

GAUS – Thème: matériaux acoustiques

Objectifs:

- Développer/améliorer les méthodes de caractérisation des matériaux
- Développer des approches multi-échelles pour des matériaux enrichies
- Développer des métamatériaux
- Développer des matériaux écoresponsables
- Exploiter l'absorption non linéaire en acoustique

Équipe :

GAUS/ UdeS : N. Atalla, R. Panneton

Aussi : Équipe des matériaux acoustiques structurés et écologiques du Groupe d'acoustique de l'Université de Sherbrooke (ÉMA/GAUS)

<http://ema.recherche.usherbrooke.ca/>

GAUS – Areas of research: acoustic materials

Objectifs:

- Develop / improve material characterization methods
- Develop multi-scale approaches for enriched materials
- Develop metamaterials
- Develop eco-responsible materials
- Exploit non-linear absorption in acoustics

Team :

GAUS/ UdeS : N. Atalla, R. Panneton

Also : Structured and ecological acoustic materials team of the Acoustics group of the Université de Sherbrooke (ÉMA/GAUS)
<http://ema.recherche.usherbrooke.ca/>

GAUS / Areas of research and/or interest :

- 1) Micro-macro modeling and design
- 2) Modeling and development of liners
- 3) Modeling and development of meta-composites
- 4) Optimization and development of sound packages → an example of an ongoing collaboration project
- 5) Development of Characterization Equipments

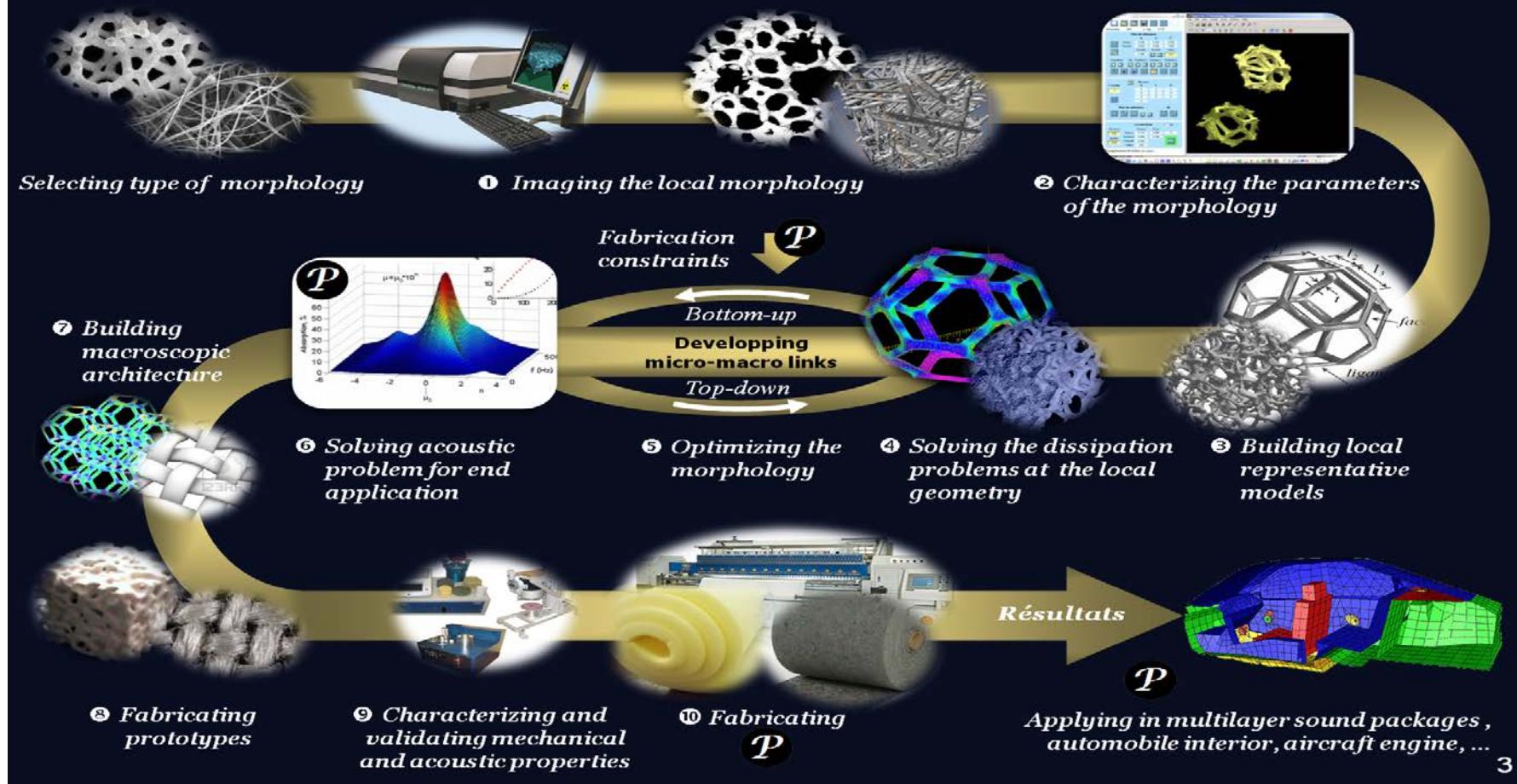
1. Sound packages Characterization and Equipment*



*www.mecanum.com

2) Micro-macro modeling and design

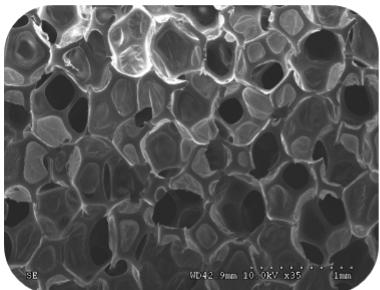
Bottom-Up design of a material for a given end application



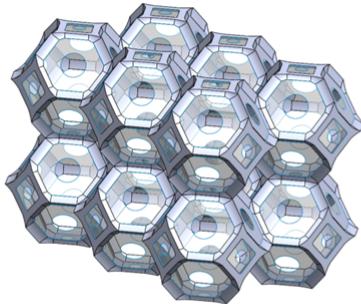
2) Micro-macro modeling and design

Application #1: modeling and optimization of PU foams

Flexible Polyurethane foam (PU)

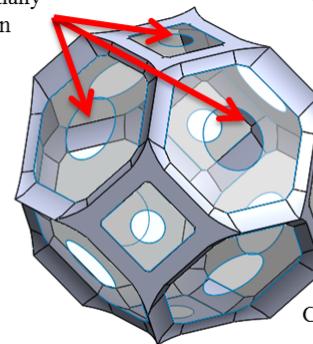


SEM micrograph



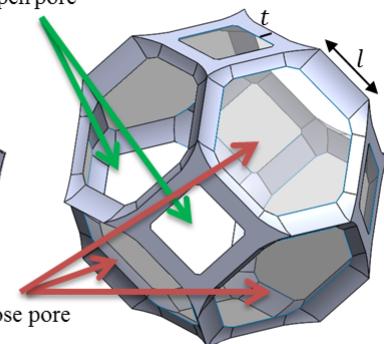
Idealized lattice

Partially open



Unit cell- Partially reticulated

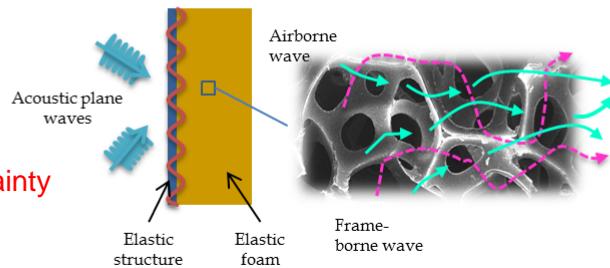
Open pore



Unit cell- Binary reticulated

Optimization of acoustic performance of PU foams necessitates correlation between microstructure and Biot's parameters

