

## **Projet ACDC - Composites Avancés pour le Contrôle de l'amortissement et des vibrations**

### ***ACDC project – Advanced Composites for acoustic and vibration Damping Control***

**Laurent Puech<sup>1</sup>, Caroline Lyszyk<sup>1</sup> et Julien Munoz<sup>1</sup>**

1 : IRT Saint Exupéry  
B612, 3 Rue Tarfaya, CS 334436  
31405 Toulouse cedex 4 (France)  
e-mail : laurent.puech@irt-saintexupery.com

### **Résumé**

Le projet ACDC (Advanced Composites for acoustic and vibration Damping Control) vise à développer des matériaux et structures pour améliorer l'isolation acoustique et diminuer les vibrations sur les prochaines générations d'avion, en raison notamment des modifications du spectre acoustique des nouveaux moteurs. Ce projet explore de nouvelles solutions pour les parties nacelle et cabine notamment en *benchmarkant* de nouvelles structures et de nouveaux matériaux qui pourront demain, remplacer les panneaux sandwichs actuels. Des panneaux nouvelles générations basés sur la technologie de résonateurs d'Helmoltz, ou composés de matériaux biosourcés comme le byssus de moule sont explorés. Des composites à base de fibres naturelles de différentes natures et formes ; courtes, longues et sous forme de tissus ; sont étudiés. Ces matériaux sont performants en terme d'amortissement et présentent également des avantages en termes de réduction de l'empreinte environnementale et de recyclabilité. Des essais vibratoires et acoustiques ont montré que les biocomposites à fibres végétales offrent des performances accrues, avec un coefficient d'absorption sonore jusqu'à 117% supérieur à celui des matériaux traditionnels. Enfin, l'utilisation d'une matrice identique qui constituera la peau et l'âme du composite pourrait permettre de faciliter l'assemblage des matériaux et de faciliter leur traitement en fin de vie.

### **Abstract**

The ACDC (Advanced Composites for acoustic and vibration Damping Control) project aims at developing materials and structures to enhance acoustic insulation, as well as reducing vibrations in next-generation aircrafts, particularly due to changes in the acoustic spectrum of new engines. This project explores new solutions for the nacelle and cabin areas, including benchmarking new structures and materials that could eventually replace current sandwich panels. Next-generation panels based on Helmholtz resonator technology or made from bio-based materials such as mussel byssus are being explored. Composites based on natural fibres of various types and forms – short, long, and in fabric form – are also being studied. These materials offer excellent damping performance while providing advantages in terms of environmental impact reduction and recyclability. Vibration and acoustic tests have shown that bio-composites with plant fibres deliver improved performance, with a sound absorption coefficient up to 117% higher than that of traditional materials. Finally, using a single matrix for both the skin and the core of the composite could simplify material assembly and end-of-life processing.

**Mots Clés :** Biocomposite, Aéronautique, Amortissement, Vibration, Eco-circularité

**Keywords:** Biocomposite, Aeronautics, Damping, Vibration, Sustainability

## 1. Introduction

L'industrie aéronautique est en constante évolution afin notamment de réduire la consommation des aéronefs et leur impact environnemental. Des travaux de recherche se concentrent sur l'amélioration des performances de nombreuses pièces, dont les réacteurs. Ainsi sur les avions de prochaines générations, une modification significative des réacteurs va entraîner un déplacement du spectre acoustique vers des fréquences plus basses (Fig. 1). Ces modifications vont nécessiter de repenser les solutions d'amortissement acoustique et vibratoire actuellement utilisées pour limiter le bruit externe et interne, ainsi que de prendre en compte les vibrations générées pour remplir des obligations de confort pour les passagers et le vieillissement des structures,

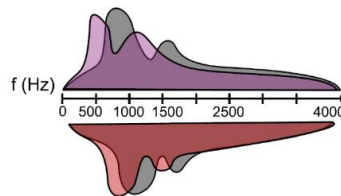


Fig. 1. Spectre acoustique (haut/gris : Avion long-courrier actuel, haut/violet : avion long-courrier futur, bas/gris : avion court-courrier actuel, bas/rouge : avion court-courrier futur).

C'est de cette problématique qu'est né le projet ACDC, qui s'attache à *benchmarker* des solutions de substitution à l'existant actuel, inadapté au fonctionnement des nouveaux moteurs.

Deux environnements sont considérés, possédant des contraintes différentes notamment liées à des températures de fonctionnement et des taux d'humidité différents: la nacelle et la cabine (Fig 2).

