

# Fatigue multi-physique de matériaux composites à matrice organique pour applications aéronautiques :

## Cyclage thermique, fatigue thermo-mécanique

Marco GIGLIOTTI (Professeur des Universités), Yannick PANNIER (Maître de Conférence)

Contact : [marco.gigliotti@ensma.fr](mailto:marco.gigliotti@ensma.fr), [yannick.pannier@ensma.fr](mailto:yannick.pannier@ensma.fr)

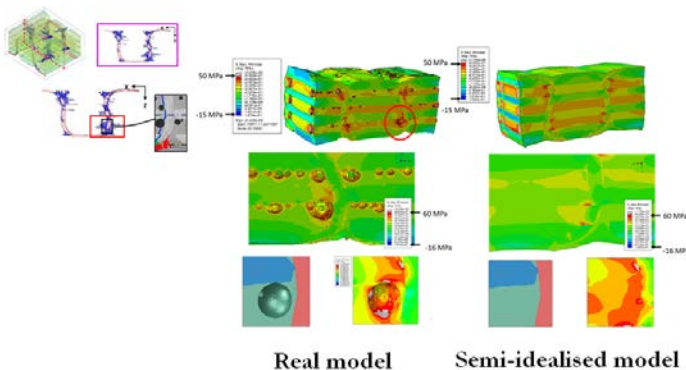
**Chercheurs Post-Doc, Doctorants :** Salvador ORENES BALACIART (MESR, 2020-2023), Yuriy SINCHUK (Post-Doc ANR LABEX, 2015-2017), Marina PECORA (MESR, 2015-2018), Federico FOTI (MESR, 2014-2017), Camille GUIGON (CIFRE SAFRAN, 2011-2014, currently Research Engineer at SAFRAN Composites, SAFRAN Group), Matteo MINERVINO (FUI COMPTINN', 2010-2013, currently Research Engineer at SNECMA, SAFRAN Group), N. Quang HO (MESR, 2003-2006), Sandrine ROUQUIE (RRIT SUPERSONIQUE, 2000-2003).

**Partenaires :** AIRBUS GROUP INNOVATIONS Suresnes, SAFRAN Group (SAFRAN Aircraft Engines, SAFRAN Composites, AIRCELLE), AIRBUS SAS Toulouse, ONERA, PIMM-ENSAM Paris, LMT Cachan, KU Leuven (Belgium), Politecnico di Torino (Italy), Politecnico di Milano (Italy), University of Calabria (Italy), University of Padova (Italy)

**Programmes de Recherche :** ANR IMPEKKABLE (2015-2019), PRC Composites (2011-2014), FUI COMPTINN' (2010-2013), RRIT SUPERSONIQUE (2000-2004)

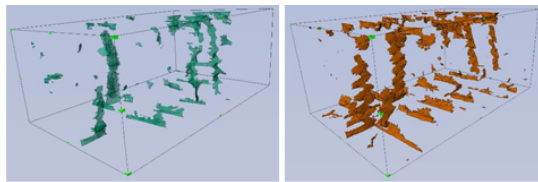
**Moyens expérimentaux :** Machines de fatigue thermo-mécanique et de cyclage thermiques sous environnement contrôlé (environnement neutre, oxydatif, humide ...), micro/nano indentation, microscopie optique et interférométrie, MEB, Micro-tomographie aux rayons X, Cyclage thermique in-situ sous micro-tomographe

**Contexte :** Le but de cette opération est de caractériser et de modéliser les effets de couplage de l'environnement et des chargements thermomécaniques cycliques (fatigue) sur le comportement des composites à matrice organique (loi de comportement, évolution de l'endommagement, rupture), afin de prédire leur durabilité en structure applications aéronautiques. Des dispositifs d'essais expérimentaux spécifiques ont été développés afin de réaliser des essais de cyclage thermique, des expériences de fatigue thermomécanique ou de fluage... en atmosphère gazeuse neutre ( $N_2$ ) ou oxydante (air,  $O_2$ ), afin d'identifier l'effet de l'environnement sur la fatigue, les mécanismes et les cinétique d'endommagement. Un effort particulier est fait pour analyser quantitativement l'évolution de l'endommagement en fonction du nombre de cycles (apparition de fissures matricielles, multiplication, propagation...) en lien avec l'architecture du composite et le comportement de la matrice polymère. Cet objectif est réalisé par la construction et le développement de protocoles expérimentaux spécifiques (couplés, découplés, multi-échelles, « in-situ »), par imagerie micro CT 3D RX et traitement d'images, et par l'interprétation des résultats par des simulations numériques EF avec des modèles réalistes.

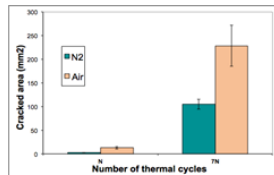


### Cyclage thermique

- ✓ Expériences de cyclage thermique sous environnement contrôlé
- ✓ Observation de l'évolution de l'endommagement avec le nombre de cycles par tomographie aux rayons X
- ✓ Stratifiés et tissés 2D, 3D, interlock avec ou sans défauts/porosité
- ✓ Simulation EF du comportement cyclique en prenant en compte le comportement viscoélastique et dépendant de la



Comparison of cracks induced by 7N thermal cycles under non oxidative environment (left) and oxidative environment (right).

