

Transmission acoustique des coques composites avec traitement poroélastique Modélisation et analyse de sensibilité

Jean-Loup Christen

Thèse de doctorat présentée le
3 octobre 2016

— AIRBUS SAFRAN —
LAUNCHERS



ÉCOLE
CENTRALE LYON

Projet CRIAQ

Conception de traitements acoustiques pour les structures composites

- Aéronautique (confort de cabine d'avion)
- Spatial (lanceurs)
- Solutions "add-on" : structure conçue au préalable

Partenaires

- ECL
- Université de Sherbrooke
- Airbus D& S
- Bombardier
- ...

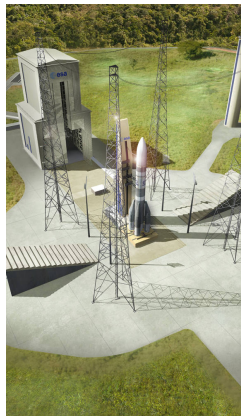
Contexte industriel

Ariane 6

- Accès indépendant à l'espace pour l'Europe
- Marché concurrentiel
- Réductions de coûts

Enjeux vibroacoustique

- Décollage : champ réverbérant
- Charge utile "fragile"



Contexte industriel

Ariane 6

- Accès indépendant à l'espace pour l'Europe
- Marché concurrentiel
- Réductions de coûts

Enjeux vibroacoustique

- Décollage : champ réverbérant
- Charge utile "fragile"



Contexte industriel

Coiffe du lanceur

- Composite (sandwich)
- Traitement acoustique (mousse)
- Géométrie complexe

Incertitudes

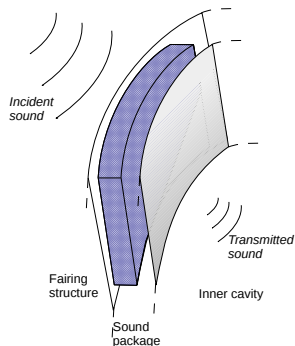
- Épistémiques : Marges de conception, mesure difficile
- Aléatoires : tolérances de fabrication



Contexte industriel

Modèle

- Composite (sandwich)
- Traitement acoustique (mousse)
- Géométrie simplifiée : plaque, cylindre



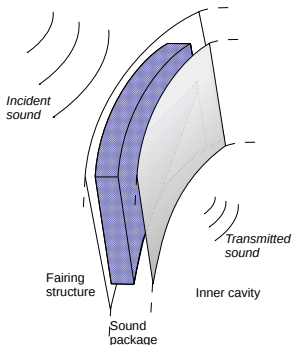
Contexte industriel

Modèle

- Composite (sandwich)
- Traitement acoustique (mousse)
- Géométrie simplifiée : plaque, cylindre

Paramètres

- Matériaux : modules d'Young ...
- Poroélastiques : porosité, résistivité...
- Géométriques : épaisseurs



Axes de recherche

Modélisation

- Études de modèles existants (analytiques, SEA, WFE)
- Développement d'un modèle mixte analytique-WFE pour plaques et cylindres

Axes de recherche

Modélisation

- Études de modèles existants (analytiques, SEA, WFE)
- Développement d'un modèle mixte analytique-WFE pour plaques et cylindres

Analyse de sensibilité

- Méthode FAST
- Modèles analytiques
- Code industriel
- Comparaison expérimentale

Plan de la présentation

1. Modélisation
2. Analyse de sensibilité
3. Effet d'un traitement poroélastique
4. Conclusions

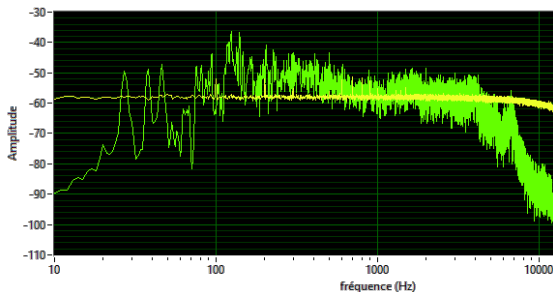


Table of Contents

1. Modélisation
 - État de l'art
 - TL de plaques par WFE
 - Extension aux coques cylindriques
2. Analyse de sensibilité
3. Effet d'un traitement poroélastique
4. Conclusions



Modèles pour la transmission acoustique

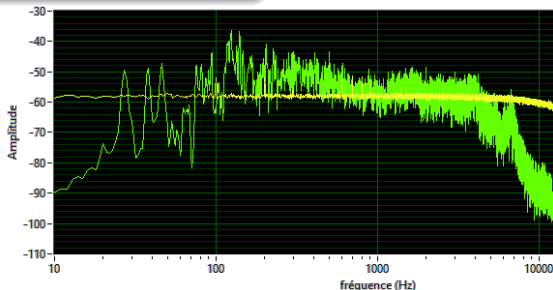


Modèles pour la transmission acoustique

Basses fréquences

Peu de modes, bien séparés

- Éléments finis
- Éléments de frontière
(D'Amico 2011)



Modèles pour la transmission acoustique

Basses fréquences

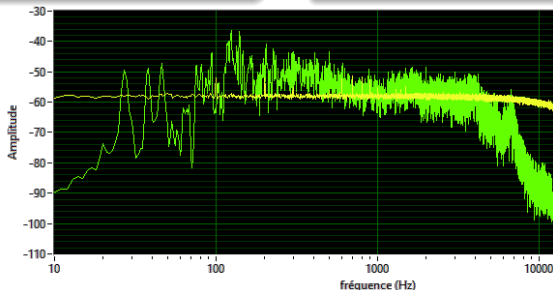
Peu de modes, bien séparés

- Éléments finis
- Éléments de frontière (D'Amico 2011)

Hautes fréquences

Beaucoup de modes, superposés

- Modèles analytiques, TMM (Brouard 1995)
- SEA (Lyon & DeJong 1975)



Modèles pour la transmission acoustique

Basses fréquences

Peu de modes, bien séparés

- Éléments finis
- Éléments de frontière (D'Amico 2011)

Hautes fréquences

Beaucoup de modes, superposés

- Modèles analytiques, TMM (Brouard 1995)
- SEA (Lyon & DeJong 1975)

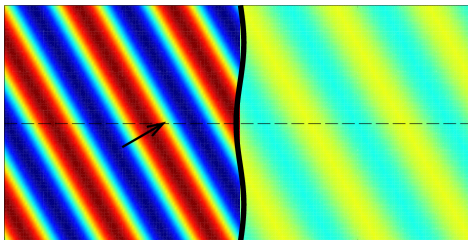
Moyennes fréquences

Trop de modes pour BF, trop distincts pour HF

- Approches mixtes : SEA+EF, SEA+WFE (Chronopoulos 2012)
- Relaxation d'hypothèses : SEA-like (de Rochambeau 2010)

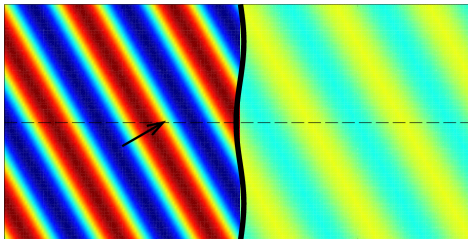
Système étudié

- Plaque stratifiée infinie \rightarrow Hautes fréquences



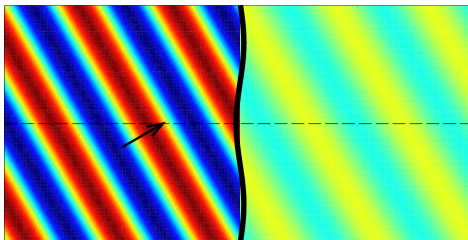
Système étudié

- Plaque stratifiée infinie → Hautes fréquences
- Impactées par une onde plane d'amplitude connue



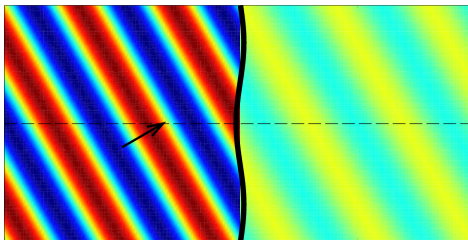
Système étudié

- Plaque stratifiée infinie \rightarrow Hautes fréquences
- Impactées par une onde plane d'amplitude connue
- Amplitudes réfléchie et transmise inconnues



