique des planchers bois. L'objectif de cet article est de déterminer le rayonnement acoustique de ce type de structures (légères et nervurées). Deux méthodes sont présentées, l'une modélisant, par éléments finis, le domaine global (structure in-vivo) et son couplage, l'autre exploitant une méthode mixte (élément finis et formulation intégrale) sur la structure in-vacuo. Un code éléments finis sous licence libre (FreeFem++) est employé dans cette étude en comparaison avec un des codes commerciaux.

Abstract :

A sensitive issue of the construction timber is at the level of sound insulation of timber floors. The aim of this paper is to determine the acoustic radiation of this type of weightless structures. Two methods are used : a finite element method for the struture and the fluid, and a mixed method using boundary elements for the fluid and finite elements for the structure. The free code FreeFem++ is used.

Mots clefs : vibroacoustique ; bois ; plancher

1 Introduction et contexte de l'étude

Les différents courants actuels, portant l'écologie et l'environnement au premier plan des préoccupations nationales et internationales, représentent de véritables tremplins à l'utilisation des matériaux biosourcés dans la construction (cf. figure 1). La légèreté du matériau bois soulage les structures porteuses, mais elle accroît leur sensibilité aux ondes mécaniques (acoustiques et vibratoires) par rapport à celle des constructions dites "lourdes" (cf. loi de masse en acoustique du bâtiment). L'ingénierie acoustique dans les constructions légères doit se pencher sur cet ancien mode de construction, qui retrouve sa place aujourd'hui, pour assurer le confort attendu.

2 Méthodes et résolutions numériques du rayonnement acoustique

2.1 Description générale du problème de couplage fluide-structure

Pour résoudre des problèmes acoustiques, il existe principalement deux méthodes : les *Méthodes Éléments Finis* (FEM) et les *Méthodes Éléments de Frontières* (BEM). En acoustique du bâtiment où les problèmes se concentrent essentiellement sur des domaines bornés, les deux méthodes sont applicables et ne présentent pas de singularités particulières. Sur la figure 2, on présente la configuration du domaine global de l'étude qui se compose d'un domaine solide Ω_S, d'un domaine fluide Ω_F et d'une interface Σ.

FIGURE 1 – Structure à ossature bois - plancher et mur

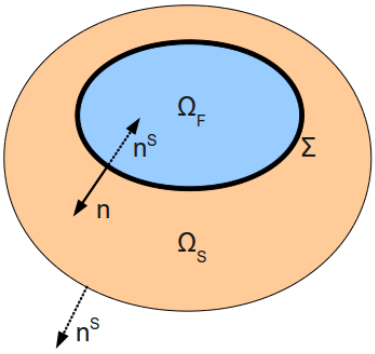

FIGURE 2 – Schéma d'un problème fermé de couplage fluide-structure

2.2 Problème à géométrie bidimensionnelle

La technique de résolution par méthode FEM et par méthode FEM/BEM est menée, dans un premier temps, sur un domaine bidimensionnel permettant de limiter le temps de calcul et l'espace mémoire alloué pour valider les principes énoncés. Un plancher solivé (cf. figure 1) présente une orthotropie de géométrie de structure dûe à la présence et l'orientation des solives (poutres jouant le rôle de raidisseurs). Dans le cas simplifié bidimensionnel, nous choisissons d'étudier le plancher dans le plan perpendiculaire à la direction des solives. Dans cette modélisation, les ondes de flexions dans la direction perpendiculaire au plan de coupe ne sont pas étudiées, aussi les solives ne contribuent que comme raidisseurs et masses ajoutées locales au panneau supérieur.

2.2.1 Méthode FEM et méthode mixte FEM/BEM

La méthode de résolution "globale" par éléments finis s'établit à partir de la formulation faible associée au problème de couplage fluide-structure, elle peut s'écrire sous forme matricielle à la pulsation ω,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K} - \omega^2\mathbf{M} & -\mathbf{C} \\ -\omega^2\mathbf{C}^T & \mathbf{H} - \omega^2\mathbf{Q} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{U} \\ \mathbf{p} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{F}_d \\ 0 \end{pmatrix} \quad , \tag{1}$$

avec $\mathbf{U}$ et $\mathbf{p}$ les valeurs des inconnues nodales de la structure et du fluide, $\mathbf{K}$ et $\mathbf{M}$ les matrices de raideur et de masse de la structure, $\mathbf{H}$ et $\mathbf{Q}$ les matrices issues de l'énergie cinétique et de la compressibilité du fluide, $\mathbf{C}$ la matrice de couplage entre fluide et solide et $\mathbf{C}^T$ sa transposée. Le vecteur $\mathbf{F}_d$ contient les sollicitations externes et nodales de la structure.