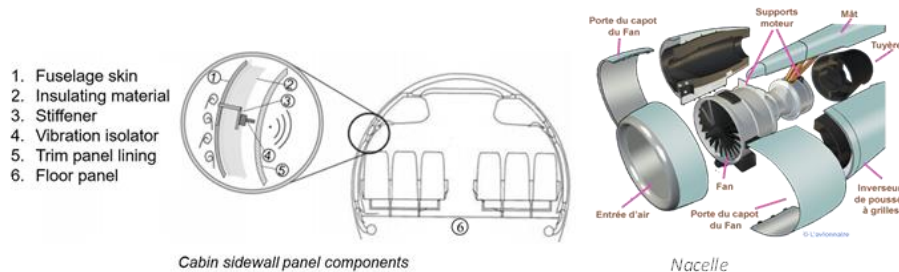


Fig. 2. Environnements cabine (gauche) et nacelle (droite).

Ces différentes contraintes permettent, pour les pièces de l'environnement cabine, d'adresser des stratégies de conception basées sur une plus grande variété de matériaux.

Jusqu'à présent, deux matériaux sandwichs distincts ont été largement utilisés : le premier est composé d'un nid d'abeille en nomex sur lequel sont collées deux peaux de tissu de fibre de verre enduites de résine phénolique – ces dernières étant collées à l'aide d'un film adhésif à l'âme.

La mousse mélamine et la laine de verre, sont aussi largement utilisées pour l'intérieur cabine en raison de leurs propriétés acoustiques et de légèreté.

Un état de l'art a été réalisé et a permis de sélectionner une famille de matériau qui possédaient d'excellentes propriétés d'amortissement acoustique et vibratoire pour des applications en intérieur

cabine, tout en présentant des propriétés très intéressantes en termes de recyclabilité et de réduction de l'impact environnemental – les composites à base de fibres naturelles et de matrices thermoplastiques. En effet, les fibres végétales et leurs composites promeuvent des amortissements supérieurs à leurs homologues en carbone ou verre (Fig. 3).

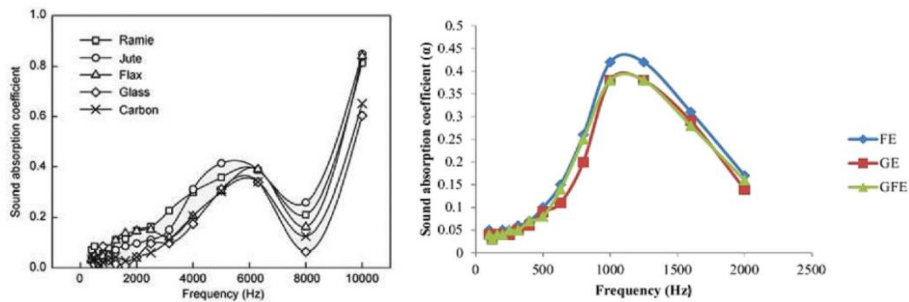


Fig. 3. Coefficient d'absorption sonore de fibres [1] et de composites (FE : Lin/Epoxy ; GE : Verre/Epoxy ; GFE : Lin/Verre/Epoxy) [2]

Cet article s'attache ainsi à présenter les solutions de substitutions envisagées aux âmes et peaux existantes pour la réalisation de panneaux promouvant un amortissement accru des vibrations et perturbations acoustiques ainsi qu'une empreinte environnementale réduite.

## 2. Solutions pour l'âme des panneaux sandwichs

Deux solutions sont envisagées pour remplacer les âmes en nid d'abeille (environnement nacelle et/ou cabine), la mélamine et la laine de verre (cabine uniquement).

### 2.1 Substitut aux nids d'abeille

Les nids d'abeilles peuvent être avantageusement remplacés par des structures en polymères thermoplastiques à base de résonateurs d'Helmholtz (Fig. 4.) présentant des caractéristiques géométriques distinctes qui confèrent à chaque cellule la capacité d'absorber une bande de fréquence spécifique. En couleur apparaissent les spectres d'absorption de chaque cellule unitaire et en noir celui d'un assemblage de 128 cellules : un effet synergique s'opère si bien que l'assemblage permet de filtrer efficacement sur la bande de fréquence étudiée (500-2500 Hz) (Fig. 4)

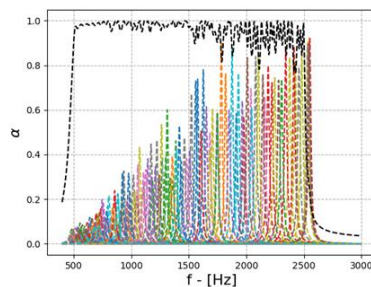


Fig. 4. Coefficient d'absorption sonore de cellules unitaires (couleur) et de l'assemblage (noir) – résultats de simulation

L'approche choisie dans le projet consiste à concevoir et optimiser numériquement (GEMSEO [3]) et automatiquement les géométries des résonateurs et de confirmer les performances obtenues lors des simulations par la mise en œuvre de prototypes, en utilisant des procédés d'impression 3D. Ces

structures peuvent être réalisées soit en thermoplastique hautes performances (PAEK) pour les applications nacelle soit en polymères biosourcés pour les applications cabine.