Include variability/uncertainty effects



Biot's parameters:

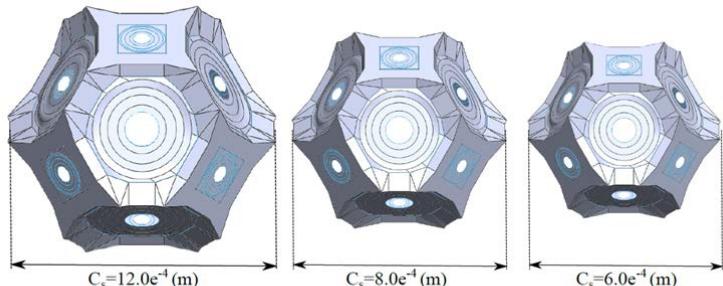
In terms of cell size (strut's thickness and length) & Reticulation rate

Non-acoustic properties:

- 1) flow resistivity (σ),
- 2) porosity (ϕ),
- 3) thermal characteristic length (Λ'),
- 4) viscous characteristic length (Λ),
- 5) tortuosity (α),

Elastic bulk properties:

- 6) bulk density (ρ_b),
- 7) effective Young's modulus (E),
- 8) loss factor (η),
- 9) Poisson coefficient (ν).



Mechanical models estimate both relative Young's modulus and Poisson's ratio and includes effect of membranes (Reticulation rate)

Figure 2: Unit cells with three-cell size and six-reticulation rates.

2) Micro-macro modeling and design

Application #1: modeling and optimization of PU foams

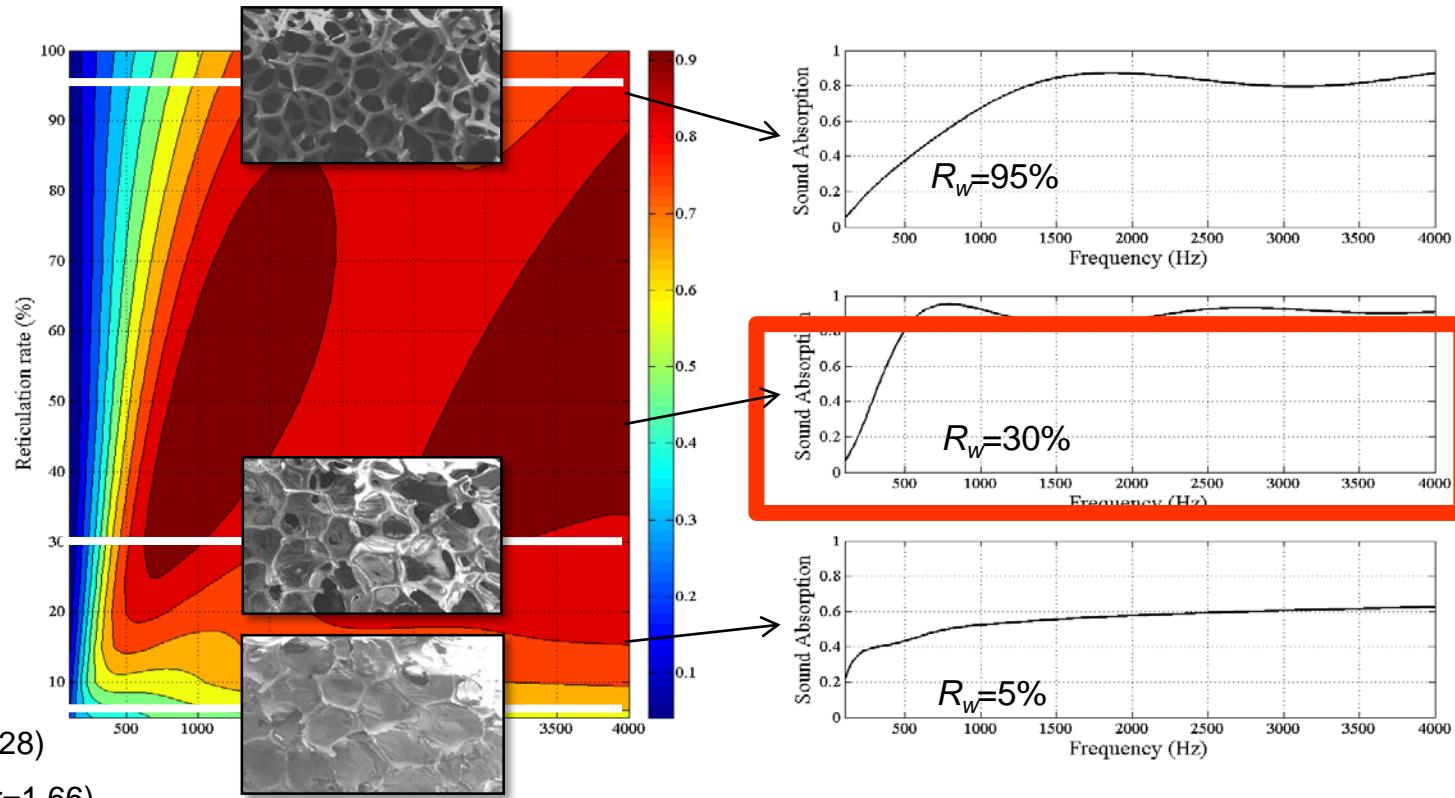
Optimum homogeneous foam for sound absorption – importance of reticulation rate

- PU thickness : 2 inches
- The cell size is set to $C_s=500 \mu\text{m}$ and is kept constant within the porous volume
- The reticulation rate can be optimized to get maximum sound absorption

($R_w=5\%$; RPA=17; tor=3.28)

($R_w=30\%$; RPA=2.29 ; tor=1.66)