La résolution par la méthode mixte (Fig. 3) présente des étapes de calculs différentes. La légèreté de l'air par rapport à la structure implique un couplage faible : les formes propres dynamiques de la structure sont supposées peu affectées par la présence du fluide. Cette condition permet d'isoler la structure de son fluide pour ne traiter que les inconnues relatives à la structure pour effectuer le chaînage avec le fluide par la suite. L'écriture matricielle du problème de vibrations structurelles est :

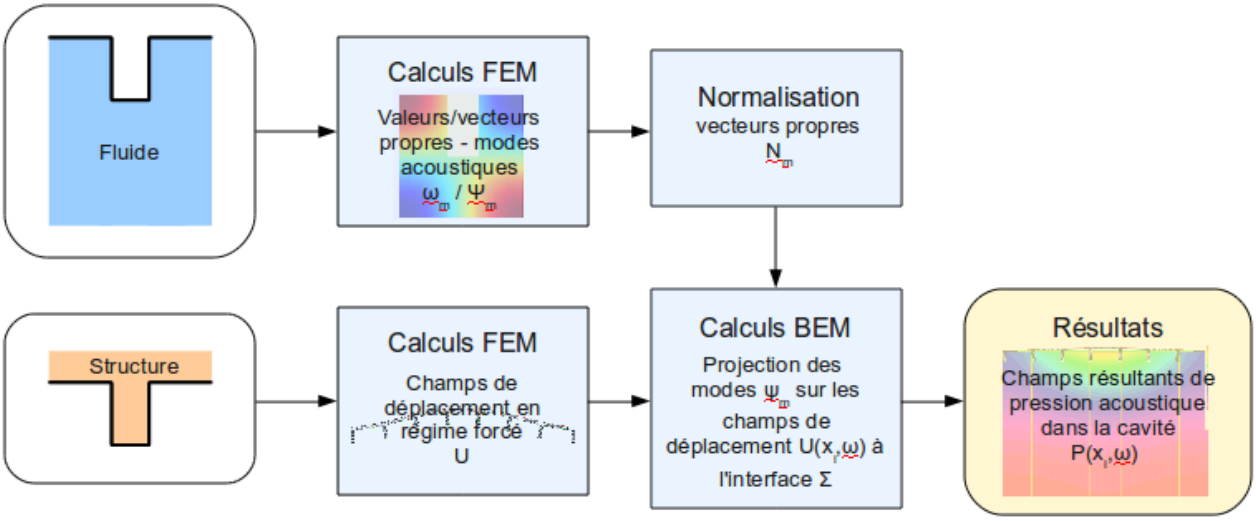

FIGURE 3 – Décomposition des différentes tâches de la méthode mixte FEM/BEM

$$\mathbf{KU} - \omega^2\mathbf{MU} = \mathbf{F}_d \quad . \tag{2}$$

L'application de l'équation intégrale d'Helmholtz-Huygens permet de formuler la pression acoustique engendrée par la vibration mécanique d'une structure. La pression acoustique en un point M de coordonnées $\vec{r}$ s'écrit,

$$p(\vec{r},\omega) = \sum_{m=0}^{n} \rho_F \omega^2 \frac{\Psi_m(\vec{r})}{N_m(k_m^2 - k^2)} \int_\Sigma [\vec{u}(\vec{r_0}) \cdot \vec{n}] \Psi_m(\vec{r_0}) \mathrm{d}l_0 \quad , \tag{3}$$

où ρ_F est la masse volumique du fluide, $\Psi_m(\vec{r})$ est le module de la pression acoustique associée au mode m au point de coordonnées $\vec{r}$ de la cavité Ω_F ; k_m et k sont respectivement le nombre d'onde associé au mode m et le nombre d'onde à la pulsation donnée ω ; N_m est le terme de normalisation des modes de cavité qui vaut $N_m = \iint_{\Omega_F} \Psi_m^2(\vec{r_0})\mathrm{d}S_0$ et enfin $\vec{u}(\vec{r_0})$, le vecteur déplacement au point de l'interface Σ de coordonnées $\vec{r_0}$.