## 2.2 Substitut à la mousse mélamine

Des substituts biosourcés à la mousse mélamine comme par exemple le byssus de moule sont également en cours d'étude. Ce matériau peut être utilisé pour réaliser des mats non tissés (Fig. 5). La figure 5 ci-dessous dresse une illustration des coupons réalisés ainsi que les résultats de leur mesure de performance acoustique.

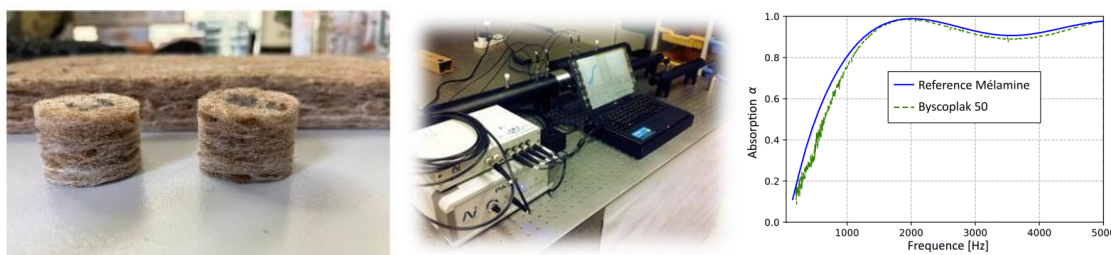


Fig. 5. Photo du non tissé de byssus « Byscoplak » (gauche), photo du tube à impédance (milieu) et coefficients d'absorption sonore mesurés au tube à impédance (droite) / BYSCO/IRT

## 3. Solutions pour les peaux des panneaux sandwichs

Les peaux des matériaux sandwichs se devront d'être différentes selon les environnements (cabine ou nacelle) du fait des contraintes environnementales. Côté cabine, trois voies sont à l'étude actuellement dans le cadre du projet.

### 3.1 Composites à fibres courtes

Sept variétés de fibres naturelles végétales et animales sont utilisées afin de réaliser des composites renforcés par des fibres courtes. Les mélanges matrice TP/fibres naturelles (toutes deux biosourcées) sont réalisés dans un évaporateur rotatif avant d'être pressées pour réaliser les peaux (Fig. 6). Les propriétés vibro-acoustiques des peaux ainsi réalisées pourront être évaluées au travers d'essais de « drop tests » et leur amortissement caractérisé par analyse mécanique dynamique (DMA).

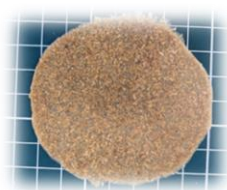


Fig. 6. Photo d'une peau TP/fibres végétales courtes / IRT

### 3.2 Composites à fibres longues

Des pré-imprégnés unidirectionnels fibre végétale / matrice TP biosourcée sont réalisés sur la ligne d'imprégnation de l'IRT Saint Exupéry pour être consolidés en étuve et drapés par AFP. (Fig. 7). Les propriétés vibro-acoustiques des peaux ainsi réalisées sont également évaluées au travers d'essais Similaires (*drop test*, DMA)

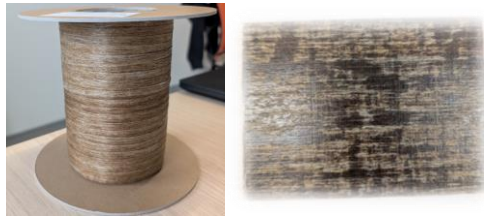


Fig. 7. Photo d'un tape TP/fibres naturelles continues (gauche) et d'une peau issue de ce tape (droite) / IRT

### 3.3 Composites intégrant un tissu

Des composites TP renforcés par des tissus de fibres naturelles ont aussi été produit par Porcher Industries via leurs métiers à tisser puis consolidés sous presse afin d'obtenir des peaux par procédé industriels. (Fig. 8).