Système étudié

- Plaque stratifiée infinie \rightarrow Hautes fréquences
- Impactées par une onde plane d'amplitude connue
- Amplitudes réfléchiée et transmise inconnues
- $TL = -20 \log_{10}(p_T/p_I)$



Système étudié

- Plaque stratifiée infinie → Hautes fréquences
- Impactées par une onde plane d'amplitude connue
- Amplitudes réfléchie et transmise inconnues
- $TL = -20 \log_{10}(p_T/p_I)$

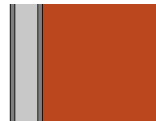
État de l'art

- Monocouche : cas classique
- Multicouches : matrices de transfert (Brouard 1995, Allard & Atalla 2009)
- Matrices de transfert simplifiées (Hu 2010) pour la suite

Modélisation : Méthode des matrices de transfert simplifiée

Principe

- Plaques
- Poreux : fluide équivalent
- Variables d'état : pression et vitesse normale



Modélisation : Méthode des matrices de transfert simplifiée

Principe

- Plaques
- Poreux : fluide équivalent
- Variables d'état : pression et vitesse normale



Relation entre champs incidents et transmis

- Une matrice par couche

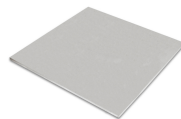
$$\begin{pmatrix} p_i \\ v_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_t \\ v_t \end{pmatrix} = \prod_{k=1}^n T_k \begin{pmatrix} p_t \\ v_t \end{pmatrix}$$

Plaque

Matrice de transfert

- Pressions de part et d'autre
- Continuité des vitesses normales

$$T_p = \begin{pmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$



Impédance d'une plaque mince

Kirchhoff-Love

$$Z = \frac{1}{i\omega} (Dk^4 - \omega^2 m)$$

Plaque

Matrice de transfert

- Pressions de part et d'autre
- Continuité des vitesses normales

$$T_p = \begin{pmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$



Impédance d'une plaque souple : loi de masse

Raideur négligeable

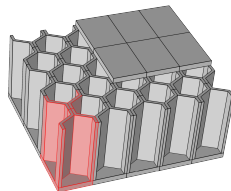
$$Z = i\omega m$$

Plaque

Matrice de transfert

- Pressions de part et d'autre
- Continuité des vitesses normales

$$T_p = \begin{pmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$



Impédance d'une plaque sandwich

Terme de cisaillement (Mead, 1978, Narayanan & Shanbhag, 1982)

$$Z = \frac{1}{i\omega(k^2 + g)} (D_t k^6 + g(D_t + B)k^4 - m\omega^2 k^2 - mg\omega^2)$$

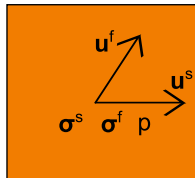
D_t : flexion des peaux, B : flexion globale, g : cisaillement

Fluide ou poreux

Fluide

- Propagation d'onde de pression

$$\bullet T_f = \begin{pmatrix} \cos(k_z h) & \frac{i\omega\rho}{k_z} \sin(k_z h) \\ \frac{ik_z}{\omega\rho} \sin(k_z h) & \cos(k_z h) \end{pmatrix}$$



Fluide ou poreux

Fluide

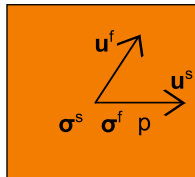
- Propagation d'onde de pression

$$\bullet T_f = \begin{pmatrix} \cos(k_z h) & \frac{i\omega\rho}{k_z} \sin(k_z h) \\ \frac{ik_z}{\omega\rho} \sin(k_z h) & \cos(k_z h) \end{pmatrix}$$



Poreux

- Squelette infiniment souple ou rigide
- Densité, compressibilité fonctions de ω
- $T_p = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \varphi \end{pmatrix} \tilde{T}_f \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1/\varphi \end{pmatrix}$



Calcul de TL

Transparence acoustique

- Post-traitement de la matrice de transfert
- $\tau = \frac{1}{2} |T_{11} + YT_{12} + T_{21}/Y + T_{22}|^{-2}$
- $Y = \cos \theta / \rho_0 c_0$ admittance du fluide.

Calcul de TL

Transparence acoustique

- Post-traitement de la matrice de transfert
- $\tau = \frac{1}{2} |T_{11} + YT_{12} + T_{21}/Y + T_{22}|^{-2}$
- $Y = \cos \theta / \rho_0 c_0$ admittance du fluide.

Champ diffus

- Intégration sur les angles d'incidence θ et les direction φ
- $\tau_d = \frac{1}{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} \tau \cos \theta \sin \theta d\theta d\varphi$

Calcul de TL

Transparence acoustique

- Post-traitement de la matrice de transfert
- $\tau = \frac{1}{2} |T_{11} + YT_{12} + T_{21}/Y + T_{22}|^{-2}$
- $Y = \cos \theta / \rho_0 c_0$ admittance du fluide.

Champ diffus

- Intégration sur les angles d'incidence θ et les direction φ
- $\tau_d = \frac{1}{\pi} \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} \tau \cos \theta \sin \theta d\theta d\varphi$

TL

- $TL = -10 \log_{10} \tau$

Table of Contents

1. Modélisation
 - État de l'art
 - TL de plaques par WFE
 - Extension aux coques cylindriques
2. Analyse de sensibilité
3. Effet d'un traitement poroélastique
4. Conclusions



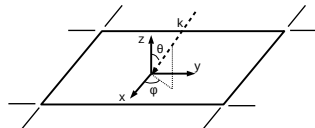
Équations de base

Air

- Onde plane

$$p_i = \exp(i(k_x x + k_y y + k_z z))$$

- k_x, k_y nombres d'ondes constants



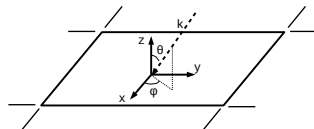
Équations de base

Air

- Onde plane

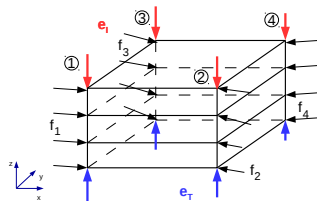
$$p_i = \exp(i(k_x x + k_y y + k_z z))$$

- k_x, k_y nombres d'ondes constants



Plaque

- Cellule unitaire
- Éléments finis : $\mathbf{Du} = \mathbf{f} + \mathbf{e}$
- $u_2 = \exp(ik_x)u_1$ etc.



Réduction du modèle EF

- Déplacements et efforts imposés

$$\mathbf{u} = (\mathbf{I}, \lambda_x \mathbf{I}, \lambda_y \mathbf{I}, \lambda_x \lambda_y \mathbf{I})^T \mathbf{u}_1 = \mathbf{T} \mathbf{u}_1; \quad \mathbf{e} = \mathbf{T} \mathbf{e}_1$$

Réduction du modèle EF

- Déplacements et efforts imposés

$$\mathbf{u} = (\mathbf{I}, \lambda_x \mathbf{I}, \lambda_y \mathbf{I}, \lambda_x \lambda_y \mathbf{I})^T \mathbf{u}_1 = \mathbf{T} \mathbf{u}_1; \quad \mathbf{e} = \mathbf{T} \mathbf{e}_1$$

- Efforts internes

$$\mathbf{f}_1 + \lambda_x^{-1} \mathbf{f}_2 + \lambda_y^{-1} \mathbf{f}_3 + \lambda_x^{-1} \lambda_y^{-1} \mathbf{f}_4 = \tilde{\mathbf{T}} \mathbf{f} = 0$$

Réduction du modèle EF

- Déplacements et efforts imposés

$$\mathbf{u} = (\mathbf{I}, \lambda_x \mathbf{I}, \lambda_y \mathbf{I}, \lambda_x \lambda_y \mathbf{I})^T \mathbf{u}_1 = \mathbf{T} \mathbf{u}_1; \quad \mathbf{e} = \mathbf{T} \mathbf{e}_1$$

- Efforts internes

$$\mathbf{f}_1 + \lambda_x^{-1} \mathbf{f}_2 + \lambda_y^{-1} \mathbf{f}_3 + \lambda_x^{-1} \lambda_y^{-1} \mathbf{f}_4 = \tilde{\mathbf{T}} \mathbf{f} = 0$$