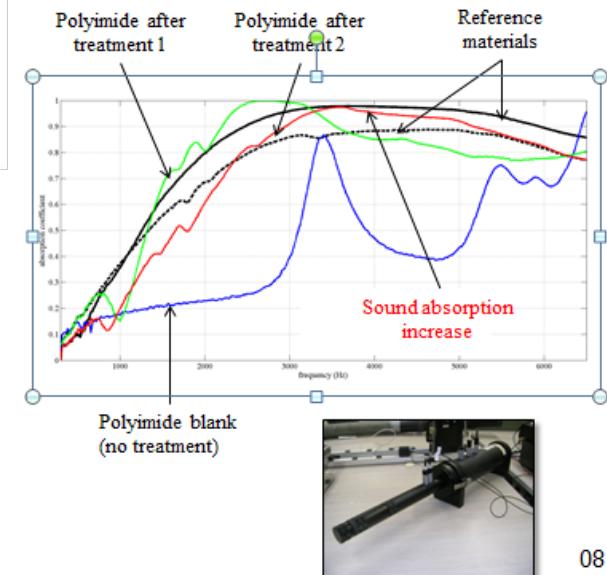
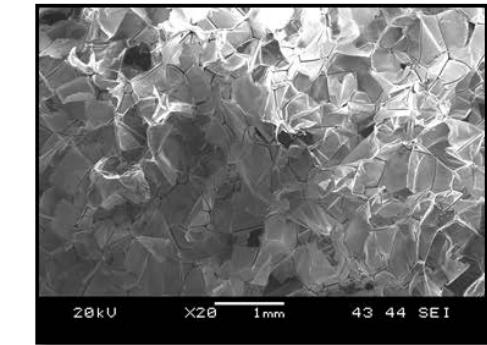
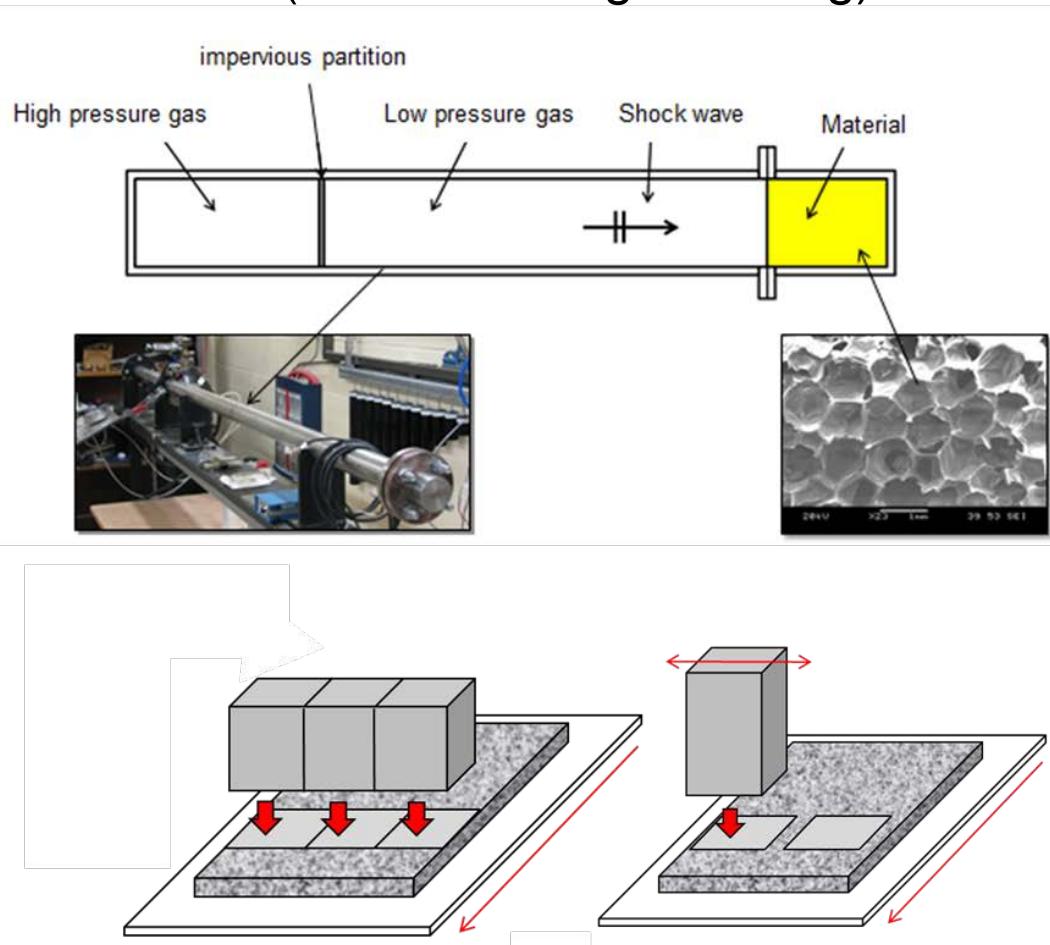
($R_w=95\%$; RPA=0.63 ; tor=1.07)



Need : Technology to model the fabrication and forming process

2) Micro-macro modeling and design

Application #2: development of a shock wave technology to control the reticulation rate (both modeling & testing)

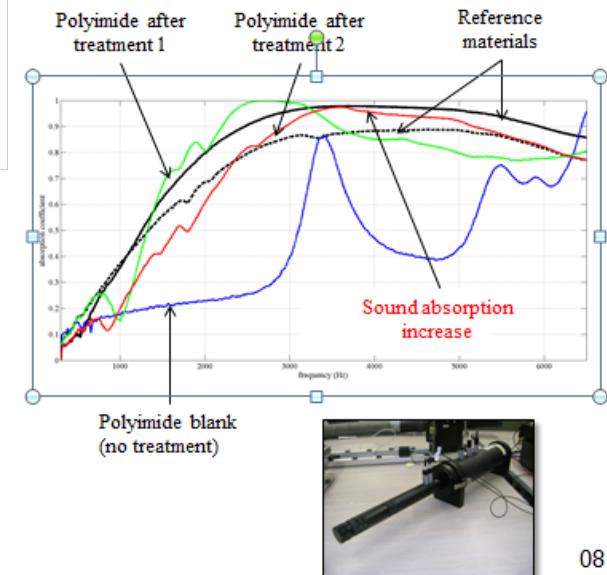
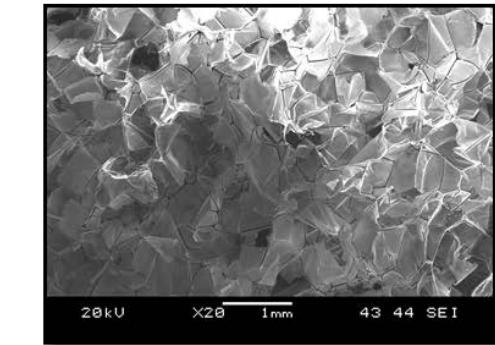
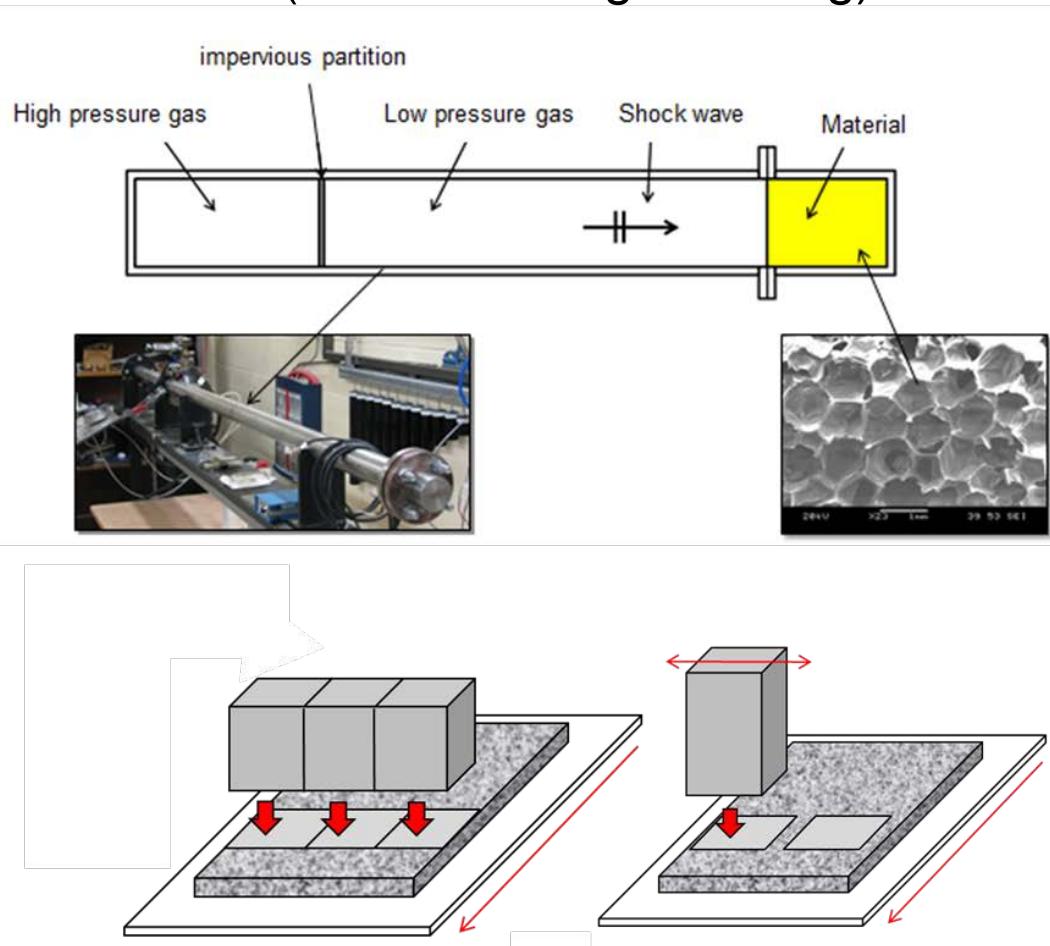