La comparaison des deux méthodes est faite sur un problème dont la géométrie est la suivante :

- sections des solives : $h = 220e^{-3}$ m et $l = 60e^{-3}$ m, entraxe des solives $ent = 600e^{-3}$ m, épaisseur panneau $ep = 22e^{-3}$ m, nombre de solives : 8,
- loi de comportement de la structure isotrope : module d'Young $E = 1e^{10}$ Pa, $\nu = 0.28$, $\rho_S = 5e^2$ kg.m^{-3}
- hauteur sous plafond : $prof = 2.8e$ m, célérité $c = 344$ m.s^{-1}, masse volumique de l'air $\rho_F = 1.2e^{-3}$ kg.m^{-3}
- nombre de degrés de liberté : $N_{dof_{\Omega_S}} = 1588$, $N_{dof_{\Omega_F}} = 4667$.

Les résultats des deux méthodes sont présentés sous la forme de la pression acoustique évaluée en un point de Ω_F (cf. figure 4 et 5). Les deux méthodes sont corrélées dans la bande fréquentielle $[0; f_{m_{max}}]$, où $f_{m_{max}}$ correspond à la fréquence du mode m_{max} considéré pour le couplage dans l'équation 3, c'est à dire $f_{m=7} = 118$ Hz (Fig. 4) et $f_{m=20} = 216$ Hz (Fig. 5). En augmentant le nombre de modes considérés, la méthode mixte est plus précise à basses fréquences et permet de simuler aussi des résonnances à des fréquences plus hautes. De plus, la méthode mixte permet de dissocier la contribution de chaque constituant de la structure (panneau, solives) et quantifier ainsi leur importance dans le comportement globale du problème de couplage et ainsi de rendre possible l'optimisation des lieux de traitements surfaciques.

