



**HAL**  
open science

# Développement d'un panneau sandwich multifonctionnel à base de mousse expansive pour application en intérieur cabine avion

d'Elia Raffaele, Leonardo Sanches, Guilhem Michon, Jean-Marie Des

## ► To cite this version:

d'Elia Raffaele, Leonardo Sanches, Guilhem Michon, Jean-Marie Des. Développement d'un panneau sandwich multifonctionnel à base de mousse expansive pour application en intérieur cabine avion. JNC23 - Journées Nationales sur les Composites 2023, AMAC, UFC, Supmicrotech-ENSMM, CNRS, Jul 2023, Besançon, France. hal-04606774

**HAL Id: hal-04606774**

**<https://hal.science/hal-04606774v1>**

Submitted on 10 Jun 2024

**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.

# Développement d'un panneau sandwich multifonctionnel à base de mousse expansive pour application en intérieur cabine avion

## *Foam based sandwich panel development for aircraft interior cabin application*

**Raffaele D'Elia<sup>1,2,\*</sup>, Leonardo Sanches<sup>2</sup>, Guilhem Michon<sup>2</sup>, Jean-Marie Des<sup>1</sup>**

1 : IRT Saint-Exupéry,  
3 rue Tarfaya – CS34436 – 31405 Toulouse Cedex 4, France  
e-mail : [jean-marie.des@irt-saintexupery.com](mailto:jean-marie.des@irt-saintexupery.com)

2 : Université de Toulouse, ISAE, ICA, CNRS,  
3 rue C. Aigle – 31400 Toulouse, France  
e-mail : [raffaele.delia@mines-albi.fr](mailto:raffaele.delia@mines-albi.fr), [leonardo.sanches@isae-superaero.fr](mailto:leonardo.sanches@isae-superaero.fr),  
[guilhem.michon@isae-superaero.fr](mailto:guilhem.michon@isae-superaero.fr)

\*: auteur correspondant

### Résumé

L'objectif du projet DEFLECT (Clean Sky 2, 2018-2020) est le remplacement des panneaux sandwich, actuellement utilisés dans les meubles électriques d'avion. Ces meubles sont principalement en aluminium ou en panneaux sandwich en composite en fibres de verre et résine phénolique avec une âme en nida Nomex®. Cette deuxième solution, plus légère par rapport à l'aluminium présente cependant une difficulté liée à l'intégration des fonctions secondaires sans passer par des étapes d'usinages, parfois complexes et coûteuses. Il a donc été décidé de développer un nouveau concept de panneau sandwich à base de mousse expansive et des peaux en composite en fibre de verre. Les matériaux ont été sélectionnés par rapport à leur résistance au feu spécifique. Le projet a ainsi permis le développement d'un démonstrateur, qui a fait l'objet d'une campagne de caractérisation complète. L'étude a été divisée en deux parties : dans un premier temps le procédé de fabrication a été optimisé à l'aide de plusieurs essais physico-chimiques ; puis le panneau a été caractérisé selon plusieurs spécifications définies en accord avec le donneur d'ordre. Le panneau développé a permis de valider le concept tout en réduisant le volume, la masse et le coût globale du meuble électrique.

### Abstract

The objective of the DEFLECT project (Clean Sky 2, 2018-2020) is to replace the sandwich panels currently used in aircraft electrical cabinets. These pieces are mainly made of aluminium or composite sandwich panels with fiberglass and phenolic resin, with a Nomex® honeycomb core. This second solution, lighter compared to aluminium, however, presents a challenge related to the integration of secondary functions without resorting to sometimes complex and costly machining steps. Therefore, it was decided to develop a new concept of sandwich panel based on expandable foam and composite fiberglass skins. The materials were selected based on their specific fire resistance. The project thus allowed the development of a demonstrator, which underwent a complete characterisation campaign. The study was divided into two parts: initially, the manufacturing process was optimized through several physicochemical tests; then the panel was characterized according to several specifications defined in agreement with the client. The developed panel validated the concept while reducing the overall volume, mass and cost of the electrical cabinet.

**Mots Clés :** mousses polymères, diagrammes TTT, intérieur cabine, panneaux sandwich, matériau multifonctionnel  
**Keywords :** polymeric foams, TTT diagrams, interior cabin, sandwich panel, multifunctional material

## 1. Introduction

Pour répondre aux défis de réduction d'émission de CO<sub>2</sub> et de limitation des activités aéronautiques sur l'environnement [1], le projet Clean Sky 2 DEFLECT [2] avait pour objectif de développer un nouveau paradigme de meuble électrique d'avion pour applications en intérieur cabine.