- Condensation

$$\tilde{\mathbf{T}} \mathbf{D} \mathbf{T} \mathbf{u}_1 = 4 \mathbf{A} \mathbf{u}_1 = \tilde{\mathbf{T}} \mathbf{T} \mathbf{e}_1 = 4 \mathbf{e}_1$$

Réduction du modèle EF

- Déplacements et efforts imposés

$$\mathbf{u} = (\mathbf{I}, \lambda_x \mathbf{I}, \lambda_y \mathbf{I}, \lambda_x \lambda_y \mathbf{I})^T \mathbf{u}_1 = \mathbf{T} \mathbf{u}_1; \quad \mathbf{e} = \mathbf{T} \mathbf{e}_1$$

- Efforts internes

$$\mathbf{f}_1 + \lambda_x^{-1} \mathbf{f}_2 + \lambda_y^{-1} \mathbf{f}_3 + \lambda_x^{-1} \lambda_y^{-1} \mathbf{f}_4 = \tilde{\mathbf{T}} \mathbf{f} = 0$$

- Condensation

$$\tilde{\mathbf{T}} \mathbf{D} \mathbf{T} \mathbf{u}_1 = 4 \mathbf{A} \mathbf{u}_1 = \tilde{\mathbf{T}} \mathbf{T} \mathbf{e}_1 = 4 \mathbf{e}_1$$

- Écriture des efforts en fonction des champs de pression

$$\begin{pmatrix} a_{II} & \mathbf{A}_{IO} & a_{IT} \\ \mathbf{A}_{OI} & \mathbf{A}_{OO} & \mathbf{A}_{OT} \\ a_{TI} & \mathbf{A}_{TO} & a_{TT} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_I \\ \mathbf{u}_O \\ u_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S(p_I + p_R) \\ \mathbf{0} \\ Sp_T \end{pmatrix}$$

Réduction du modèle EF

- Écriture des efforts en fonction des champs de pression

$$\begin{pmatrix} a_{II} & \mathbf{A}_{IO} & a_{IT} \\ \mathbf{A}_{OI} & \mathbf{A}_{OO} & \mathbf{A}_{OT} \\ a_{TI} & \mathbf{A}_{TO} & a_{TT} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_I \\ \mathbf{u}_O \\ u_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S(p_I + p_R) \\ \mathbf{0} \\ S p_T \end{pmatrix}$$

Conditions aux limites

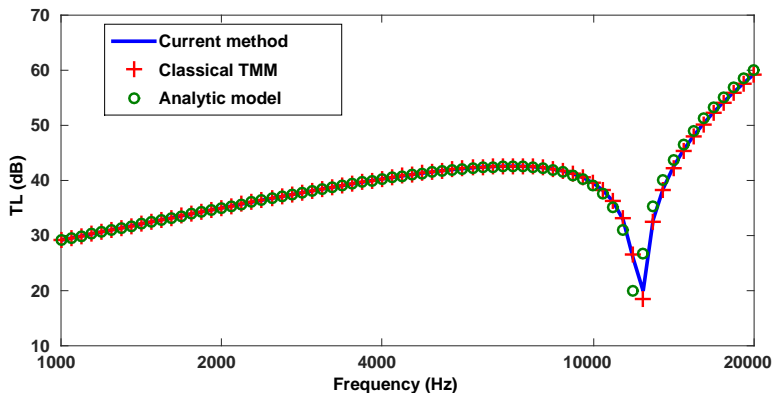
- Continuité des vitesses normales aux interfaces

$$\rho_0 \omega^2 u_I = \frac{\partial P_I}{\partial z} = -i k_z (p_I - p_R)$$

$$\rho_0 \omega^2 u_T = \frac{\partial P_T}{\partial z} = -i k_z p_T$$

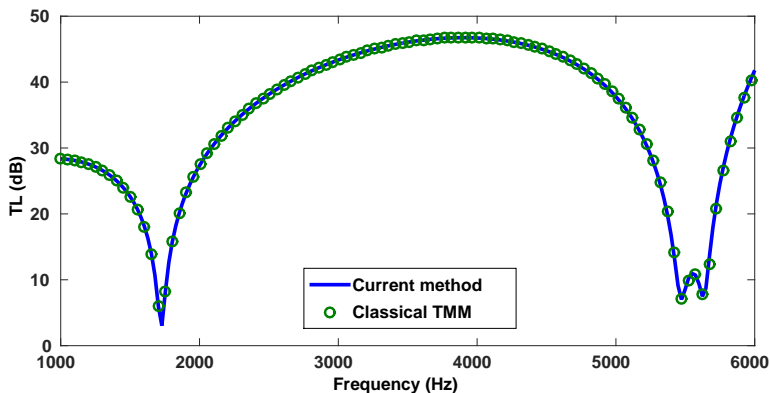
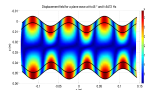
Validation

Plaque isotrope (aluminium) sous onde plane à 45°



Validation

Sandwich à âme souple sous onde plane à 45°



Validation

Plaque orthotrope sous champ diffus

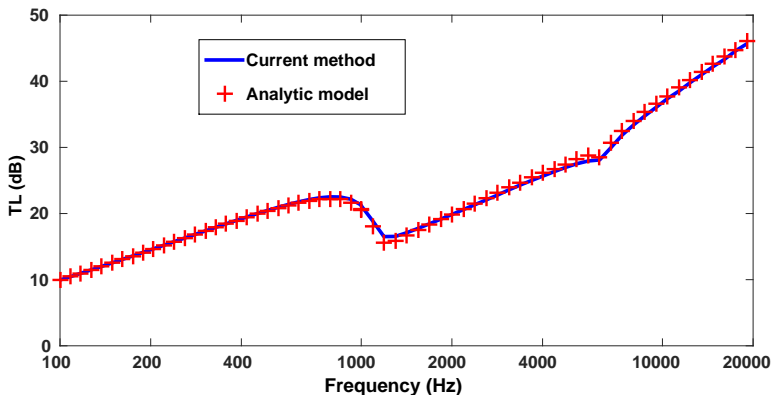


Table of Contents

1. Modélisation

- État de l'art
- TL de plaques par WFE
- Extension aux coques cylindriques

2. Analyse de sensibilité

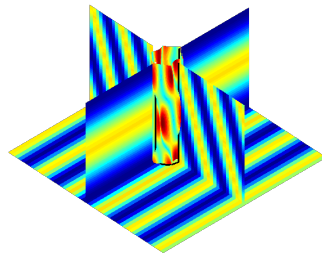
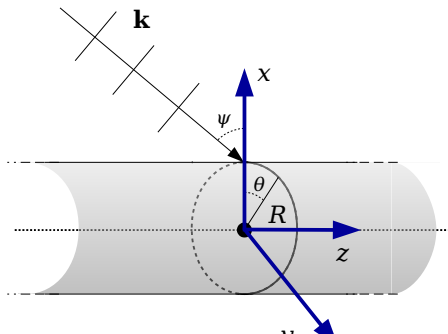
3. Effet d'un traitement poroélastique

4. Conclusions



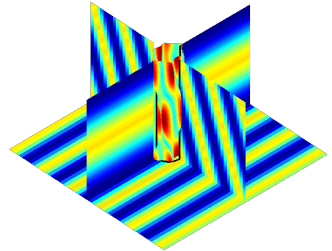
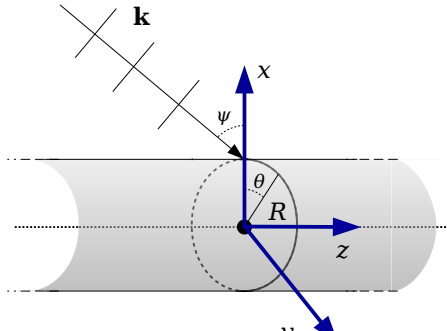
Extension aux coques cylindriques