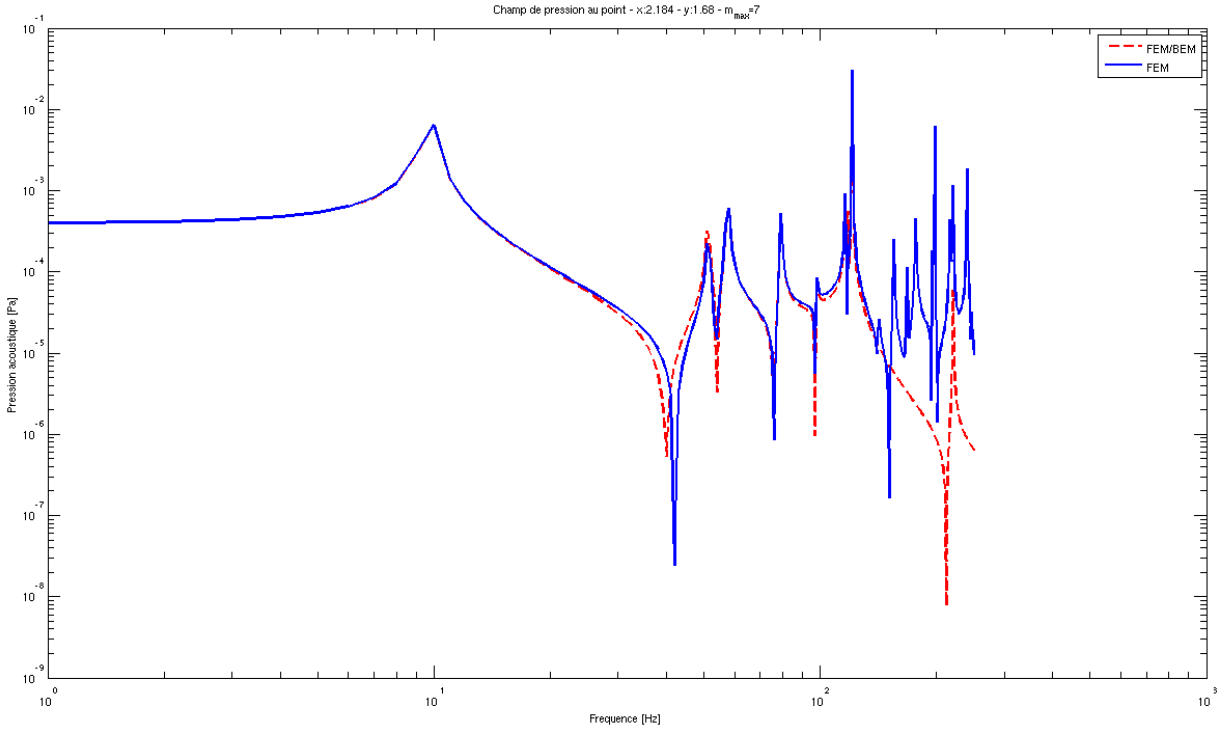

FIGURE 4 – Pression acoustique mesurée à partir des méthodes FEM et FEM/BEM - $m = 7$

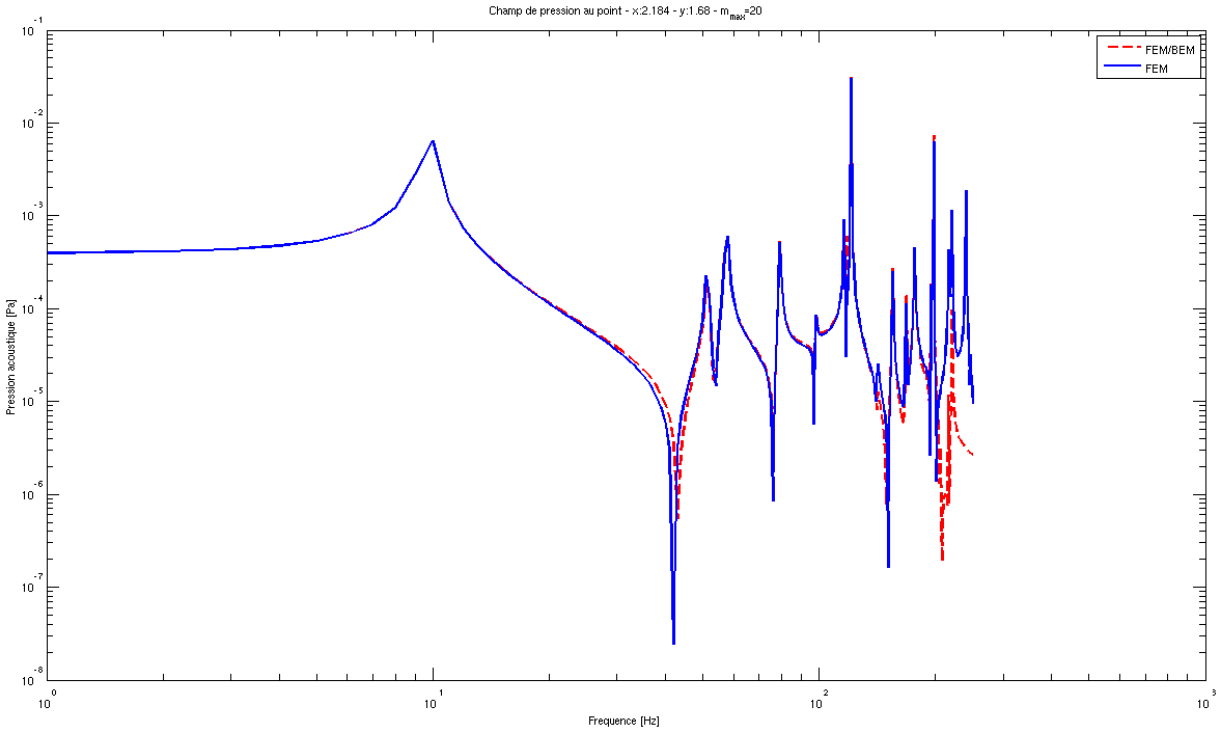

FIGURE 5 – Pression acoustique mesurée à partir des méthodes FEM et FEM/BEM - $m = 20$