Les solutions utilisées se basent principalement sur des âmes en nid d'abeille Nomex® et des peaux composites en résine phénolique renforcée par des fibres de verre. Ces matériaux sont utilisés

notamment pour répondre aux normes Fire, Smoke et Toxicity (FST), limitant l'introduction de nouvelles solutions en intérieur cabine. Plusieurs études sont en cours pour remplacer les résines phénoliques [3], du fait des problèmes d'approvisionnement et prix du phénol, ainsi que pour sa toxicité pour les opérateurs pendant les différentes opérations de fabrication et maintenance.

Les nids d'abeille Nomex®, malgré leur faible densité, ne permettent pas d'intégrer des fonctions secondaires dans l'âme du sandwich à cause de leur difficulté d'usinage. Dans le cadre du projet DEFLECT, ces matériaux ont été remplacés par une âme en mousse époxy expansive avec des propriétés FST [4], [5] et des peaux en résine époxy FST (Fire, Smoke and Toxicity) renforcée par des fibres de verre [6]. L'objectif de l'étude était le développement d'un matériau multifonctionnel [7] intégrant dans l'âme en mousse des fonctions secondaires et non structurelles (bus bars et connecteurs électriques, inserts mécaniques de fixation).

L'étude était divisée en deux parties. Dans une première partie les propriétés physico-chimiques des matériaux utilisés ont été évaluées par différentes analyses et la mise en forme du panneau a été optimisée. Dans une deuxième, des essais fonctionnels ont été réalisés sur le panneau après mise en forme pour valider son utilisation dans un environnement représentatif de type cabine d'avion.

## 2. Procédé de fabrication du panneau sandwich

Pour pouvoir procéder à l'optimisation du procédé de fabrication du panneau sandwich multifonctionnel, les propriétés physico-chimiques du matériau d'âme ont été analysées et modélisées. Un accent particulier a été mis sur la cinétique de réaction, gélification et vitrification de la mousse expansive. Les étapes de moussage, gélification et polymérisation ont été analysées avec différentes techniques expérimentales (rhéomètre [8], expansion dans volume fermé avec capteur de pression, microscopie, ATG, DSC). Les résultats de ces analyses physico-chimiques ont permis de modéliser et ploter le diagramme Temps-Température-Transformation (TTT) de la mousse. Ce diagramme est présenté dans la Fig.1, avec plusieurs lignes caractéristiques des différentes transformations se produisant dans le matériau. Les résultats de ces analyses et les modèles associés ont été récemment publiés dans un article de journal, auquel le lecteur peut se référer pour avoir plus de détails sur la démarche utilisée [9].

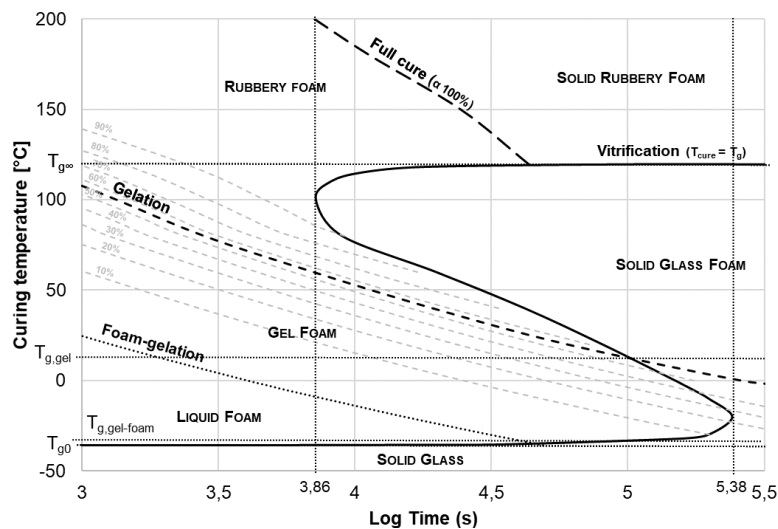


Fig. 1. Diagramme temps-température-transformation de la résine époxy expansive.

Ce diagramme a permis de définir un cycle de polymérisation optimal de la mousse, en assurant notamment une compatibilité avec le cycle de polymérisation des peaux composites en fibre de

verre qui ont été utilisées pour renforcer le panneau sandwich. Les détails du cycle de cuisson utilisé sont présentés également dans l'article [9] et ne seront pas détaillés ici.