Fig. 8. Photo d'un métier à tisser (gauche) et d'une peau TP/tissu de fibres naturelles (droite) / Porcher industries

De essais préliminaires de drop tests ont été réalisés sur ces composites et comparés à des références présentant les mêmes matrices mais renforcés par des fibres de verre (Fig. 9).

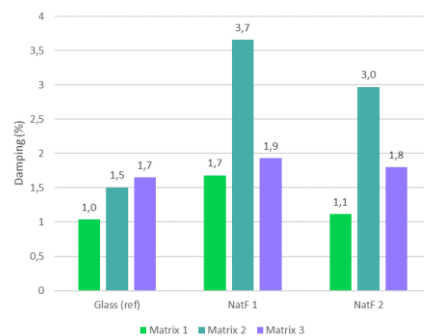


Fig. 9. Résultats de drop tests de composites à matrices TP renforcés par différents tissus (droite) / Porcher Industries/IRT

Ces essais ont permis de confirmer l'intérêt de l'utilisation des fibres végétales, puisqu'à matrice équivalente, les biocomposites présentent un coefficient d'absorption jusqu'à 117% plus élevé. Ces résultats seront dans la suite du projet corroborés par des essais de DMA.

## 4. Assemblage de la structure finale et caractérisations

L'utilisation d'un matériau identique pour réaliser les peaux (matrice TP haute performance pour l'environnement nacelle et biocomposite TP/fibres naturelles biosourcés pour l'environnement

cabine) permet de pouvoir venir imprimer sur une première peau les résonateurs d'Helmoltz et de venir souder la seconde peau par fusion locale du polymère. L'avantage de cette approche consiste à éliminer l'utilisation de films adhésifs et ainsi limiter la diversité des matériaux utilisés pour mettre en œuvre le panneau final. Les performances vibro-acoustiques matériaux sandwichs ainsi réalisés seront évaluées au travers de différents essais visant à mesurer l'amortissement des assemblages au tube à impédance notamment (Fig. 10).

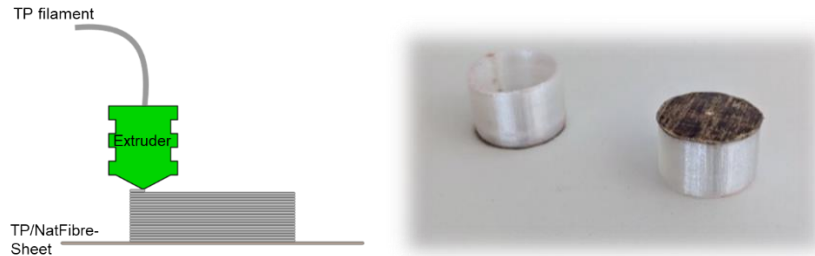


Fig. 10. Schéma représentatif de l'étape d'assemblage Peaux/Âme (gauche) et essais d'adhésion d'une simili âme TP produite par impression 3D sur une peau (droite) / ONERA/IRT

## 5. Conclusions

Le projet ACDC est centré sur le développement de matériaux innovants permettant d'absorber efficacement les sons et vibrations issus des nouvelles générations de moteurs d'aéronefs. La fonction du matériau a été mise au cœur des recherches. Des matériaux performants et biosourcés se sont imposés comme des solutions de premier choix, notamment pour l'environnement cabine. Différents types de fibres (végétales et animales) sont à l'étude et intégrées dans une matrice thermoplastique biosourcée, dans l'objectif de réaliser un matériau capable d'être recyclé. De plus, les âmes structurées – afin de filtrer encore plus efficacement – peuvent être imprimée avec une matrice équivalente, ce qui facilite grandement l'assemblage du matériaux sandwich final ainsi que sa fin de vie.

## Remerciements

Ces travaux ont été réalisés avec la collaboration de nos partenaires académiques et industriels que sont l'ONERA, l'ICA/ISAE Supaero, le LAUM, Metacoustics, Bysco, Porcher Industries, SDTech, Continental, et Airbus.

## Références

- [1] Dong Yang Wei, Yan Li. Sound absorption performance of natural fibers and their composites. *Sci China* 2012;55(8):2278–83.
- [2] Prabhakarana S, Krishnaraj V, Kumar M Senthil, Zitouned R. Sound and vibration damping properties of flax fiber reinforced composites. *Procedia Eng* 2014;97: 573–81.
- [3] Gallard, F., Vanaret, C., Guénot, D, et al., GEMS: A Python Library for Automation of Multidisciplinary Design Optimization Process Generation. In: 2018 AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference. 2018. p. 0657.