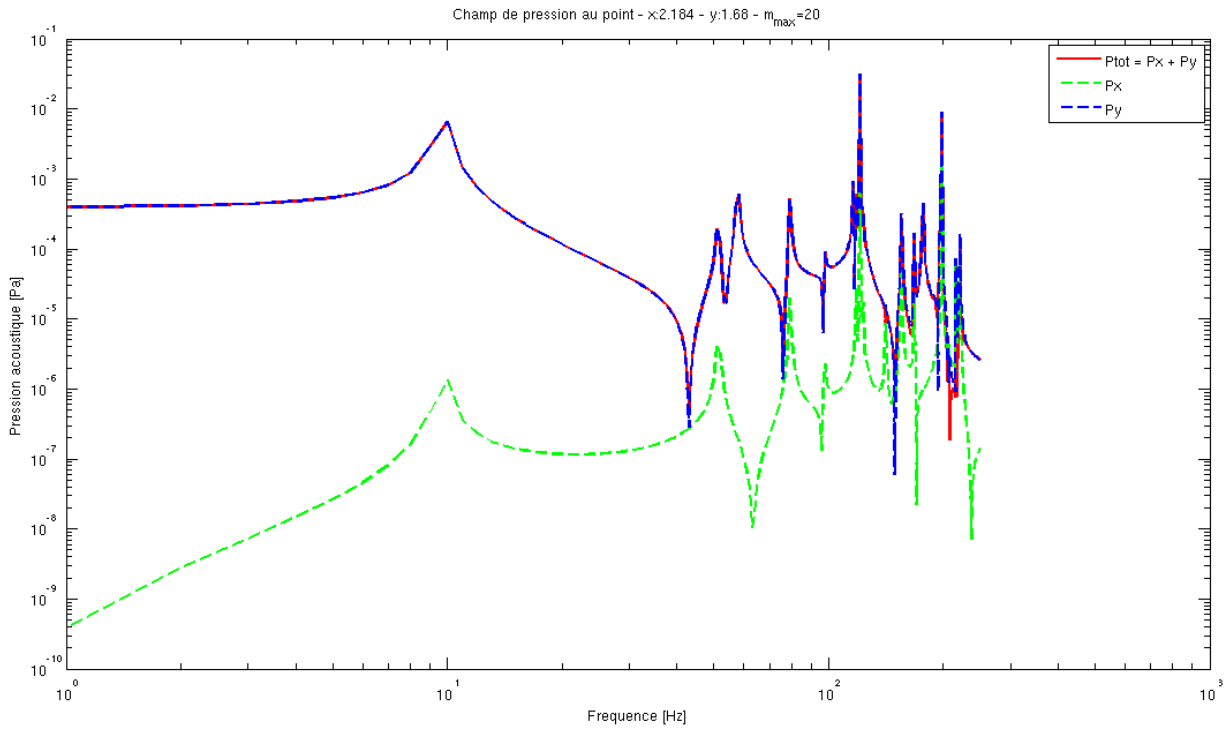

FIGURE 6 – Décomposition de la pression acoustique évaluée en un point à partir de la méthode mixte FEM/BEM - cas 2D - $m = 20$

La figure 6 indique la contribution de la sous-face visible du panneau et des sous-face des solives (P_y issu des déplacements normaux suivant y), ainsi que la contributions des flancs des solives (P_x issu des déplacements normaux suivant x). A hauteur d'oreille humaine ($y = 1.68$ m), les déplacements suivants la direction y des surfaces influent de faqn prépondérantes sur la pression acoustique totale. Le comportement du plancher est assimilable à celui d'une plaque simple de rigidité anisotrope équivalente.

2.3 Problème à géométrie tridimensionnelle

Le problème tridimensionnel correspond à la géométrie réelle du plancher et sera résolu à l'aide de la méthode mixte, validée dans la section prcécédente : le nombre de degrés de liberté donc de temps de calcul est ainsi réduit. L'application numérique du cas trimdimensionnel reprend les données initiales du cas bidimensionnel, les données supplémentaires sont :

– Portée du plancher : $L = 5$ [m]
– Nombre de degrés de liberté : $N_{dof_{\Omega_S}} = 11913$, $N_{dof_{\Omega_F}} = 10802$.