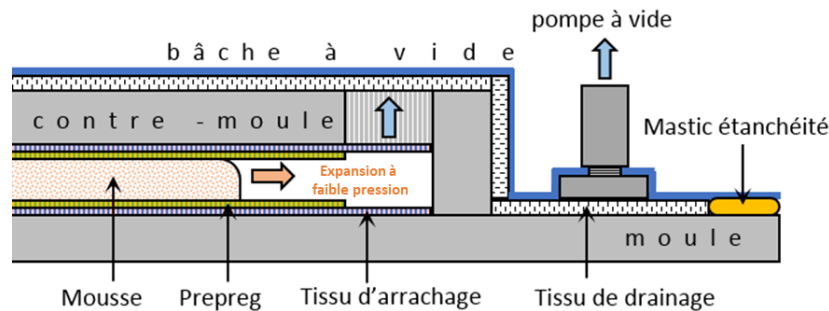


Fig. 2. Schéma procédé de fabrication panneau sandwich à base de mousse expansive.

Des détails concernant le procédé de fabrication du panneau sont schématisés dans la Fig. 2. L'expansion de la mousse est réalisée sous bâche à vide avec un vide limité (-500 mbar), qui permet d'éviter la génération de macroporosités aux interfaces peau/âme et âme/éléments fonctionnels. La faible pression appliquée dans la chambre d'expansion n'affecte pas (ou très peu) l'expansion de la mousse, avec une densité finale après polymérisation de  $272 \pm 7 \text{ kg/m}^3$ . Cette valeur, mesurée par double pesée, est en ligne avec les valeurs obtenues par expansion à l'air libre et mesurée avec la même méthode par les auteurs ( $270 \text{ kg/m}^3$ ).

Cette méthode permet d'intégrer aisément différentes typologies d'éléments fonctionnels dans le panneau : au niveau de l'âme (bus bars, fibres optiques, câbles électriques), mais également à travers les peaux composites (inserts mécaniques, connecteurs électriques). Les peaux composites sont préparées et préalablement coupées à l'aide d'un emporte-pièce ou d'un cutter et d'un gabarit pour assurer le passage des éléments traversant les peaux. La polymérisation du panneau après intégration des éléments fonctionnels est réalisée dans le moule sous bâche à vide (Vacuum Bag Only, VBO), avec un démoulage réalisé après polymérisation. Le procédé développé permet la mise en forme du panneau sandwich multifonctionnel en une seule étape, en évitant notamment l'étape d'usinage nécessaire par exemple dans le cas des âmes en nida Nomex®. Avec ce dernier type d'âme, certains éléments fonctionnels comme les bus bars ne pourraient que très difficilement être intégrés dans le panneau. Ces différents avantages portent à une réduction considérable du temps global de fabrication du composant, de son volume et de sa masse globale. Les caractéristiques du panneau obtenu (sans éléments fonctionnels) sont données dans le Tab.1.

Élément constitutif	Descriptif	Densité
Âme	Mousse PB270i	$272 \pm 7 \text{ kg/m}^3$
Peaux	2 plis en composite époxy et fibre de verre (twill 2/2, 300 GSM)	$1760 \pm 70 \text{ kg/m}^3$
Panneau	Epaisseur 10 mm	$4.5 \text{ kg/m}^2$ (surfaccique)

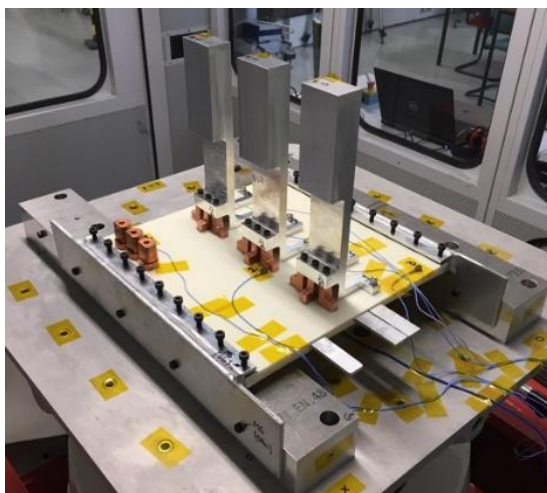
Tab. 1. Détails relatifs au panneau sandwich et à ces éléments constitutifs.