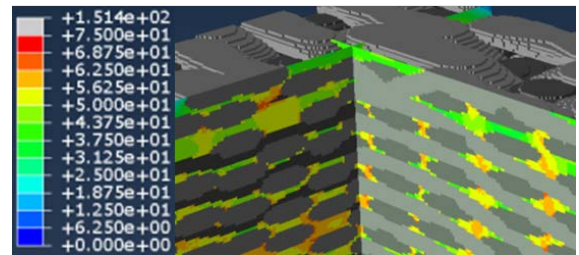


AIR	Cracking rate	0.36 mm <sup>2</sup> /cycle
Nitrogen	Cracking rate	0.17 mm <sup>2</sup> /cycle

Comparison of the total crack evolution surface for samples oxidised under oxidative or non-oxidative conditions.

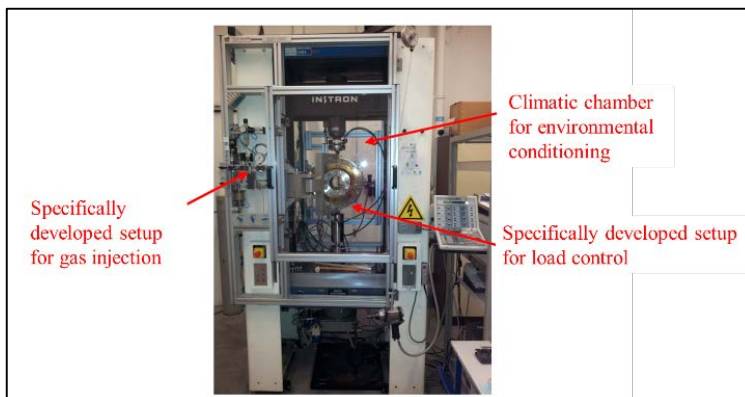
température de la matrice. Emploi de modèles réalistes

Champ de contraintes hydrostatiques (MPa)



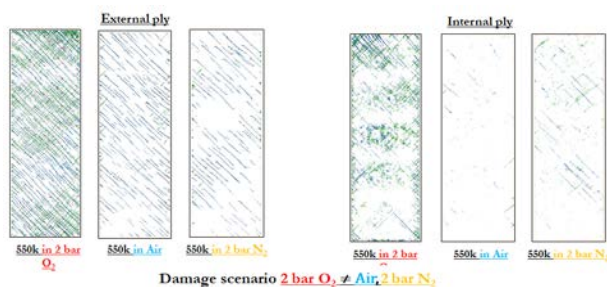
Vue en double coupe du champ de contraintes hydrostatiques dans la résine d'un échantillon interlock calculé par la simulation d'un refroidissement entre 160°C et -55°

COMPTINN' "multi-physical" experimental setup: INSTRON 1251 fatigue setup equipped with an environmental climatic chamber



## Fatigue thermo-mécanique

- ✓ Essais de fatigue dans une enceinte climatique sous environnement contrôlé (pression de gaz et température)
- ✓ Observation et analyse quantitative du développement de l'endommagement avec le nombre de cycles par tomographie
- ✓ Stratifiés et tissés 2D, 3D, interlock avec ou sans défauts/porosité
- ✓ Simulation EF du comportement cyclique en prenant en compte le comportement viscoélastique et dépendant de la température de la matrice. Emploi de modèles réalistes à partir d'images micro-tomographiques : segmentation, maillage, analyse



## Publications :

- Foti, F., Pannier, Y., Orenes Balaciart, S., Grandidier, J.C., Gigliotti, M. (2021) In-situ Multi-axial Testing of Three-dimensional (3D) Woven Organic Matrix Composites for Aeroengine Applications, Composite Structures, Accepted for publication.
- Foti, F., Pannier, Y., Gigliotti, M. (2020) High Temperature Fatigue of Carbon/Polyimide 8-harness Satin Woven Composites. Part II: Environmental Effects, Composite Structures, 244, 112251.
- Pannier, Y., Foti, F., Gigliotti, M. (2020) High Temperature Fatigue of Carbon/Polyimide 8-harness Satin Woven Composites. Part I: Digital Image Correlation and Micro-Computed Tomography Damage Characterization, Composite Structures, 244, 112255.

