



Proposition de thèse 2017 - 2020



Thèse : **Elaboration et caractérisation de composites nano-structurés hybrides pour l'amélioration de la tenue à l'impact**

Mots clefs : Matériaux composites, nanotubes de carbone, impact, élaboration, caractérisation

Contexte : Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet collaboratif ATIHS (FUI) sur l'amélioration à la tenue de structures satellites aux impacts hyper-vitesse des débris spatiaux. Un nombre considérable de débris d'origine humaine gravitant autour de la Terre sont actuellement répertoriés. Leur taille, leur nature, leur orbite et leur vitesse peuvent fortement varier, mais ils constituent tous un risque croissant de collision [1] et une menace pour l'activité spatiale. Ainsi, les acteurs du spatial cherchent des solutions de limitation des risques, de protection et de contrôle du nombre d'objets (conception des objets spatiaux, mesures évitant la multiplication des débris, stratégie de fin de vie, ...).

L'ensemble de ces débris est classé en fonction de leur taille. A court terme et vis-à-vis des risques, la principale préoccupation des acteurs du domaine spatial porte sur les débris inférieurs à 5 cm [2, 3]. Les travaux de recherche réalisés dans le cadre du projet européen antérieur ReVuS (Reducing the Vulnerability of Space Systems) ont montré que les débris présentant le plus grand risque de perte de mission se situent dans la gamme de 1.0 à 5.0 mm de diamètre avec un pic significatif autour de 2.0 à 2.5 mm [4, 5]. Les probabilités de collision avec ce type de débris, encore faible, vont devenir non négligeables du fait de la multiplication des objets en orbite.

Sur cette base, l'enjeu du projet ATIHS est d'améliorer la protection des satellites face aux impacts de débris millimétriques à centimétriques.

Description de la problématique de recherche : Le projet se propose d'introduire de nouveaux matériaux dans les structures de satellites de façon à améliorer la réponse balistique de ses structures aux impacts de débris tout en conservant une masse et un encombrement compatibles avec les exigences opérationnelles. Parmi ces matériaux, les nanotubes de carbone alignés verticalement (VACNT) présentent des caractéristique mécaniques très intéressantes (dans l'axe du nanotube, le module de Young approche 1 TPa), et offrent la possibilité de renforcer des composites dans le plan transverse [6, 7]. Dans le cadre de cette thèse, l'objectif est d'élaborer des composites hybrides fibre de carbone haut module / VACNT / matrice organique et de caractériser leurs propriétés.

Dans le cadre du projet FUI ATIHS, une partie des partenaires travaille sur l'impact haute vitesse (jusqu'à 10 km/s) se rapprochant des configurations orbitales. Cette thèse se place dans le cadre de l'évaluation des procédés de mise en œuvre et de l'impact moyenne vitesse (inférieur à 1km/s) afin de vérifier que les matériaux développés pour l'impact haute vitesse permettront également de résister à des impacts à des vitesses intermédiaires. Les résultats d'essai d'impact seront corrélés numériquement à l'aide d'outils de modélisation.



Objectifs : Elaboration et caractérisation statique et à l'impact de composites hybrides. Optimisation des procédés de fabrication, lien entre les procédés et les propriétés mécaniques, essais et modélisation de l'impact moyenne vitesse ($v < 1 \text{ km.s}^{-1}$).

Méthode : Cette thèse s'organisera autour de deux volets principalement expérimentaux.

Afin de fabriquer les matériaux à tester, il s'agira d'un côté d'évaluer les procédés de mise en œuvre en étudiant notamment la mouillabilité des VACNT à la résine et les écoulements aux différentes échelles du matériau. Des développements technologiques seront nécessaires afin d'assurer le transfert des VACNT sur les renforts pré-imprégnés avant la consolidation des laminés. L'analyse de la microstructure des matériaux permettra ensuite de valider les procédés de fabrication. La caractérisation des propriétés mécaniques des matériaux par des essais sous diverses sollicitations quasi-statiques, permettra ensuite de faire le lien propriétés / procédés et de nourrir les modèles numériques de l'impact.

La structure des panneaux satellite envisagés dans ce projet, consiste en une structure sandwich avec une âme en nid d'abeille aluminium et deux peaux en aluminium ou composites. Le travail se poursuivra donc par l'étude de la tenue à l'impact des peaux de référence et des composites hybrides avec des essais sur les peaux seules mais aussi sur les structures sandwich. Un modèle de l'endommagement et de la tenue à l'impact sera développé en parallèle aux essais de tir au canon à gaz.

Direction de thèse :

Thierry Cutard (directeur de thèse), Samuel Rivallant (co-directeur de thèse).

Conditions : L'étudiant sera inscrit à l'école doctorale MEGeP de Toulouse et sera basé à Albi. Il sera rattaché au groupe « Matériaux et Structures Composites » de l'Institut Clément Ader. Ces travaux de thèse se dérouleront principalement dans les locaux de l'Institut Clément Ader (ICA) à l'école des mines d'Albi-Carmaux. Une partie des travaux, notamment les tests d'impact se déroulera dans les locaux de l'ICA à l'Espace Clément Ader (Toulouse).

Profil des candidats : Etudiant(e) (master recherche où ingénieur avec stage recherche) en Génie mécanique, Mécanique des matériaux, il(elle) devra posséder de bonnes compétences expérimentales afin de développer de nouveaux moyens de mesure et un plan d'expérience. Meticuleux(se) et avec un bon sens de l'organisation, une expérience dans la modélisation numérique, notamment de l'impact, serait appréciée. Maîtrise de l'anglais.

Contact(s) :

Thierry Cutard - 33 (0) 5 63 49 31 61 – thierry.cutard@mines-albi.fr

ICA – Site d'Albi - Ecole des Mines d'Albi-Carmaux - Campus Jarlard – route de Teillet - 81000 Albi

Samuel Rivallant - 33 (0) 5 61 17 11 63 – samuel.rivallant@isae.fr

ICA - Site de Toulouse - Espace Clément Ader, 3 rue Caroline Aigle - 31400 Toulouse

Avec CV et lettre de motivation.



Bibliographie :

[¹] Liou J-C, Johnson NL, Hill NM. Controlling the growth of future LEO debris populations with active debris removal. Acta Astronautica, 2010; 66: 648-653.

[²] P. Brudieu, B. Lazare, French Policy for Space Sustainability and Perspectives, 16th ISU Symposium, Feb. 21st, 2012.

[³] R. Destefanis, L. Grassi, Space Debris Vulnerability Assessment of the Sentinel 1LEO S/C, PROTECT Workshop, Mar. 21st, 2012.

[⁴] http://iaassconference2013.space-safety.org/wp-content/uploads/sites/19/2013/06/1440_Bensoussan.pdf

[⁵] C. Cougnet, M. David, B. Gergonne, M.Oswald, R. Putzar, H. Stokes, Solutions to reduce the vulnerability of space systems to impacts of small debris particles, in 63rd international astronomical congress, Naples, Italia, september 2012.

[⁶] Guzman de Villoria, R. et al. "Aligned Carbon Nanotube Reinforcement of Aerospace Carbon Fiber Composites: Substructural Strength Evaluation for Aerostructure Applications." in Proceedings of the 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, April 2012, Honolulu, Hawaii.

[⁷] E.J. Garcia, B.L. Wardle, A.J. Hart, Joining prepreg composite interfaces with aligned carbon nanotubes, JCompA, 2008; 39: 1065-1070

