Vieillissement et durabilité de matériaux composites à matrice organique pour applications aéronautiques

Marco GIGLIOTTI, (Professeur des Universités), Marianne BERINGHIER, Yannick PANNIER, Olga SMERDOVA (Maîtres de Conférences)

Contact : marco.gigliotti@ensma.fr, marianne.beringhier@ensma.fr, yannick.pannier@ensma.fr, olga.smerdova@ensma.fr

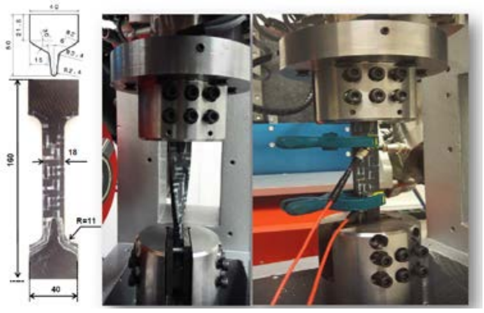
Chercheurs Post-Doc, Doctorants : Salvador ORENES BALACIART (MESR, 2020-2023), Julie MASSON (CIFRE SAFRAN Composites, 2020-2023), Maxime MERLE (FEDER HIC, 2019-2022), Manel DALLALI (Post-Doc EU ISIBHY, 2019-2021), Hortense LAUEFFER (Post-Doc EU HOMER, 2018-2020), Marina PECORA (Post-Doc SAFRAN Aircraft Engines, 2019), Ahmad AL TAKASH (LIU -ISAE ENSMA, 2015-2018), Anani DJATO (MESR, 2015-2018), Federico FOTI (Post-Doc SAFRAN Composites, 2017-2018), Yuriy SINCHUK (Post-Doc ANR LABEX, 2015-2017), Marina PECORA (MESR, 2015-2018), Federico FOTI (MESR, 2014-2017), Camille GUIGON (CIFRE SAFRAN, 2011-2014), Yueguo LIN (CSC, 2010-2013), Matteo MINERVINO (FUI COMPTINN', 2010-2013), Dinh Quy VU (MESR, 2008-2011), Loïc OLIVIER (ANR COMEDI, 2005-2008) 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, Université de Versailles, LMT Cachan, KU Leuven (Belgium), Politecnico di Torino (Italy), Politecnico di Milano (Italy), University of Calabria (Italy), University of Padova (Italy)

Programmes de recherche : EU H2020 M-ERA.net ISIBHY (2019-2022), FEDER HIC (2019-2022), EU H2020-MG-2016-2017 Mobility for Growth HOMER (2018-2021), ANR IMPEKKABLE (2015-2019), PRC Composites (2011-2014), FUI COMPTINN' (2010-2013), FNRAE VICOMTHE (2008-2010), ANR COMEDI (2005-2008), RRIT SUPERSONIQUE (2000-2004)

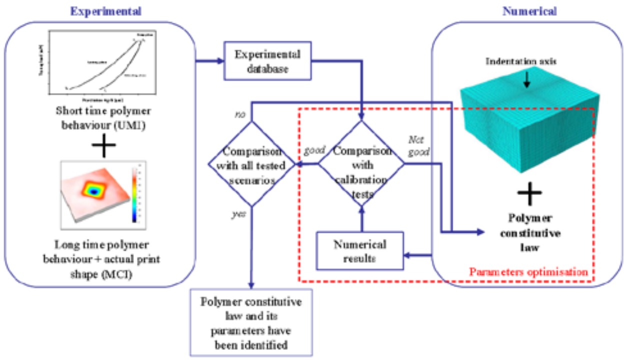
Moyens expérimentaux: Ultra-micro indentation, Microscopie optique et interférométrique, MEB, Micro-tomographie aux rayons X, Micro-tomographie in-situ, Machines de test spécifiques pour la réalisation d'essais couplés sous environnement contrôlé (température, humidité, inerte, thermo-oxydant)

