



**HAL**  
open science

## Structures composites adaptatives

Rémy Lachat, Sébastien Salmon, Yann Meyer

► **To cite this version:**

Rémy Lachat, Sébastien Salmon, Yann Meyer. Structures composites adaptatives: Conception et fabrication d'un aileron automobile instrumenté. 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03359635

**HAL Id: hal-03359635**

**<https://hal.science/hal-03359635>**

Submitted on 30 Sep 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.

# Structures composites adaptatives

## Conception et fabrication d'un aileron automobile instrumenté

R. Lachat<sup>a</sup>, S. Salmon<sup>b</sup>, Y. Meyer<sup>a</sup>

a. IRTES-M3M, UTBM, 90010 Belfort cedex, France, remy.lachat@utbm.fr /  
yann.meyer@utbm.fr

b. Optimization Command & Control Systems, 4J chemin de Palente 25000 Besançon,  
France, s.salmon@my-occs.fr

### Résumé :

Actuellement, dans différents domaines industriels comme les transports ou l'aérospatiale, un effort de recherche est mené pour réduire la masse structurale des systèmes. Une des solutions les plus prometteuses est l'utilisation de structures composites et, en particulier, les structures composites à base de fibres de carbone, en raison de leur grande rigidité, de leur faible densité de masse et de leur facteur d'amortissement relativement bas. Cependant, l'utilisation de ce type de technologie amène des problématiques nouvelles. De manière générale, les coûts de production actuellement élevés et la capacité à faire de la production de masse sont encore des verrous importants. D'un point de vue performances, l'allègement des structures tout en conservant une grande rigidité entraîne :

- la dégradation des prestations acoustiques,
- la modification des réponses vibratoires,
- un impact notable sur la durée de vie du système,
- la modification des règles de conception (fonction, sécurité, ...).

Dans le même temps, il y a également une intensification de l'environnement dynamique des systèmes au cours de leur cycle de fonctionnement et une augmentation des exigences de durabilité. Ces différentes attentes semblent être contradictoires et entraînent des difficultés à obtenir des compromis de conception acceptables.

Une façon de gérer ce point est de concevoir et de fabriquer des structures composites adaptables à leur environnement. Les objectifs peuvent être multiples :

- Effectuer un contrôle santé en temps réel,
- Garantir un niveau d'isolation vibratoire,
- Augmenter l'amortissement de certains modes,
- Interagir avec d'autres structures ou avec des êtres humains.

Pour rendre "adaptable" une structure mécanique, il faut :

- **la présence de transducteurs** pour lesquels différents principes physiques peuvent

être employés. Dans nos développements au sein du laboratoire, nous privilégions l'utilisation des transducteurs piézoélectriques afin d'avoir une large gamme fréquentielle d'utilisation compatible avec les applications automobiles ([6 Hz 250 Hz]) et les applications aéronautiques ([6 Hz 3000 Hz]).

- **un contrôleur.** Il est nécessaire de choisir entre :
  - un contrôleur centralisé. Toutes les informations issues des capteurs sont centralisées sur un seul contrôleur et exploitées pour générer les signaux d'entrée des différents actionneurs.
  - ou des contrôleurs décentralisés. L'information obtenue par un capteur est traitée localement et réinjectée sur les actionneurs proches de ce même capteur. Les modifications locales de comportement permettent d'obtenir un comportement global contrôlé.
- **une électronique de pilotage.**
- **un réseau de conducteurs** acheminant l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'électronique de pilotage.

Classiquement, les transducteurs, notamment piézoélectriques, sont collés sur la structure à modifier et l'électronique est déportée. Notre démarche est sensiblement différente. Nous souhaitons concevoir, fabriquer et optimiser des structures composites à base de fibres de carbone ou de fibres de verre avec un large réseau distribué et intégré de piézocéramiques. L'idée est de protéger les éléments de transduction et leur connectique et de concevoir des produits finis industrialisables en mode "*plug and play*". Par ailleurs, l'intégration d'éléments de transduction au coeur de la matière constitue la première étape pour développer, via l'intégration de micro et de nano structures, de la matière "programmable" ou "pilotable".

Pour intégrer ces nouvelles fonctionnalités à l'intérieur de structures mécaniques (en particulier, pour de grandes structures), il est nécessaire de développer un véritable ensemble distribué de transducteurs et de les intégrer pendant le processus de fabrication des matériaux composites. Pour atteindre cet objectif, quelques contraintes et exigences de fabrication majeures ont été identifiées. Il est nécessaire de :

- **Rendre électriquement indépendants chaque transducteur.** Ce point est notamment problématique pour le développement de structures à base de fibres de carbone qui sont naturellement conductrices.
- **Limiter les modifications d'épaisseur dues aux inclusions.** Le fait d'inclure des céramiques dans la matière va inévitablement modifier localement l'épaisseur de la structure. Ce fait peut être limité par l'emploi de piézocéramiques fines (de l'ordre de 200  $\mu\text{m}$ ). En revanche, la connection par soudure classique n'est pas envisageable à cause des surépaisseurs obtenues. Une technique particulière de connection a été développée spécifiquement.
- **Permettre d'atteindre des formes gauches** (par exemple, des structures bi-concaves) afin de s'adapter à une large gamme d'applications (par exemple, le

contrôle vibratoire d'une aile de voiture ou l'isolation vibratoire d'une coiffe de lanceur aéronautique).