- Cylindre stratifié infini



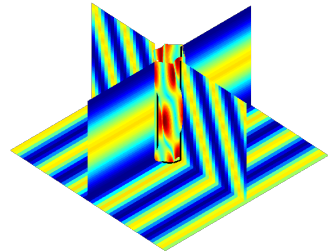
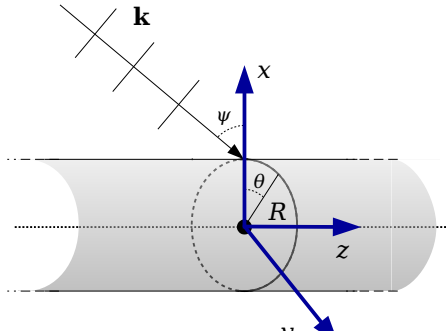
Extension aux coques cylindriques

- Cylindre stratifié infini
- Couches élastiques linéaires



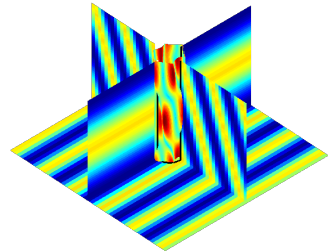
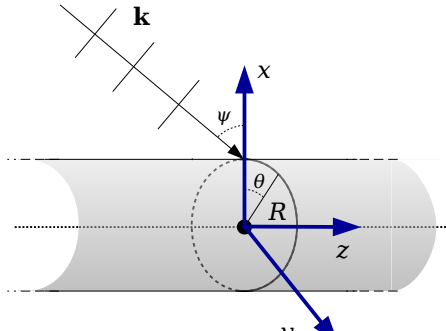
Extension aux coques cylindriques

- Cylindre stratifié infini
- Couches élastiques linéaires
- Impacté par une onde plane



Extension aux coques cylindriques

- Cylindre stratifié infini
- Couches élastiques linéaires
- Impacté par une onde plane
- Absorption parfaite au centre du cylindre



Extension aux coques cylindriques

- Cylindre stratifié infini
- Couches élastiques linéaires
- Impacté par une onde plane

État de l'art

- Monocouche : Koval (1979), Lee& Kim (2003), Yuan (2011)
- Tricouche : Magniez (2014)

Equations de base

Air

- Décomposition de l'onde plane incidente en ondes cylindriques

$$p^I(r, \theta, z) = P_0 \sum_{n \in \mathbb{Z}} i^n J_n(k_x r) e^{in\theta} e^{ik_z z} e^{i\omega t}$$

- Champs réfléchi et transmis : ondes progressives cylindriques

Equations de base

Air

- Décomposition de l'onde plane incidente en ondes cylindriques

$$p^I(r, \theta, z) = P_0 \sum_{n \in \mathbb{Z}} i^n J_n(k_x r) e^{in\theta} e^{ik_z z} e^{i\omega t}$$

- Champs réfléchi et transmis : ondes progressives cylindriques

Equations de base

Air

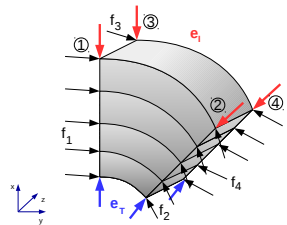
- Décomposition de l'onde plane incidente en ondes cylindriques

$$p^I(r, \theta, z) = P_0 \sum_{n \in \mathbb{Z}} i^n J_n(k_x r) e^{in\theta} e^{ik_z z} e^{i\omega t}$$

- Champs réfléchi et transmis : ondes progressives cylindriques

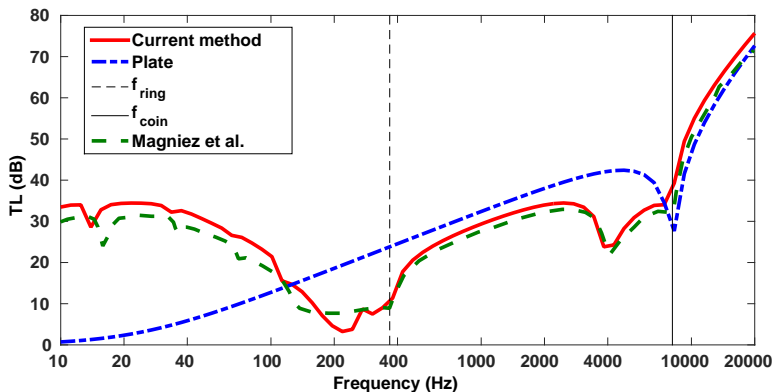
Cylindre

- Cellule unitaire
- Éléments finis : $\mathbf{Du} = \mathbf{f} + \mathbf{e}$
- $u_2 = \exp(ik_x) \mathbf{R} u_1$ etc.



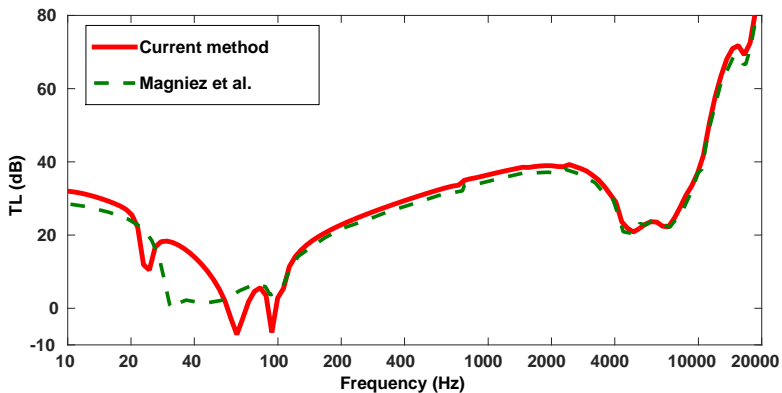
Validation

Cylindre en aluminium, onde plane 45°

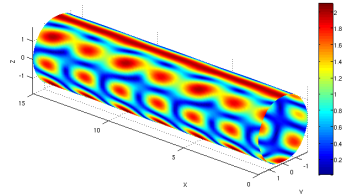
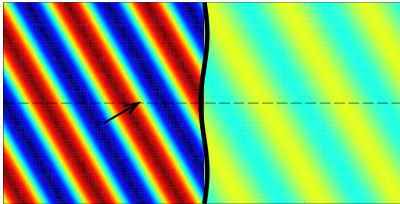


Validation

Matériau sandwich, onde plane 45°



Conclusion : Modélisation



- Modèle WFE : plaque et cylindre infinis
 - matériaux anisotropes stratifiés
 - Validé pour monocouches et sandwiches
-
- J-L. Christen, M. Ichchou, A. Zine, B. Troclet : *Wave finite element formulation of the acoustic transmission through complex infinite plates*, Acta Acustica united with Acustica, accepted for publication

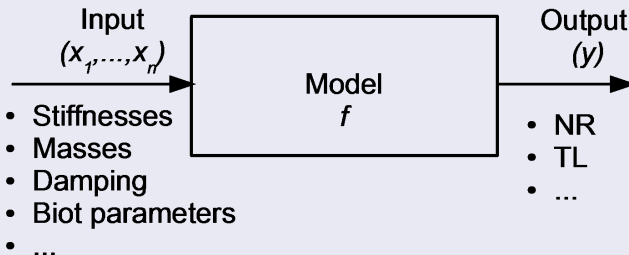
Table of Contents

1. Modélisation
2. Analyse de sensibilité
 - Analyse de sensibilité
 - Plaques infinies
 - Modèle SEA
3. Effet d'un traitement poroélastique
4. Conclusions



Qu'est ce que l'analyse de sensibilité ?

- Modèle « boîte noire » (fonction coût) : $y = f(x_1, \dots, x_n)$
- Mesure de l'influence des paramètres sur la sortie



Qu'est ce que l'analyse de sensibilité ?

- Modèle « boîte noire » (fonction coût) : $y = f(x_1, \dots, x_n)$
- Mesure de l'influence des paramètres sur la sortie

Types d'analyse

- Locale : variations autour d'un point de fonctionnement
 - Dérivées partielles
- Globale : larges domaines de variations
 - Analyse de variance (ANOVA)

Qu'est ce que l'analyse de sensibilité ?

- Modèle « boîte noire » (fonction coût) : $y = f(x_1, \dots, x_n)$
- Mesure de l'influence des paramètres sur la sortie

Applications

- Réduction du nombre de paramètres
- Compréhension de phénomènes
- Déjà appliqué en sûreté nucléaire (Marrel 2008), chimie (Cukier 1973) ...