08

Need & potential collaboration : Technology to model the fabrication and forming process

2) Micro-macro modeling and design

Application #2: development of a shock wave technology to control the reticulation rate (both modeling & testing)



08

Need & potential collaboration : Technology to model the fabrication and forming process

2) Micro-macro modeling and design

Application #3: Development of natural fiber based materials (1/2) *

- Objectif du projet
 - Concevoir des matériaux acoustiques fonctionnels à base de fibres naturelles
- Défis scientifiques
 - Lier les caractéristiques microstructurales d'un assemblage de fibres à son comportement acoustique macroscopique (absorption et transmission)
 - Optimiser la microstructure en fonction des propriétés acoustiques recherchées pour une application donnée
 - Modéliser l'orientation des fibres et prédire son effet sur les propriétés acoustiques

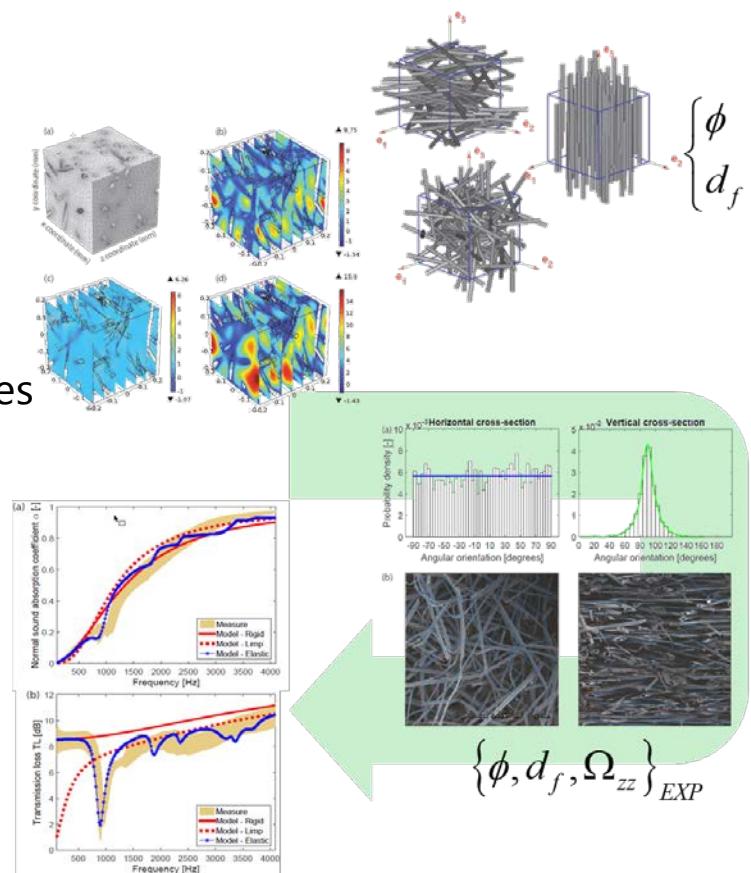


2) Micro-macro modeling and design

Application #3: Development of natural fiber based materials (2/2) *

□ Méthodologie

- Modéliser l'orientation des fibres par un tenseur d'orientation (Ω)
- Générer des milieux fibreux virtuels à partir de caractéristiques microstructurales (porosité, distribution de diamètres, orientation Ω_{zz})
- Calculer les propriétés de transport et géométriques à l'échelle locale sur un volume élémentaire représentatif (VER)^a
 - Nécessite la résolution des équations locales (écoulement de Stokes^b, équation de la chaleur^c, conduction électrique^d)
- Valider sur des matériaux réels (*slide précédent*)
 - Mesurer la porosité à l'aide d'un porosimètre
 - Mesurer la distribution de diamètres et l'orientation des fibres par des techniques microscopiques
 - Comparer avec des modèles acoustiques alimentés par les propriétés de transport et géométriques issues du calcul micro-macro



2) Micro-macro modeling and design

Application #3: Milieux granulaires (1/2) *

□ Objectif du projet

- Concevoir des matériaux acoustiques fonctionnels à base de granules issues du recyclage (clinkers, verre recyclé soufflé)

□ Défis scientifiques

- Lier les caractéristiques microstructurales d'un assemblage de granules à son comportement acoustique macroscopique (absorption et transmission)
- Optimiser la microstructure en fonction des propriétés acoustiques recherchées pour une application donnée
- Par l'approche micro/macro, étudier les effets sur les propriétés acoustiques:
 - Liant permettant de consolider le milieu
 - Assemblage aléatoire monodisperse et polydisperse
 - Assemblage structuré (=métagranulaire acoustique)
 - Forme des granules (sphérique, ellipsoïde, autre)