### 3. Caractérisation du panneau sandwich multifonctionnel

Plusieurs essais fonctionnels ont été réalisés sur le panneau en accord avec les spécifications techniques définies avec l'utilisateur final du produit (Safran Electrical and Power). Les différents tests ont été définis de façon à pouvoir caractériser le panneau pour utilisation en intérieur cabine. Parmi les normes qui ont été utilisées pour valider le panneau, il est intéressant de mentionner les

standard AITM sur la protection feu (inflammabilité AITM 2.0002, 2.0004, composition et densité de fumée AITM 2.0007), l'isolation électrique et la résistance à l'emballement électrique du panneau ainsi que la résistance mécanique d'arrachement des inserts mécaniques de fixation (pull-out test).

Une partie importante de la phase de caractérisation du panneau a été basée sur les normes RTCA DO-160 E [10], notamment en ce qui concerne la résistance au vieillissement humide et aux vibrations. Le panneau développé a été testé et ainsi qualifié pour respecter ces différentes spécifications techniques imposés par le donneur d'ordre du projet. Les essais vibratoires ont été réalisées sur un pot vibrant au sein de l'Institut Clément Ader, en appliquant des masses sur le panneau qui simulent les équipements électriques qui seront branchés sur le panneau (Fig. 3).



*Fig. 3. Panneau sandwich multifonctionnel développé dans DEFLECT : test sur pot vibrant.*

#### **4. Conclusions**

Le projet DEFLECT a permis de développer un nouveau concept de panneau sandwich multifonctionnel constitué d'une âme en mousse expansive et des peaux en fibre de verre et résine époxy. Le procédé de fabrication a été optimisé en s'appuyant sur une campagne complète d'essais physico-chimiques, permettant de développer un démonstrateur multifonctionnel. Les panneaux produits ont ensuite été testés selon les spécifications définies avec les membres du projet. La réduction du temps de fabrication ainsi que la possibilité d'intégrer des éléments fonctionnels dans le panneau ont permis de réduire globalement le poids, le volume et le coût de fabrication du panneau.

#### **Remerciements**

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet DEFLECT (2018-2020) financé par le programme européen Horizon 2020 Clean Sky 2 (Grant Agreement No 785462). Les auteurs remercient le programme de recherche ainsi que les partenaires du projet, IRT Saint-Exupéry, Safran Electrical & Power et Tecnalía.

*This project has received funding from the Clean Sky 2 Joint Undertaking under the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 785462.*



## Références

- [1] ACARE, “Flightpath 2050 Europe’s vision for aviation,” 2011. doi: 10.2777/50266.
- [2] G. Gardiner, “Clean Sky 2 DEFLECT project - Composite world.” <https://www.compositesworld.com/news/clean-sky-2-deflect-project-develops-multifunctional-composite-panels-for-electronics-enclosures>
- [3] S. Kalami, M. Arefmanesh, E. Master, and M. Nejad, “Replacing 100% of phenol in phenolic adhesive formulations with lignin,” *J Appl Polym Sci*, vol. 134, no. 30, pp. 1–9, 2017, doi: 10.1002/app.45124.
- [4] Sicomin, “PB270i, PB 370i & PB 570 i Fireproof autoextinguishing foaming epoxy systems,” 2016. <http://sicomin.com/datasheets/product-pdf205.pdf>
- [5] Sicomin, “SR 1660 Heat resistant epoxy systems,” 2016. <http://sicomin.com/datasheets/product-pdf41.pdf>
- [6] SHD Composites, “Product Selector Guide ,” <https://shdcomposites.com/admin/resources/Data/shdpsgmar23.pdf>.
- [7] K. K. Sairajan, G. S. Aglietti, and K. M. Mani, “A review of multifunctional structure technology for aerospace applications,” *Acta Astronautica*, vol. 120, Elsevier, pp. 30–42, 2016. doi: 10.1016/j.actaastro.2015.11.024.
- [8] J. A. Bouayad, D., Bikard, J., Agassant, “Compressible flow in a plate/plate rheometer: application to the experimental determination of reactive expansion’s models parameters for polyurethane foam,” *International Journal of Material Forming*, vol. 2, no. 4, pp. 243–260, 2009.
- [9] R. D’Elia, L. Sanches, J. M. Des, and G. Michon, “Experimental characterization and numerical modeling of a viscoelastic expandable epoxy foam: Time–temperature transformation and time–temperature equivalence diagrams,” *J Appl Polym Sci*, vol. 140, no. 23, Jun. 2023, doi: 10.1002/app.53929.
- [10] “Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment RTCA DO-160E Prepared by SC-135 Supersedes DO-160D,” 2004. [Online]. Available: [www.rtca.org](http://www.rtca.org)