Méthode FAST

Principe de l'ANOVA

- $f = f_0 + \sum_i f_i(x_i) + \sum_{i < j} f_{ij}(x_i, x_j) + \sum_{i < j < k} f_{ijk}(x_i, x_j, x_k) + \dots$
- Effet principal : variance des f_i

Méthode FAST

Principe de l'ANOVA

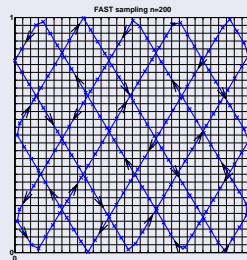
- $f = f_0 + \sum_i f_i(x_i) + \sum_{i < j} f_{ij}(x_i, x_j) + \sum_{i < j < k} f_{ijk}(x_i, x_j, x_k) + \dots$
- Effet principal : variance des f_i

Échantillonnage

- Courbe "remplissant l'espace"

$$x_i = \frac{1}{\pi} \arcsin(\sin(\omega_i s + \varphi_i)) + \frac{1}{2}$$

- $\omega_i \in \mathbb{N}^*$: fréquence assignée à chaque paramètre



Méthode FAST

Calcul des indices du 1er ordre

- Série de Fourier

$$y(s) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} \hat{y}_n \exp(ins)$$

Méthode FAST

Calcul des indices du 1er ordre

- Série de Fourier

$$y(s) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} \hat{y}_n \exp(ins)$$

- Parseval :

$$D = \sum_{k \in \mathbb{Z}} |\hat{y}_k|^2$$

Méthode FAST

Calcul des indices du 1er ordre

- Série de Fourier

$$y(s) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} \hat{y}_n \exp(ins)$$

- Parseval :

$$D = \sum_{k \in \mathbb{Z}} |\hat{y}_k|^2$$

- Variance partielle :

$$D_i = \sum_{k=1}^M |\hat{y}_{k\omega_i}|^2$$

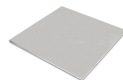
Table of Contents

1. Modélisation
2. Analyse de sensibilité
 - Analyse de sensibilité
 - Plaques infinies
 - Modèle SEA
3. Effet d'un traitement poroélastique
4. Conclusions



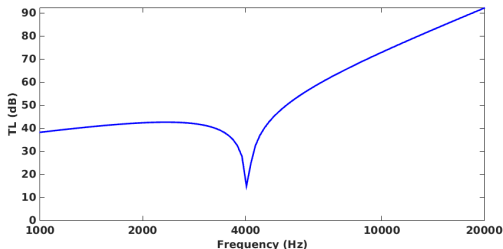
Plaque isotrope

- Aluminium : $E, \nu, \rho, \eta \pm 10\%$
- Onde incidente plane à 45°



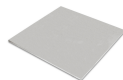
Courbe de TL

- BF : loi de masse



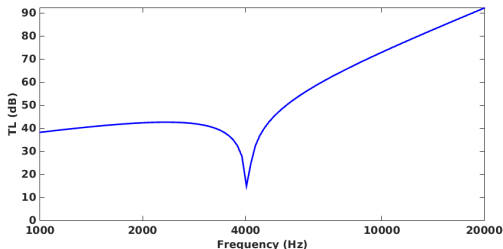
Plaque isotrope

- Aluminium : $E, \nu, \rho, \eta \pm 10\%$
- Onde incidente plane à 45°



Courbe de TL

- BF : loi de masse
- Coïncidence : $f_c = \frac{c_0^2}{2\pi \cos \theta} \sqrt{\frac{12\rho(1-\nu^2)}{Eh^2}}$
- Profondeur du creux lié à l'amortissement



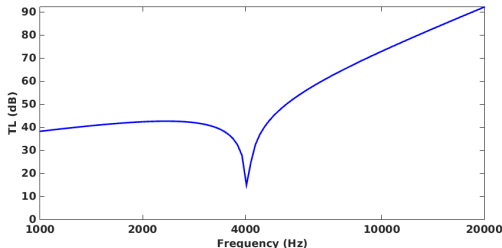
Plaque isotrope

- Aluminium : $E, \nu, \rho, \eta \pm 10\%$
- Onde incidente plane à 45°



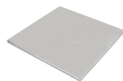
Courbe de TL

- BF : loi de masse
- Coïncidence : $f_c = \frac{c_0^2}{2\pi \cos \theta} \sqrt{\frac{12\rho(1-\nu^2)}{Eh^2}}$
- Profondeur du creux lié à l'amortissement
- HF contrôlées par la raideur



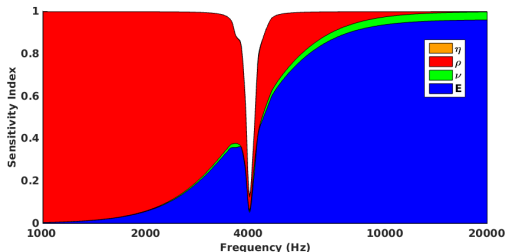
Plaque isotrope

- Aluminium : $E, \nu, \rho, \eta \pm 10\%$
- Onde incidente plane à 45°



Courbe de TL

- BF : loi de masse
- Coïncidence : $f_c = \frac{c_0^2}{2\pi \cos \theta} \sqrt{\frac{12\rho(1-\nu^2)}{Eh^2}}$
- Profondeur du creux lié à l'amortissement
- HF contrôlées par la raideur



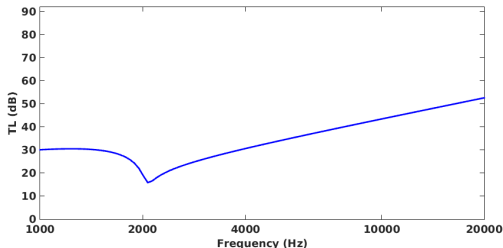
Plaque isotrope

- Aluminium : $E, \nu, \rho, \eta \pm 10\%$
- Champ diffus



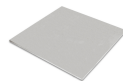
Courbe de TL

- BF : loi de masse
- Coïncidence : $f_c = \frac{c_0^2}{2\pi \cos \theta} \sqrt{\frac{12\rho(1-\nu^2)}{Eh^2}}$
- Profondeur du creux lié à l'amortissement
- HF contrôlées par l'amortissement



Plaque isotrope

- Aluminium : $E, \nu, \rho, \eta \pm 10\%$
- Champ diffus



Courbe de TL

- BF : loi de masse
- Coïncidence : $f_c = \frac{c_0^2}{2\pi \cos \theta} \sqrt{\frac{12\rho(1-\nu^2)}{Eh^2}}$
- Profondeur du creux lié à l'amortissement
- HF contrôlées par l'amortissement

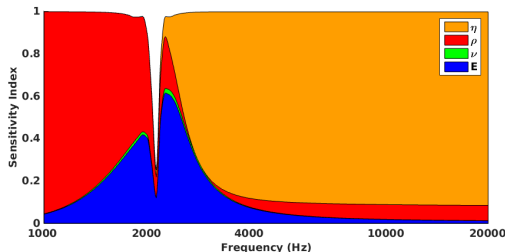


Table of Contents

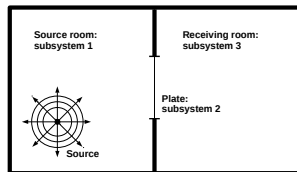
1. Modélisation
2. Analyse de sensibilité
 - Analyse de sensibilité
 - Plaques infinies
 - Modèle SEA
3. Effet d'un traitement poroélastique
4. Conclusions



Modèle SEA

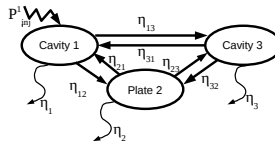
Principe

- Systèmes résonants
- Puissances échangée et dissipée
 \propto niveau d'énergie
- Bilan de puissance sur chaque système



Hypothèses

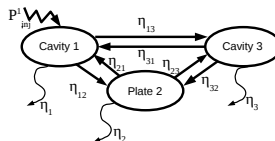
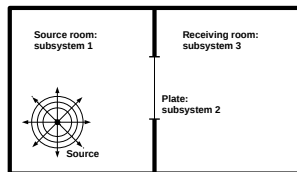
- HF : modes nombreux et superposition élevée
- Équipartition de l'énergie entre modes dans une bande de fréquence



Modèle SEA

Suite de transmission

- 2 chambres identiques
- Plaque composite entre les deux
- NR : \neq niveaux de pression