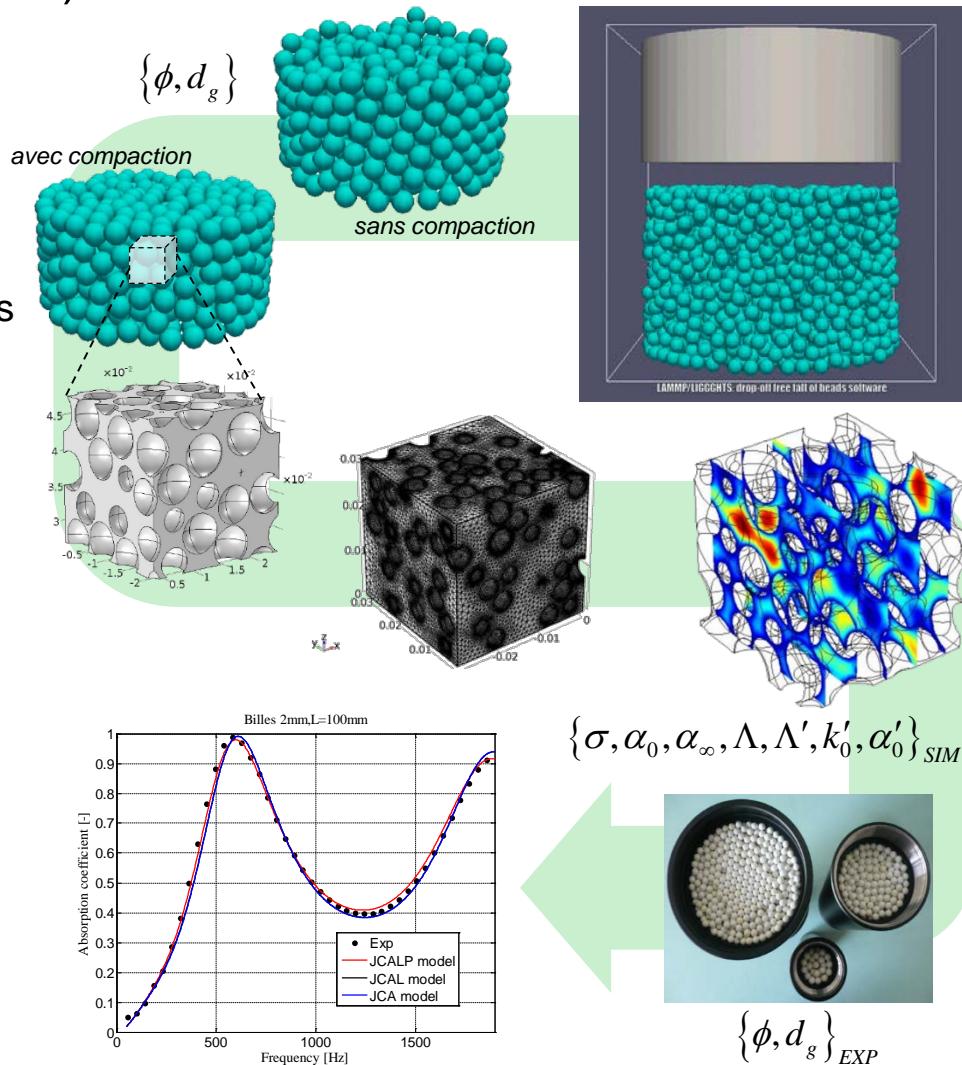


2) Micro-macro modeling and design

Application #3: Milieux granulaires (1/2) *

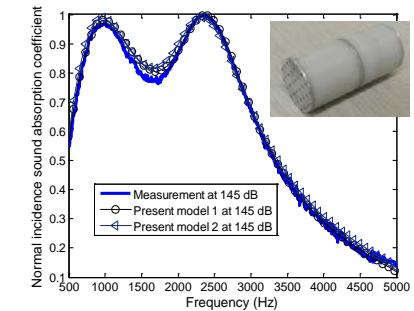
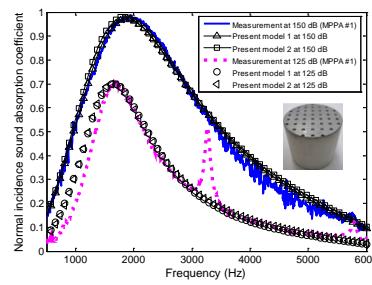
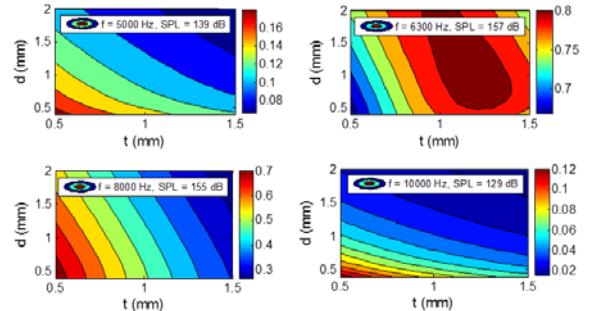
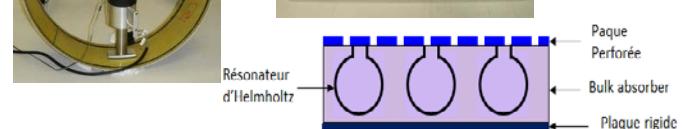
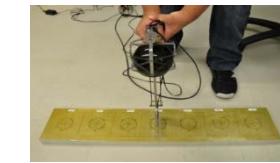
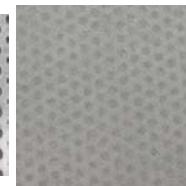
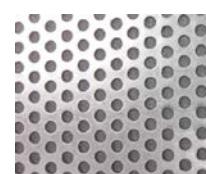
□ Méthodologie

- Créer des assemblages aléatoires virtuels monodisperses ou polydisperses + compaction
- Générer des VERs et les discréteriser pour des fins de calcul numérique (COMSOL)
- Calculer les propriétés de transport et géométriques à l'échelle locale sur un volume élémentaire représentatif (VER)
 - Nécessite la résolution des équations locales (écoulement de Stokes, équation de la chaleur, conduction électrique)
- Valider sur des matériaux réels (*slide précédent.*)
 - Mesurer la porosité à l'aide d'un porosimètre
 - Mesurer le diamètre moyen effectif
 - Comparer avec des modèles acoustiques alimentés par les propriétés de transport et géométriques issues du calcul micro-macro



3) Modeling and development of liners

- 1) Analytical (equivalent fluids) models for the normal and grazing incidence of MPP at high SPL with and without flow
- 2) Analytical models in presence of resistive screens in various configurations
- 3) In-situ characterization and control (via modeling)
- 4) In-situ prediction and tests methods under oblique incidence
- 5) Design of meta-composites for liners applications