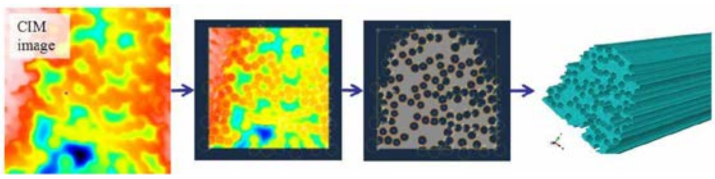
Contexte : Le cœur des activités portant sur le vieillissement et la durabilité de composites structuraux à matrice organique pour des applications aéronautiques (stratifiés ou tissés 3D) concerne la caractérisation, la modélisation et la simulation des couplages environnement (vieillissement thermique, vieillissement humide) – mécanique (fatigue, fluage). La caractérisation préalable du comportement des résines polymères associe l'expérimentation (par DSC, DMA, nanoindentation, essais de traction ou de flexion 4 points instrumentée), la modélisation et la simulation de couplages forts température-oxydation-humidité-mécanique. Pour les matériaux composites, la caractérisation du couplage température-oxydation-fatigue-fluage passe par la réalisation d'essais fortement couplés environnement-mécanique, en reproduisant des conditions de sollicitation thermo-mécaniques-environnementales réalistes. L'enceinte COMPTINN – équipement unique en France et au monde - permet de simuler un environnement thermomécanique gazeux – thermo-oxydant ou humide - jusqu'à 5 bars, 350°C. L'amorçage et la propagation de l'endommagement sont observés in-situ (Corrélation d'images in-situ, Emissions Acoustiques, µ-tomographie RX in-situ) ou ex-situ (µ-tomographie RX ex-situ à très haute résolution). Ces activités montrent clairement que l'environnement joue un rôle crucial sur l'amorçage et la propagation de l'endommagement conduisant à une réduction drastique des durées de vie de ces matériaux. Pour les composites à architecture complexe, l'interprétation des essais est effectuée en utilisant des modèles dédiés réalistes qui nécessitent la mise en place d'une chaine de calcul µ-tomographie-maillage-simulation EF de microstructures complexes (avec maillages voxelisés ou conformes) : ces modèles permettent des simulations des couplages température-oxydation-humidité-mécanique à l'échelle des µstructures composites. Confrontés aux temps de calcul une recherche approfondie sur les méthodes numériques a été menée dans l'objectif de mettre en place un outil opérationnel. Des techniques non incrémentales (PGD avec séparation espace-temps) ont été testées pour résoudre les problèmes fortement couplés de diffusion réaction, accélérer l'identification en diffusion et les simulations cyclées en fatigue. Dans le cas de l'identification, la PGD espace-temps-paramètre a été implémentée, elle permet d'avoir une solution paramétrique et ainsi de réduire le temps de la procédure d'identification. Une autre étude a été menée en vue de cette fois limiter les temps des essais, elle consiste à identifier les paramètres diffuso-mécanique sur échantillons à gradient d'humidité et non sur échantillons saturés.

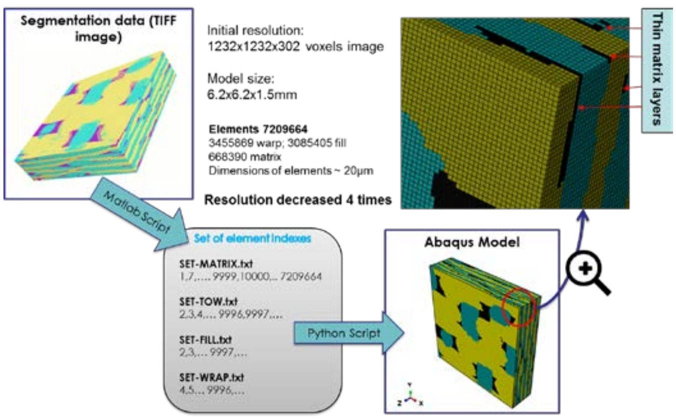


Essais in-situ de matériaux composites avec architecture complexe

- ✓ Initiation et propagation de l'endommagement
- ✓ Morphologie volumique des endommagements observés
- ✓ Contrôle en température