- **Connecter un grand nombre de transducteurs** de manière à agir sur la globalité de la structure.

La mise au point du processus de fabrication est toujours en cours. En parallèle, une démarche de conception est également développée. L'idée est bien sûr d'être capable de concevoir ces structures complexes c'est à dire d'être capable de prédire en première approche le comportement final de la structure. Pour concevoir ces structures, il est absolument nécessaire de bien connaître le comportement électromécanique de ces transducteurs inclus dans la matière afin notamment de concevoir correctement le contrôleur de système. L'approche classique utilisant un processus d'identification appliquée aux structures finales n'est a priori pas pertinente pour de grands réseaux de transducteurs distribués ou pour de la production de masse. Notre approche est basée sur une démarche expérimentale amont permettant de prévoir les paramètres mécaniques globaux du composite produit. L'architecture du système nous permet d'établir nos besoins en caractérisation expérimentale et par conséquent les procédures à mettre en place. Il est nécessaire d'avoir :

- **une caractérisation des céramiques piézoélectriques.** Elle correspond à un contrôle d'entrée des piézocéramiques. Un procédé non destructif basé sur l'analyse des fréquences de résonance et d'anti-résonance des transducteurs est développé et utilisé pour déterminer les coefficients de couplage d'intérêt [1].
- **une caractérisation du composite fabriqué.** Une fois le procédé de fabrication stabilisé, le composite produit doit être entièrement caractérisé via une série d'essais nous permettant d'avoir accès aux paramètres matériaux nominaux et à leur incertitude. Deux méthodes sont exploitées dans ce but. La méthode de caractérisation classique est basée sur l'utilisation de machine d'essais matériaux et de jauges de déformation [2]. Un autre processus de caractérisation vibratoire est également utilisé : la méthode Resonalyzer [3, 4]. L'intérêt de cette dernière méthode est sa simplicité de mise en oeuvre.
- **une caractérisation des céramiques piézoélectriques "intégrées".** L'idée est d'être capable de produire un modèle de comportement permettant à partir du contrôle d'entrée d'évaluer la dérive des paramètres du matériau et des coefficients de couplage.
- **une caractérisation des interfaces électriques.** Le procédé de connection électrique notamment entre les transducteurs et le réseau électrique nécessite d'évaluer l'influence de paramètres de fabrication sur la qualité des contacts obtenus.
- **une caractérisation des couples interéléments.** Il est nécessaire d'évaluer les couplages entre les transducteurs en fonction de la distance et de la technologie de connections employée afin d'établir des règles de conception dédiées.

Dans le cadre d'un projet financé par le LABEX ACTION (Projet ReSPeCtiF), nous

devons concevoir et produire une structure pilotable à base de fibres de verre intégrant un nombre conséquent de transducteurs piézo-céramiques. Notre démarche est appliquée au cas d'un tronçon d'aile automobile dont le design a été produit par l'école Espera Sbarro. Les résultats préliminaires obtenus seront présentés et détaillés.

**Mots clés : Structure composite adaptative, piézocéramique intégrée, fibres de verre**

## Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'école Espera Sbarro pour la fourniture du moule nécessaire à ce travail ainsi que M. Sébastien Journot pour sa disponibilité. Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'ANR au titre du PIA portant la référence ANR-11-LABX-0001-01 : Labex ACTION.

## Références

- [1] Yann Meyer and Rémy Lachat. Vibration characterization procedure of piezoelectric ceramic parameters. In *AVE 14, 4<sup>ème</sup> Colloque francophone d'Analyse Vibratoire Expérimentale*, volume 1, Novembre 2014.
- [2] ASTM Standard. D638 : Standard test method for tensile properties of plastics. *West Conshohocken (PA) : ASTM International*, 2010.
- [3] Tom Lauwagie, H Sol, W Heylen, and G Roebben. Determination of the in-plane elastic properties of the different layers of laminated plates by means of vibration testing and model updating. *Journal of Sound and Vibration*, 274(3) :529–546, 2004.
- [4] Ives De Baere, Wim Van Paepegem, Joris Degrieck, H Sol, D Van Hemelrijck, and A Petreli. Comparison of different identification techniques for measurement of quasi-zero poisson's ratio of fabric-reinforced laminates. *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, 38(9) :2047–2054, 2007.