4) Modeling and development of meta-composites

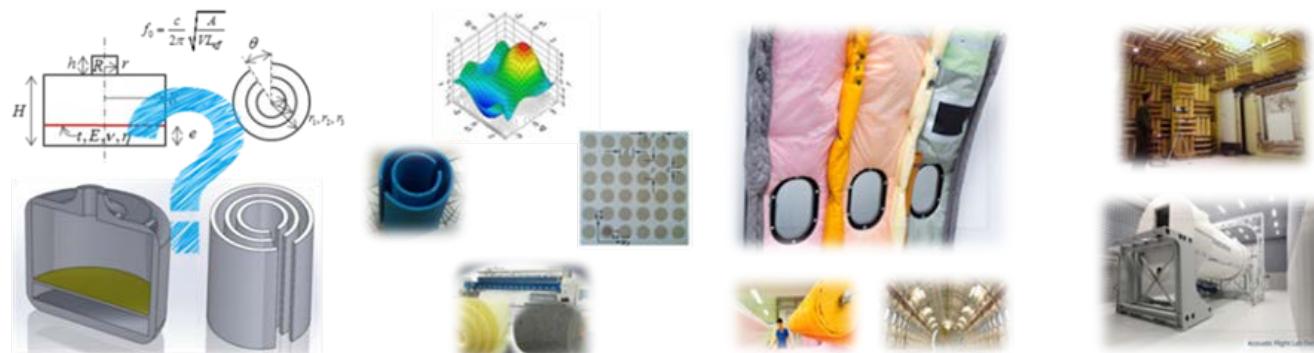
Exemple #1: (MMA) à base d'inclusions résonantes

Objectives: Design materials with embedded resonant inclusions targeting specific frequencies and/or applications :

- (1) ensuring a low weight and
- (2) fabricating and integrating an array of resonators within limp fiberglass materials already used as insulation materials.

Methodology: Use both analytical and FE (PUC) based modeling , fabrication techniques, lab and full scale testing

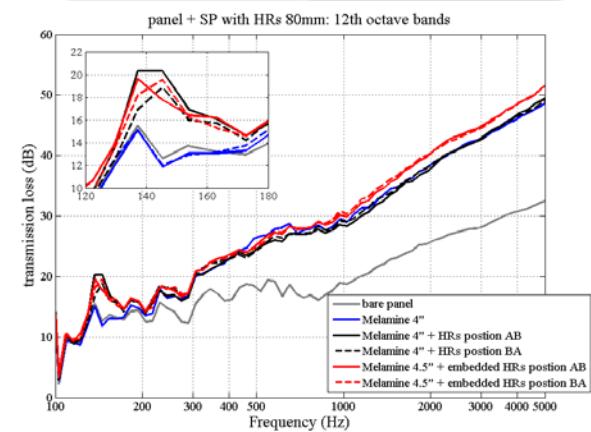
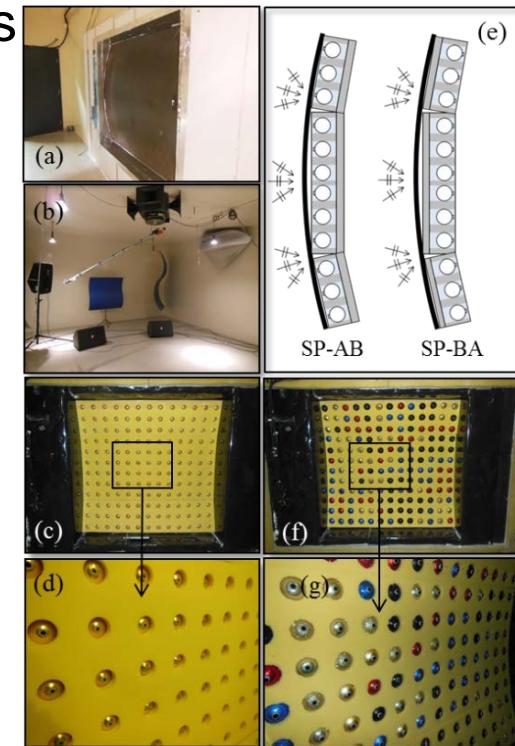
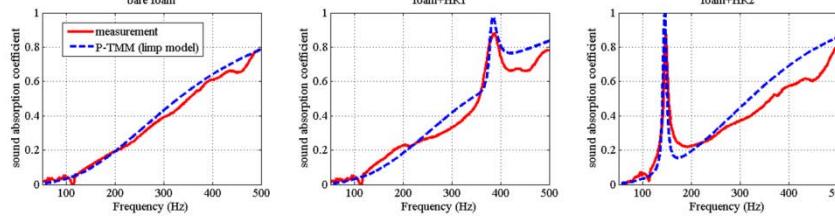
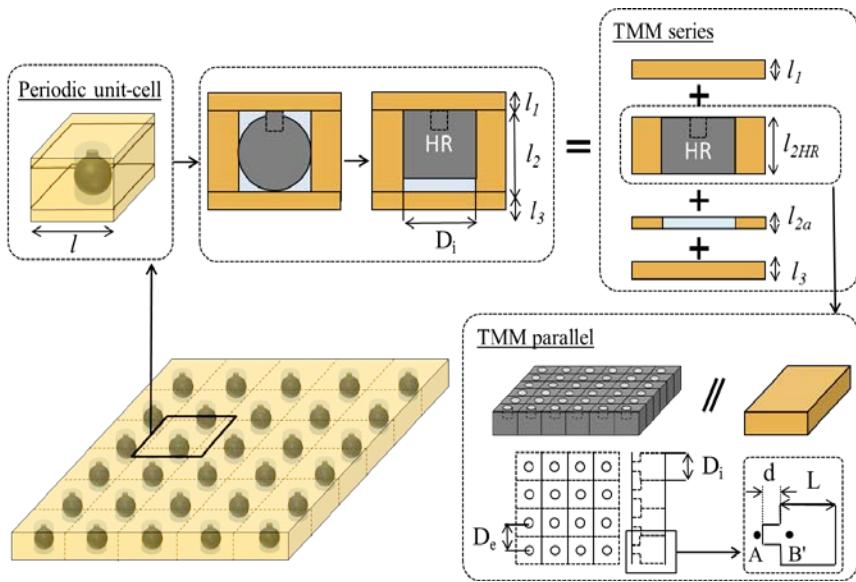
Target applications : aerospace*