De la même manière que dans le cas bidimensionnel, la figure 7 indique que la pression acoustique à hauteur d'oreille humaine est régi par les déplacements suivant la normale au panneau (N_z). La présence des solives n'a pas d'incidence sur la pression acoustique, sauf pour $f = 115$ Hz (Fig. 7). L'influence des raidisseurs (solives) s'observe principalement sur le décalage spectral des pulsations propres de la structure *in-vacuo* (Fig. 6 et 7).

3 Conclusions

La détermination du rayonnement acoustique acoustique de la sous-face d'un plancher solivé en bois a permis de quantifier l'influence des raidisseurs mécaniques sur le comportement vibro-acoustique dans une bande fréquentielle déterminée. Lors de la présentation du congrès, d'autres éléments seront apportés sur une bande de fréquence plus large : champ de pression entre les solives, incidence de la hauteur des solives et de leur entraxe (uniforme ou non),

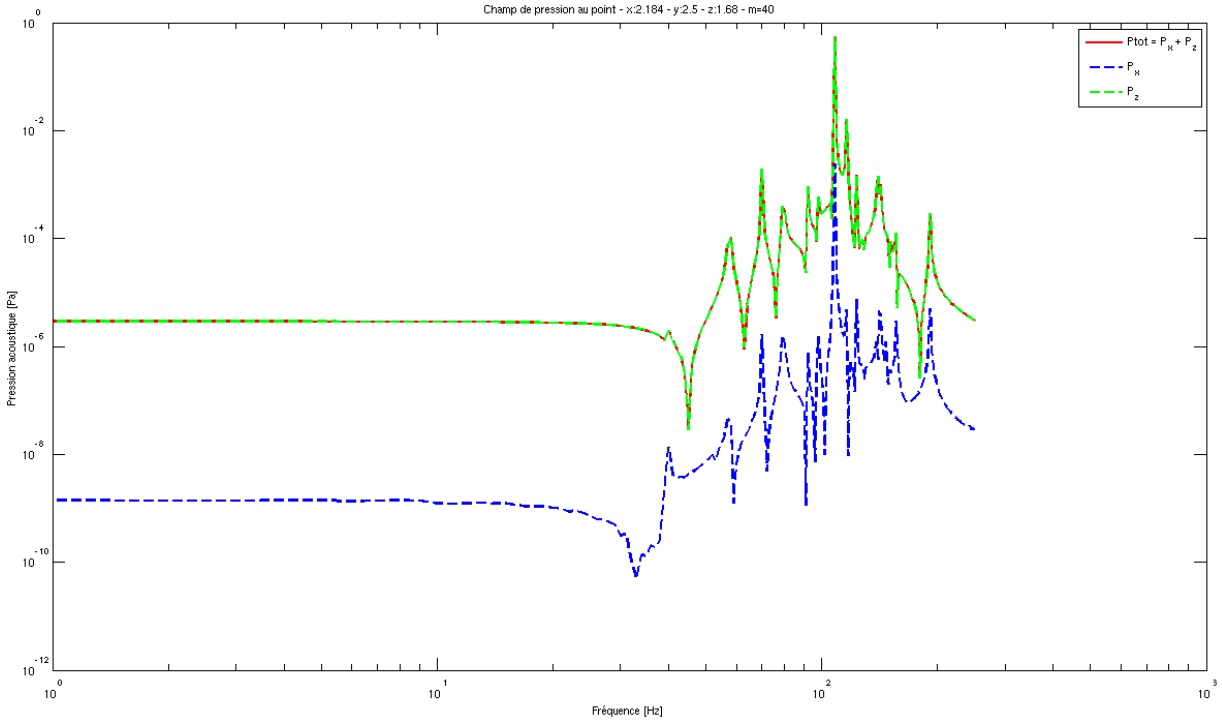

FIGURE 7 – Décomposition de la pression acoustique évaluée en un point à partir de la méthode mixte FEM/BEM - cas 3D - $m = 40$

Références

[1] Bruneau, M. 1998 Chapitre 9 - Acoustique des espaces clos *Manuel d'acoustique fondamentale* pp. 427-468, Edition Hermès, Paris.

[2] Morand, M.J.P., Ohayon, R. 1995 Chapter 8 - Structural-acoustic vibrations *Fluid-structure interaction* Edition Masson, Paris.