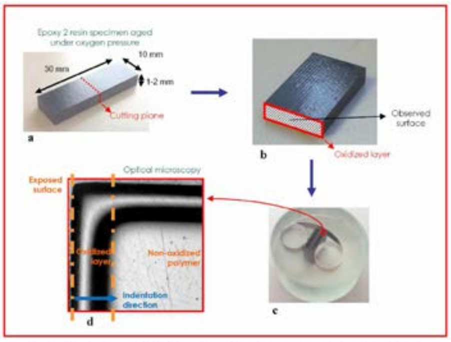


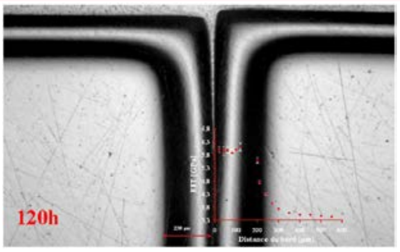


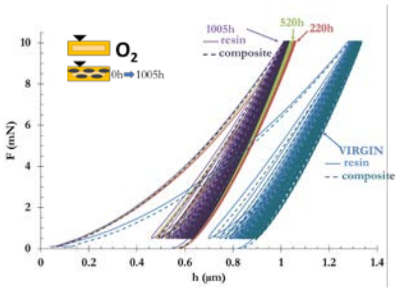


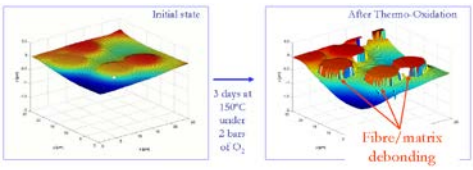
Modélisation du vieillissement et ses effets sur le comportement mécanique des matériaux composites

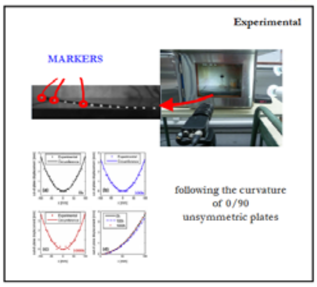
- ✓ Emploi de la Thermodynamique des Processus Irréversibles pour le développement de modèles couplés multi-physiques
- ✓ Développement de subroutines dédiées (UMAT/UEL) dans le code commercial ABAQUS pour la simulation du vieillissement des composites
- ✓ Développement de méthodes de réduction de modèles (ex : Proper Generalised Decomposition) pour la simulation et l'identification des couplages multi-physiques
- ✓ Développement de modèles EF à partir d'images micro-tomographiques : segmentation, maillage, analyse

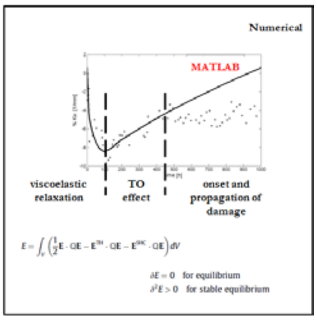






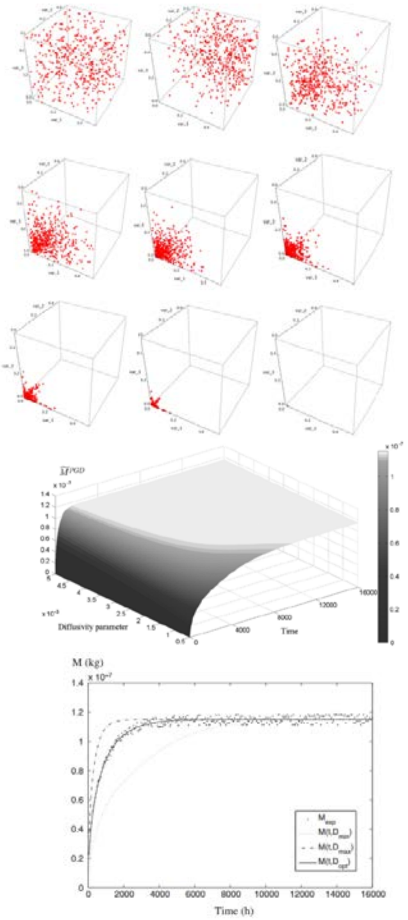






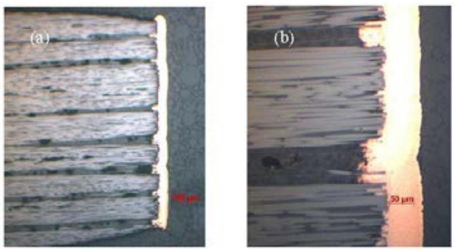
Caractérisation des effets de la thermo-oxydation sur le comportement mécanique des matériaux composites