- Sinchuk, Y., Pannier, Y., Antoranz-Gonzalez, R., Gigliotti, M. (2019) Analysis of Moisture Diffusion Induced Stress in Carbon/Epoxy 3D Textile Composite Materials with Voids by  $\mu$ -CT Based Finite Element Models, *Composite Structures*, 212: 561-570. - <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.12.041>
- Gigliotti, M., Pannier, Y., Sinchuk, Y., Antoranz-Gonzalez, R., Lafarie-Frenot, M.C., Lomov, S.V. (2018) X-ray Micro-Computed-Tomography Characterization of Cracks Induced by Thermal Cycling in Non-crimp 3D Orthogonal Woven Composite Materials with Porosity, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 112: 100-110. - <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2018.05.020>
- Foti, F., Gigliotti, M., Pannier, Y., Mellier, D., Lafarie-Frenot, M.C. (2018) The Effect of the Environment on High Temperature Fatigue of Cross-Ply C/Epoxy Laminated Composites, *Composite Structures*, 202: 924-934. - <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.04.065>
- Sinchuk, Y., Pannier, Y., Gueguen, M., Gigliotti, M. (2017) Image-based Modeling of Moisture Swelling in 2D Textile Composites using a Global-Local Approach, *Proc IMechE Part C: Journal of Mechanical Engineering Science – Special Issue: “Lightweight Design in Transportation Engineering”* Guest Editors: Serge Abrate, Southern Illinois University, USA, Vincenzo Crupi, University of Messina, Italy, Gabriella Epasto, University of Messina, Italy, 232: 1505–1519. - ISSN: 0954-4062, doi: 10.1177/0954406217736789
- Sinchuk, Y., Pannier, Y., Gueguen, M., Tandiang, D., Gigliotti, M. (2017) Computed-Tomography based Modelling and Simulation of the Moisture Diffusion and Swelling of Textile Composite Materials, *International Journal of Solids and Structures*, 154: 88-96. - ISSN: 0020-7683, doi: 10.1016/j.ijsolstr.2017.05.045
- Gigliotti M, Pannier Y, Lafarie - Frenot MC, Grandidier JC. (2016) “Some Examples of “Multi-Physical” Fatigue of Organic Matrix Composites for Aircraft Applications”. In: *Composite Materials and Structures in Aerospace Engineering*, Carrera E, editor. Trans Tech Publications, Pfaffikon, Switzerland ; Chapter V, p. 79-96.
- Guigon C, Lafarie - Frenot MC, Pannier Y, Rakotoarisoa C. (2015) “Effect of environment on microcracking induced by thermal cycling in 3D woven polymer matrix composites”. *ICFC6, 6th Int Conf on Fatigue of Composites*. Paris, France, 10 p.
- Gigliotti M, Pannier Y, Foti F, Lafarie - Frenot MC, Mellier D, Luu TC. (2015) “Multi-Physical Fatigue of Laminated and Textile Organic Composite Materials for Aircraft Applications”. *ICFC6, 6th International Conference on Fatigue of Composites*. Paris, France, 10 p.
- Foti F, Pannier Y, Gigliotti M, Lafarie - Frenot MC, Mellier D, Luu TC. (2015) “Fatigue Multi-physique de Matériaux Composites à Matrice Organique Stratifiés et Tissés pour Applications Aéronautiques. *JNC 19, 19èmes Journées Nationales sur les Composites*. Lyon (France).
- Guigon C, Lafarie - Frenot MC, Pannier Y, Olivier L, Rakotoarisoa C. (2014) “Impact of temperature and thermal cycling ageing on performance of 3D woven composites with polymer matrix manufactured by RTM”. *ECCM16, 16th European Conference on Composite Materials*. Seville, Spain. 8 pages.
- Guigon C, Pannier Y, Beringhier M, Lafarie - Frenot MC, Rakotoarisoa C. (2013) “Impact de la température et du cyclage thermique sur la tenue des CMO tissés 3D fabriqués par procédé RTM”. *JNC18, 18èmes Journées Nationales sur les Composites*. Nantes, France.
- Gigliotti, M., Grandidier, J.C., Lafarie-Frenot, M.C. (2014) “Vieillissement des Composites à Matrice Organique. Cas d’études”, in *Techniques de l’Ingénieur, AM 5 322, Editions T.I., Paris, 34p*
- Gigliotti, M., Grandidier, J.C., Lafarie-Frenot, M.C. (2013) “Vieillissement des Composites à Matrice Organique. Outils de Modélisation”, in *Techniques de l’Ingénieur, AM 5 322, Editions T.I., Paris, 17p*
- Lafarie-Frenot MC, Ho NQ. (2006) “Influence of free edge intralaminar stresses on damage process in CFRP laminates under thermal cycling conditions”. *Composites Science and Technology*; 66: 1354-65.
- Lafarie-Frenot MC, Rouquie S, Ho NQ, Bellenger V. (2006) “Comparison of damage development in C/epoxy laminates during isothermal ageing or thermal cycling”. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* ; 37: 662-71.
- Rouquie S, Lafarie-Frenot MC, Cinquin J, Colombaro AM. (2005) “Thermal cycling of carbon/epoxy laminates in neutral and oxidative environments”. *Composites Science and Technology*; 65: 403-9.

- Lafarie-Frenot MC, Rouquie S. (2004) "Influence of oxidative environments on damage in c/epoxy laminates subjected to thermal cycling". *Composites Science and Technology*; 64: 1725-35.