Collaboration with Canadian and German aerospace partners

4) Modeling and development of meta-composites – an example

Exemple #1: (MMA) à base d'inclusions résonantes

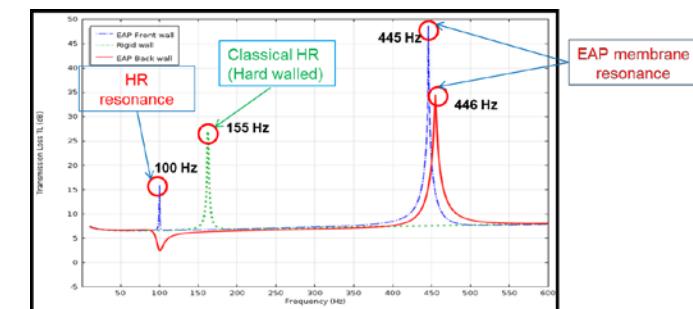
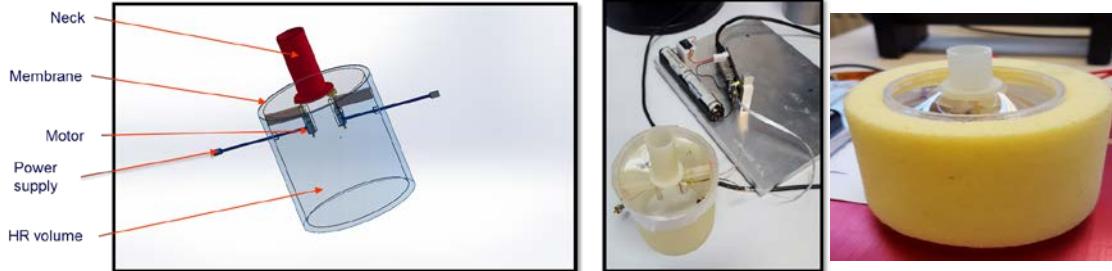
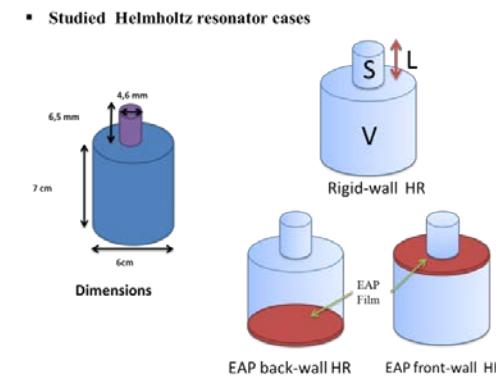
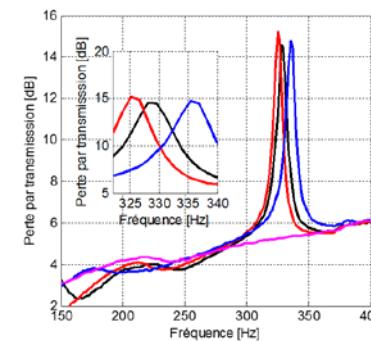
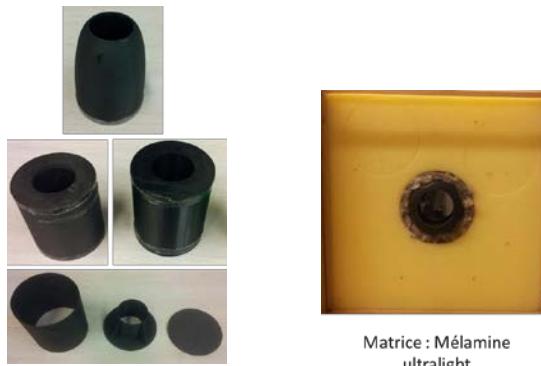


4) Modeling and development of meta-composites – an example

Exemple #1: (MMA) à base d'inclusions résonantes

On going work – optimization of the system and development of tunable resonators (collaboration with Femto-ST)

- Optimization of shape and dimensions of the PUC (under DAF)
- Modeling resonators with tunable (via volume variation)
- Performance assessment using full size panels & mock-ups



4) Modeling and development of meta-composites – example # 2

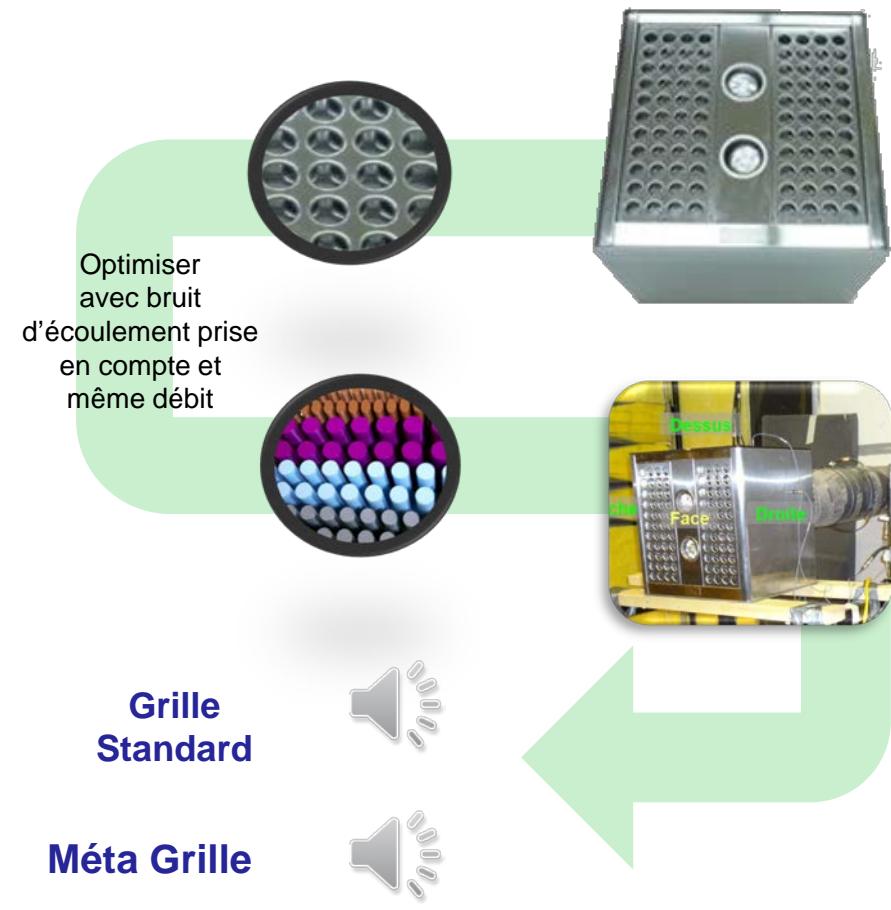
Exemple #2: (MMA) à base de cristaux soniques *

□ Objectif du projet

- Concevoir des MétaMatériaux Acoustiques (MMA) à base de cristaux soniques
- Exemple:
 - Grille de filtration isolante, tout en laissant passer l'air

□ Défis scientifiques

- Modéliser analytiquement et caractériser dans un milieu complexe avec écoulement les propriétés acoustiques de cristaux soniques
- Optimiser le cristal à l'aide du modèle analytique pour atteindre un objectif acoustique tout en respectant des contraintes fonctionnelles



Gain d'environ 2 sones selon Norme HVI

4) Modeling and development of meta-composites

Exemple #3: (MMA) à base à base de réseaux périodiques de résonateurs*

Objectif du projet

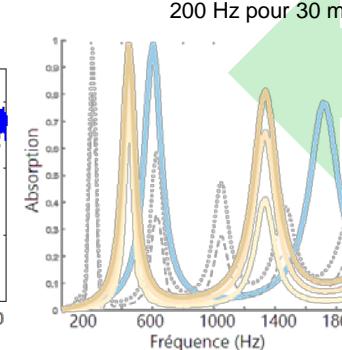
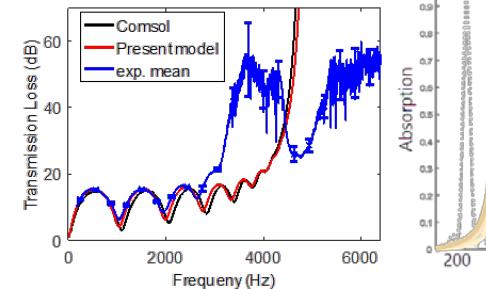
- Concevoir des MétaMatériaux Acoustiques (MMA) à base de réseaux périodiques de résonateurs