- ✓ Approche couplée employant l'ultra-micro/nano indentation et la microscopie interférométrique pour la caractérisation du comportement local de matrices polymères vierges et vieillies
- ✓ Développement de protocoles d'essais de nanoindentation cycliques et en température pour une meilleure compréhension du comportement de matériaux polymères et composites vieillis
- ✓ Observation par microscopie interférométrique de retrait matriciel et de l'amorçage de l'endommagement induit par la thermo-oxydation dans le composites à l'échelle microscopique
- ✓ Essais de traction sur échantillons modèles [0/90]s vierges et vieillis
- ✓ Emploi d'échantillons modèles [0/90] asymétriques pour le suivi des effets de la thermo-oxydation sur les matériaux composites
- ✓ Fatigue multi-physique à haute température sous environnement oxydant (air, O_2) de composites stratifiés et tissés



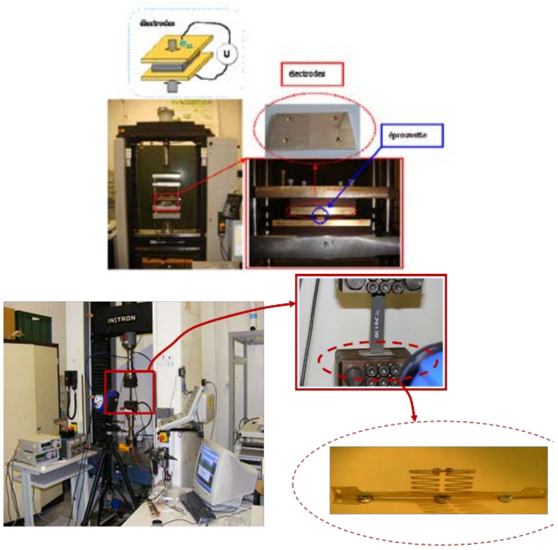
Identification du comportement thermo-diffuso—réacto-mécanique de matériaux composites

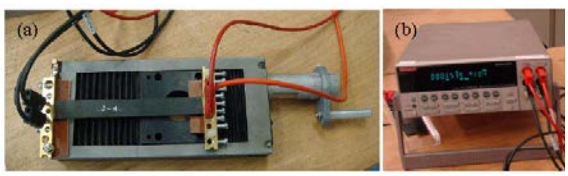
- ✓ Développement d'un protocole d'identification basée sur l'utilisation de la méthode PGD
- ✓ Développement d'un protocole pour l'identification des propriétés de diffusion des matériaux composites à matrice polymère – utilisation d'un algorithme d'optimisation robuste
- ✓ Utilisation de la méthode de la pente pour l'identification avec des essais sur des temps courts



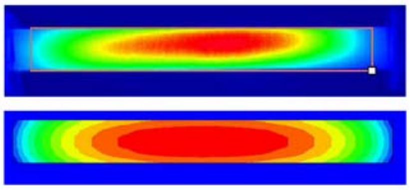
Caractérisation du comportement thermoélectrique de stratifies composites et effet de courants électriques sur le comportement mécanique de composites fonctionnels

- ✓ Fibres de carbone, matrice polymère, nanotubes de carbone
- ✓ Mesures de tension/résistance/conductivité électrique
- ✓ Montage dédié en compression pour la mesure de la conductivité électrique de composites
- ✓ Vieillissement « électrique »
- ✓ Fatigue électro-mécanique