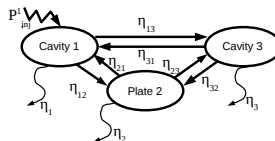
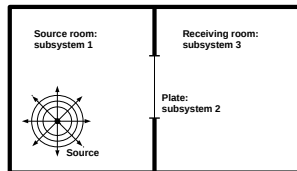
Modèle SEA

Suite de transmission

- 2 chambres identiques
- Plaque composite entre les deux
- NR : \neq niveaux de pression

Incertitudes de modélisation

- Paramètres SEA SEA
- Dissipation (DLF), couplage (CLF)



Modèle SEA

Suite de transmission

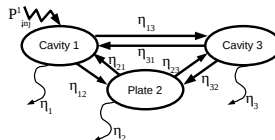
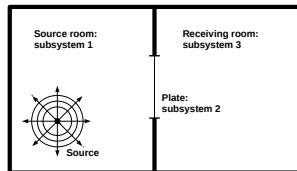
- 2 chambres identiques
- Plaque composite entre les deux
- NR : \neq niveaux de pression

Incertitudes de modélisation

- Paramètres SEA SEA
- Dissipation (DLF), couplage (CLF)

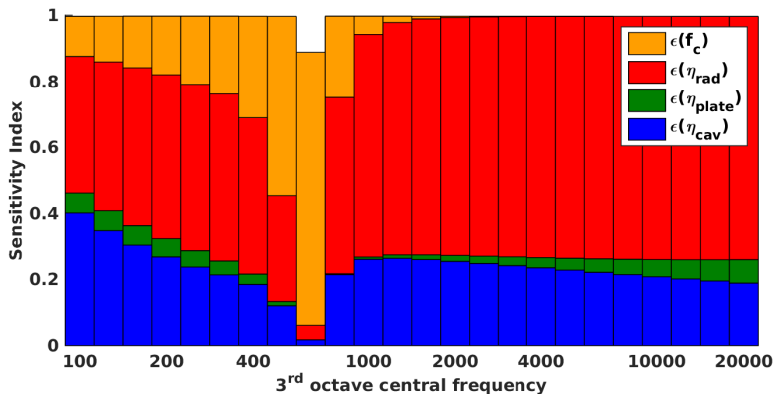
Incertitudes paramétriques

- Paramètres "ingénieur"
- Module d'Young, cisaillement,...

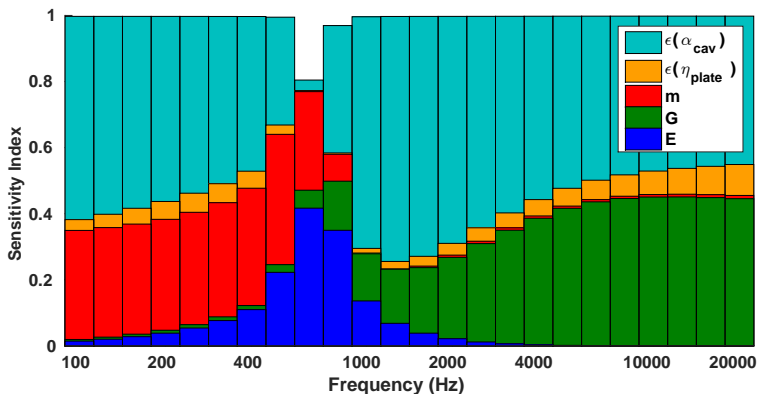


Incertitudes de modélisation

Marges d'erreur sur les paramètres SEA :



Paramètres "ingénieur"



SYLDA-like

Maquette de SYLDA

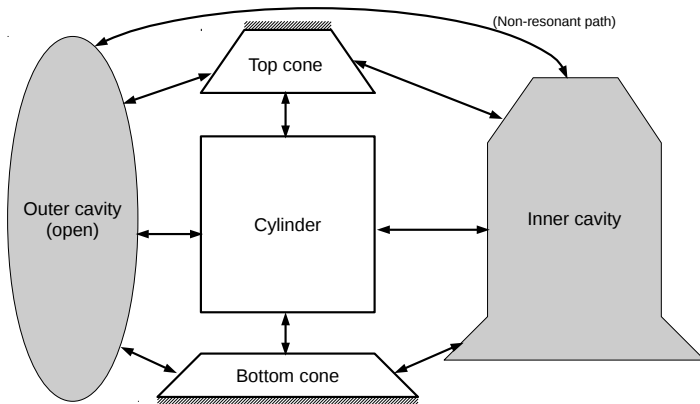
- 2 cônes et 1 cylindre
- Champ diffus interne et externe

Modèle

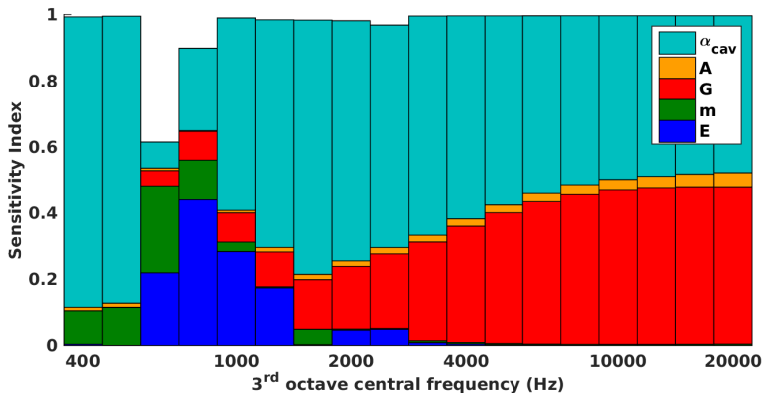
- Matériau composite (Sandwich)
- Isolement brut (NR)



Modèle SEA



Résultats



Conclusion : Analyse de sensibilité

- FAST applicable à des problèmes de vibroacoustique
 - Modèles analytiques
 - Code industriel SEALASCAR
-
- Séparation de phénomènes :
 - absorption/ amortissement
 - masse/raideur
 - Effet de la fréquence de coïncidence ou fréquence critique
-
- J.-L. Christen, M. Ichchou , B. Troclet, O. Bareille, M. Ouisse, *Global sensitivity analysis of analytical vibroacoustic transmission models*, J. Sound Vib., 2016
 - J.-L. Christen, M. Ichchou , B. Troclet, O. Bareille, M. Ouisse, *Global sensitivity analysis and uncertainties in SEA models of vibroacoustic systems*, Mech. Syst. Sig. Proc., under review

Table of Contents

1. Modélisation
2. Analyse de sensibilité
3. Effet d'un traitement poroélastique
 - Étude expérimentale
 - Modèle
 - Résultats
4. Conclusions



Contexte

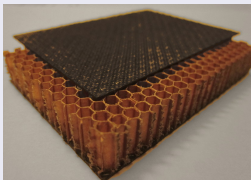
- Plaque composite avec matériau fibreux
- Incertitudes sur chaque composant

Contexte

- Plaque composite avec matériau fibreux
- Incertitudes sur chaque composant

Plaque sandwich

- Peaux fibre de carbone
- Âme nomex
- Traitement amortissant variable

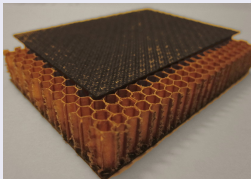


Contexte

- Plaque composite avec matériau fibreux
- Incertitudes sur chaque composant

Plaque sandwich

- Peaux fibre de carbone
- Âme nomex
- Traitement amortissant variable

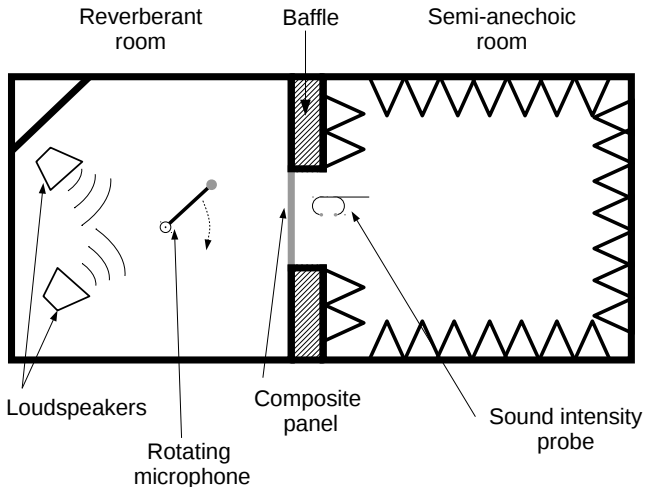


Traitement acoustique

- Laine de verre
- Mousse mélamine
- Espace (air) entre plaque et poreux



Mesure de TL (Sherbrooke)