Défis scientifiques

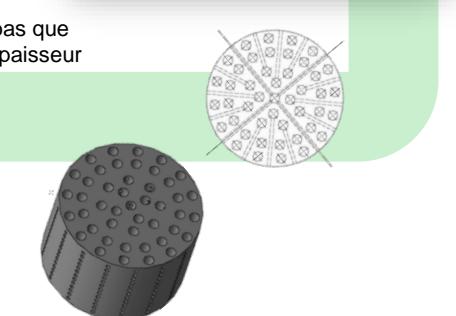
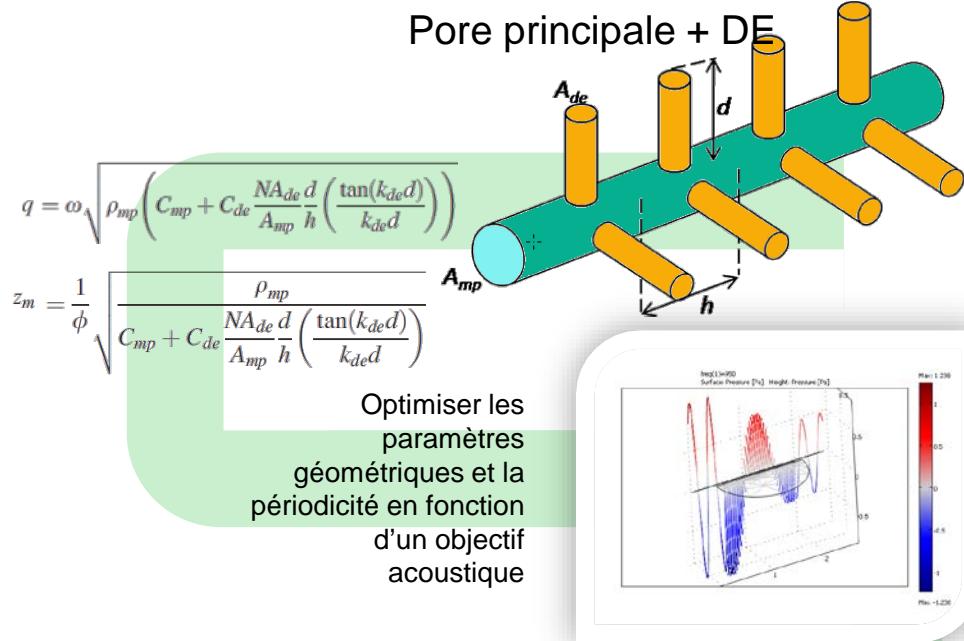
- Modéliser analytiquement et caractériser un milieu avec *dead-ends* (DE) périodiques
- Optimiser les paramètres géométriques et la périodicité en fonction d'un objectif acoustique

Validation

- Prototypage 3D de différents MMA à résonateurs DE périodiques
- Absorption basse fréquence pour faible épaisseur
- Band-gap TL observé



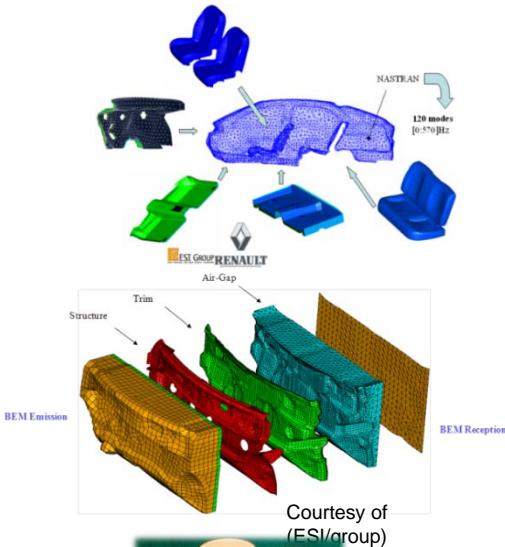
Pic d'absorption aussi bas que 200 Hz pour 30 mm d'épaisseur



5) Modeling Sound Packages → towards hybrid methods

Detailed Modeling of trim :

- Can be achieved using **FEM/BEM** based methods
- Various methodologies (implementations & codes) are used to account efficiently for the sound package
- But are labor extensive & computationally expensive
 - Porous media are **soft** (i.e. short wavelength) **two-phases materials**
 - Uncertainty / variability in input parameters/Boundary conditions



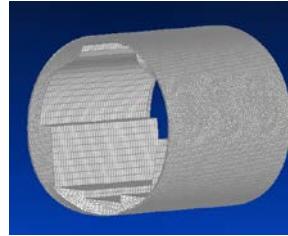
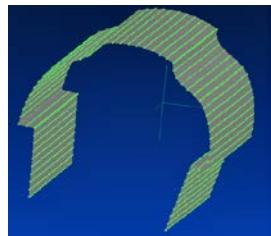
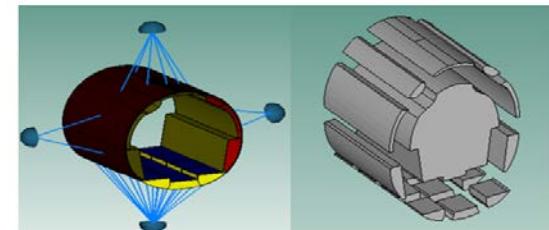
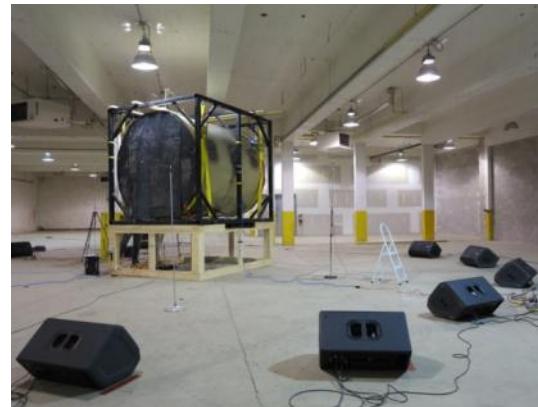
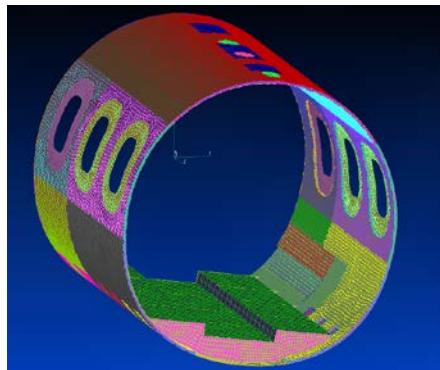
→ On going work at GAUS targets :

- **Development of quick and approximate methods :**
 - Material / Sound package optimization
 - Quick screening of various solutions
 - Answer what if questions
- **Better characterization methods**

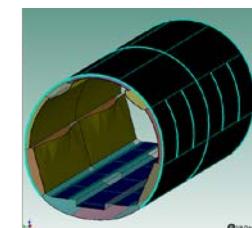
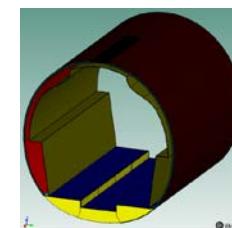


5) Modeling Sound Packages → towards hybrid methods

On going work : full frequency range modeling and testing of the method



Full FE and Hybrid FE-TMM models



Full SEA and Hybrid SEA-FE models