Mesure de TL (Sherbrooke)



Étude paramétrique : 9 cas

Traitement poreux (côté anéchoïque)

- aucun : plaque seule



Étude paramétrique : 9 cas

Traitement poreux (côté anéchoïque)

- aucun : plaque seule
- Fibre de verre aéronautique (FG631)



Étude paramétrique : 9 cas

Traitement poreux (côté anéchoïque)

- aucun : plaque seule
- Fibre de verre aéronautique (FG631)
- Mélamine (Ultra-light, 1 in)



Étude paramétrique : 9 cas

Traitement poreux (côté anéchoïque)

- aucun : plaque seule
- Fibre de verre aéronautique (FG631)
- Mélamine (Ultra-light, 1 in)



Traitement viscoélastique (côté réverbérant)

- aucun : plaque seule



Étude paramétrique : 9 cas

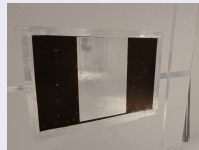
Traitement poreux (côté anéchoïque)

- aucun : plaque seule
- Fibre de verre aéronautique (FG631)
- Mélamine (Ultra-light, 1 in)



Traitement viscoélastique (côté réverbérant)

- aucun : plaque seule
- couverture de 38%



Étude paramétrique : 9 cas

Traitement poreux (côté anéchoïque)

- aucun : plaque seule
- Fibre de verre aéronautique (FG631)
- Mélamine (Ultra-light, 1 in)



Traitement viscoélastique (côté réverbérant)

- aucun : plaque seule
- couverture de 38%
- couverture de 77%



Étude paramétrique : résultats

Mesures

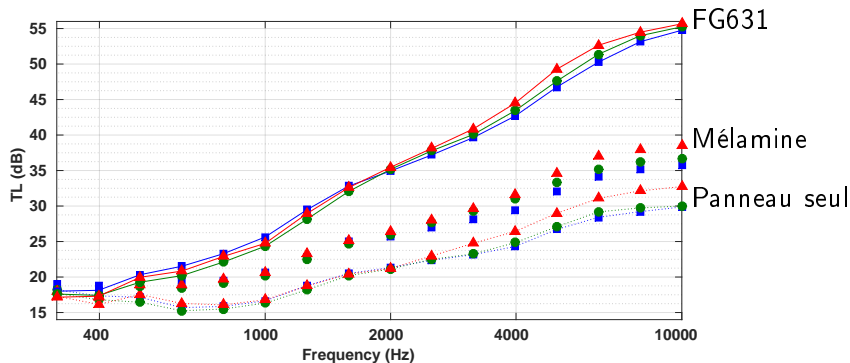


Table of Contents

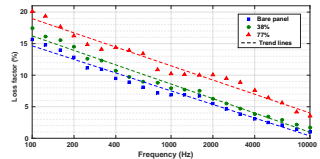
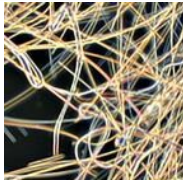
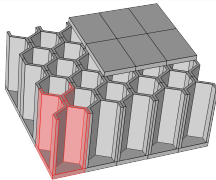
1. Modélisation
2. Analyse de sensibilité
3. Effet d'un traitement poroélastique
 - Étude expérimentale
 - Modèle
 - Résultats
4. Conclusions



Modèle numérique

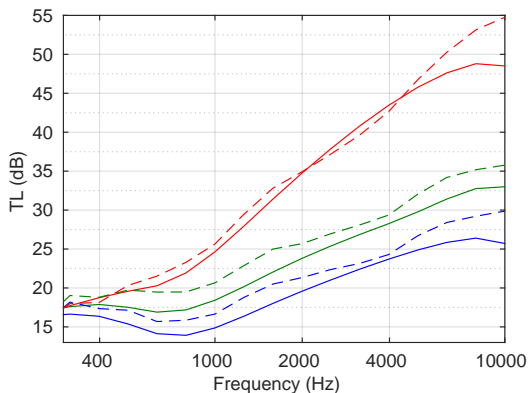
TMM simplifiée

- Plaque composite (Narayanan 1982)
- Air gap
- Matériau poreux souple (limp)
- Amortissement plaque $\eta = \eta_0 - 3.2 \ln f$



Validation du modèle

Panneau non amorti



Fibre de verre

Mélamine

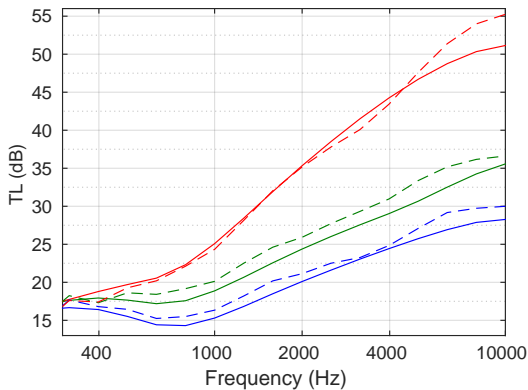
Panneau seul

— Modèle

- - Mesure

Validation du modèle

Panneau amorti à 38%



Fibre de verre

Mélamine

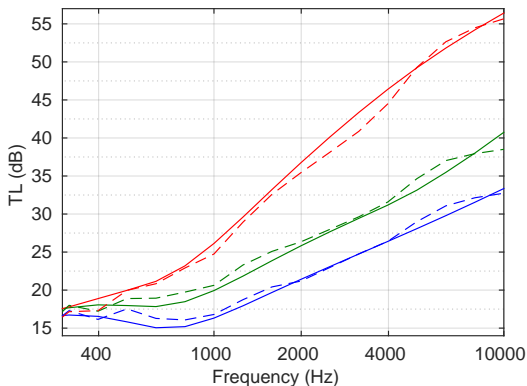
Panneau seul

— Modèle

- - Mesure

Validation du modèle

Panneau amorti à 77%



Fibre de verre

Mélamine

Panneau seul

— Modèle

- - Mesure

Table of Contents

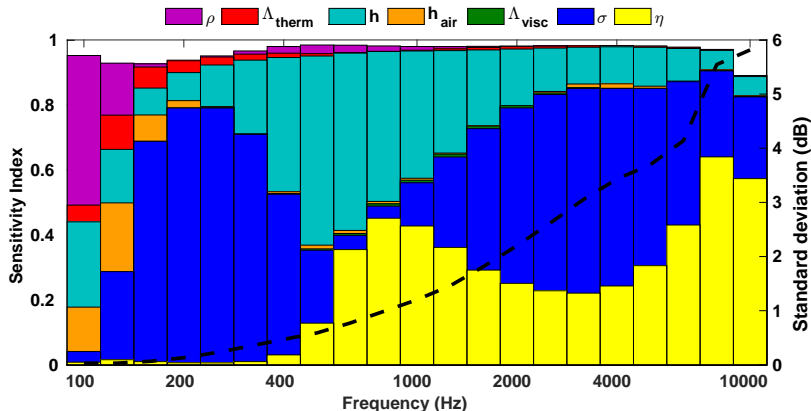
1. Modélisation
2. Analyse de sensibilité
3. Effet d'un traitement poroélastique
 - Étude expérimentale
 - Modèle
 - Résultats
4. Conclusions



Analyse FAST

Plages de variation des paramètres englobant les plages mesurées

	η_0 (%)	σ (N.s.m ⁻⁴)	Λ_{visc} (μ m)	h_{air} (mm)	h (mm)	Λ_{therm} (μ m)	ρ (kg.m ⁻³)
Min. Value	28	5000	75	10	25	98	7
Max. Value	35	30 000	700	30	40	160	10



Conclusions

Axe modélisation

- Modèle hybride analytique/EF
- TL de plaques multicouches
- Cylindres
- Benchmark : modèles analytiques
- Cas industriels

Conclusions

Axe modélisation

- Modèle hybride analytique/EF
- TL de plaques multicouches
- Cylindres
- Benchmark : modèles analytiques
- Cas industriels

Application de la méthode FAST au contexte vibroacoustique

- Étude d'incertitudes paramétriques
- Méconnaissance / aléatoire
- Modèles analytiques de plaques : validation du principe
- TL de systèmes avec poreux : effets absorption/amortissement

Perspectives

Extensions des modèles de transmission

- Modèle de Biot : modifie le couplage avec les interfaces extérieures
- Résonances internes du cylindre
- Prise en compte de la périodicité de la structure (nid d'abeilles) en HF

Corrélations

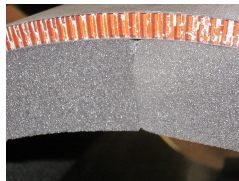
- Changement d'échelle micro-macro
- Utilisation d'une méthode FAST corrélée

Merci pour votre attention

Dispositif d'essai

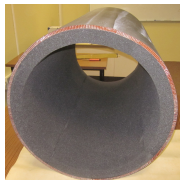
Structure

- Coque cylindrique
- Sandwich
carbone-époxy/Nomex
- Diamètre 70 cm
- Hauteur 1,2m



Essais

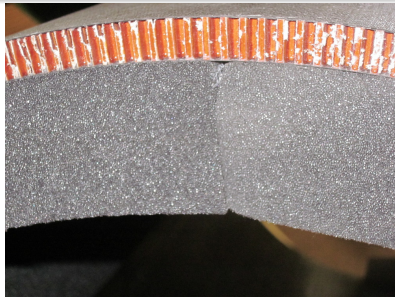
- Essais vibratoires
caractérisation
- Essais acoustiques (NR avec
mousse PU)



Essais acoustiques

Objectifs

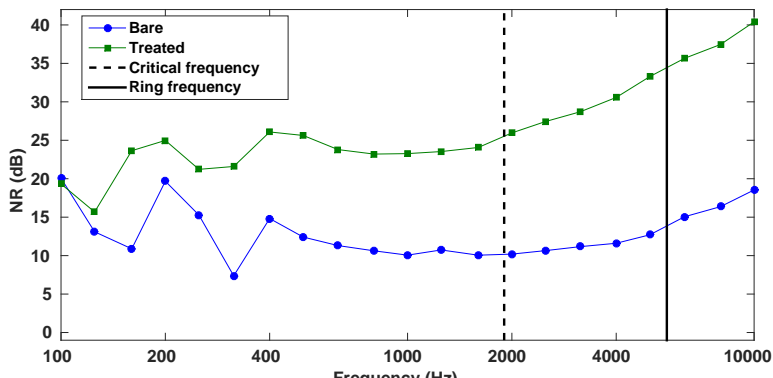
- Effet d'une couche poroélastique sur le NR
- Contribution des différents effets : absorption/masse/cavité



Essais acoustiques

Objectifs

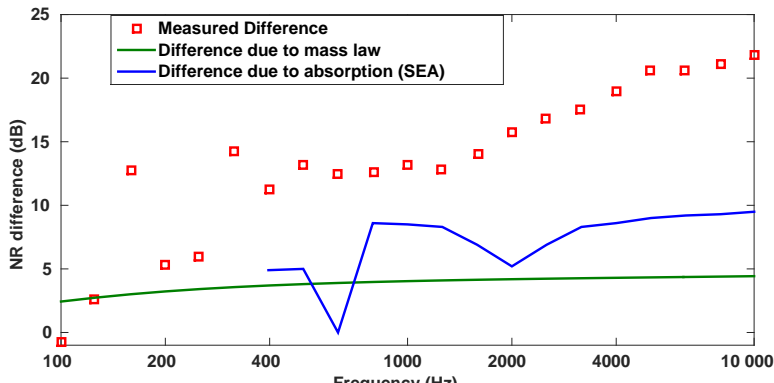
- Effet d'une couche poroélastique sur le NR
- Contribution des différents effets : absorption/masse/cavité



Essais acoustiques

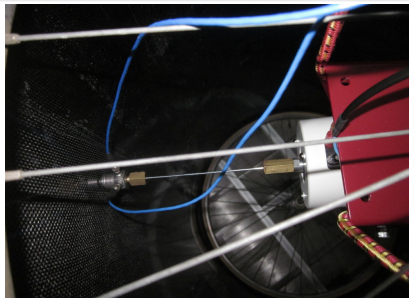
Objectifs

- Effet d'une couche poroélastique sur le NR
- Contribution des différents effets : absorption/masse/cavité



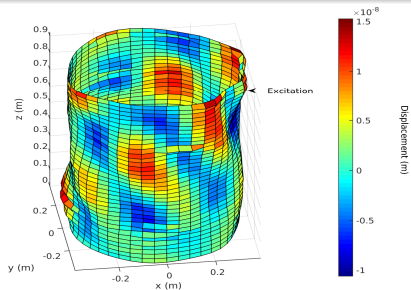
Caractérisation mécanique

- Mesure de vitesses au vibromètre laser



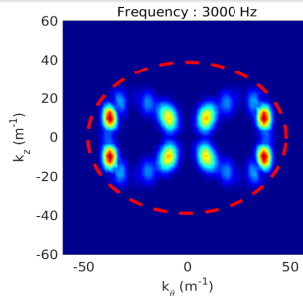
Caractérisation mécanique

- Mesure de vitesses au vibromètre laser



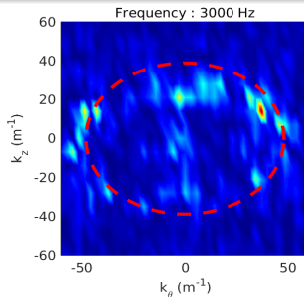
Caractérisation mécanique

- Mesure de vitesses au vibromètre laser
- Transformée de Fourier 2D



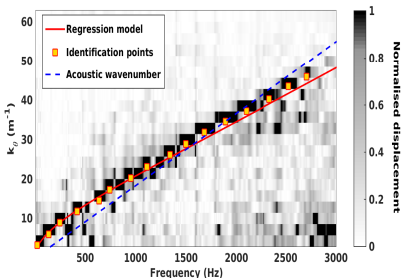
Caractérisation mécanique

- Mesure de vitesses au vibromètre laser
- Transformée de Fourier 2D

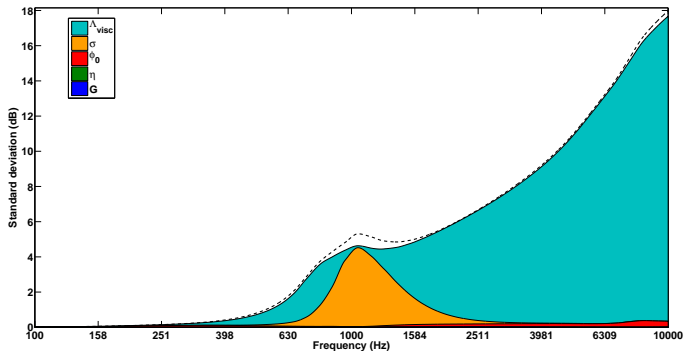


Caractérisation mécanique

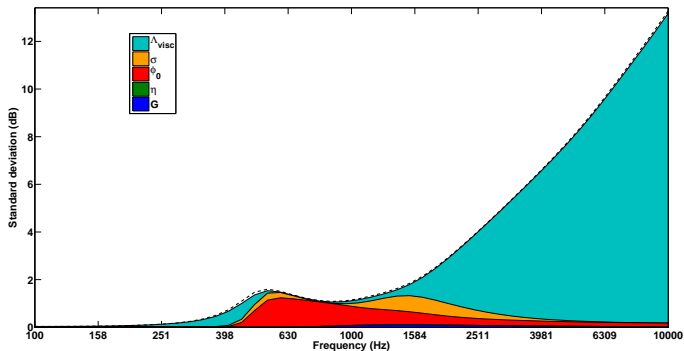
- Mesure de vitesses au vibromètre laser
- Transformée de Fourier 2D
- Identification /modèle de sandwich



Étude numérique de l'effet de l'incertitude du traitement poreux



Étude numérique de l'effet de l'incertitude du traitement poreux



Étude numérique de l'effet de l'incertitude du traitement poreux