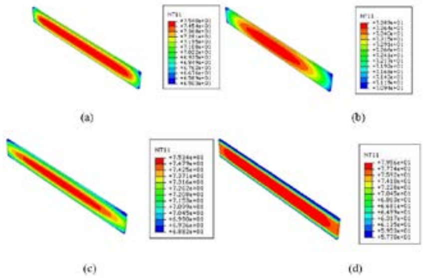


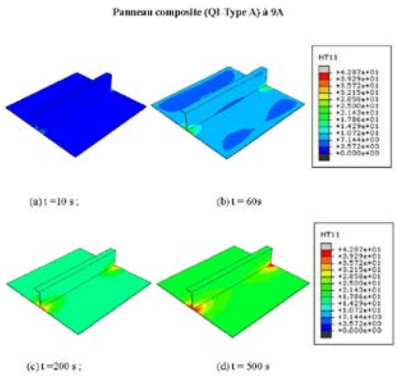


Modélisation des couplages thermo-électro-mécaniques



- ✓ Emploi de la Thermodynamique des Processus Irréversibles pour le développement de modèles multi-physiques couplés
- ✓ Développement de subroutines dédiées (UMAT/UEL) dans ABAQUS pour la simulation du couplage thermo-électro-mécanique dans les matériaux composites





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.
- Pedoto, G., Smerdova, O., Grandidier, J.C., Gigliotti, M., Vinet, A. (2020) Characterization of the mechanical behavior of PEKK polymer and C/PEKK composite materials for aeronautical applications below and above the glass transition temperature, Advances in Aircraft & Spacecraft Science, 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.
- Severino, S., Gigliotti, M., Pannier, Y., Zappino, E., Pagani, A., Carrera, E. (2020) A Variable Kinematic One-dimensional Model for the Hygro-mechanical Analysis of Composite Materials, Composite Structures, 242, 112089.
- Beringhier, M., Gigliotti, M., Vannucci, P. (2020) Identification of Diffusion Properties of Polymer-Matrix Composite Materials with Complex Texture, Journal of Optimization Theory and Applications, 184: 188–209. – doi: https://doi.org/10.1007/s10957-019-01602-y
- Pecora, M., Smerdova, O., Gigliotti, M. (2020) In-situ Characterization of the Local Mechanical Behaviour of Polymer Matrix in 3D Carbon Fiber Composites by Cyclic Indentation Test, Composite Structures, 244, 112268.
- Djato, A., Beringhier, M., Gigliotti, M. (2020) On the identification of diffuso-mechanical properties of polymer matrix materials based on the use of plates with asymmetric moisture concentration field, Mechanics of Materials, 142: 103284. – doi: https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2019.103284
- Al Takash, A., Beringhier, M., Hammoud, M., Grandidier J.C. (2020) A mixed PGD-a priori time basis strategy for the simulation of cyclic transient thermal behavior, Mechanics & Industry, 21, 606. https://doi.org/10.1051/meca/2020082

- Smerdova, O., Pecora, M., Gigliotti, M. (2019) Cyclic Indentation of Polymers: Instantaneous Elastic Modulus from Reloading, Energy Analysis, and Cyclic Creep, Journal of Materials Research, 34: 3688-369. – doi: https://doi.org/10.1557/jmr.2019.289
- Djato, A., Beringhier, M., Gigliotti, M. (2019) Identification of Moisture Affected Mechanical Properties of Polymer Matrix Materials by the Employment of Samples with Moisture Gradients, Mechanics of Advanced Materials and Structures, Accepted, In Press. - ISSN: 1537-6494
- Gigliotti, M. (2019) Thermodynamics of Irreversible Processes with Internal Variables: A Tool for Modeling Aging and Degradation Phenomena in Composite Materials for Aircraft Applications, Aerotec. Miss. Spaz., 98: 31-44. – ISSN: 0365-7442, doi:https://doi.org/10.1007/s42496-018-0002-z
- Lin, Y., Gigliotti, M., Lafarie-Frenot, M.C., Bai, J. (2019) Numerical Simulation of the Thermoelectric Behavior of CNTs/CFRP Composite Laminates for Aircraft Applications, Advances in Aircraft & Spacecraft Science, 5: 633-652. - doi: 10.12989/aas.2018.5.6.633
- 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 µ-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
- Al Takash, A., Beringhier, M., Hammoud, M., Grandidier, J.C. (2018) Numerical approach based on the collection of the most significant modes to solve cyclic transient thermal problems involving different time scales, Journal of Computational Physics, 375 :950-959. - https://doi.org/10.1016/j.jcp.2018.08.059
- Beringhier, M., Djato, A., Maida, D., Gigliotti, M. (2018) A Novel Protocol for Rapid Identification of Anisotropic Diffusion Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Complex Texture, Composite Structures, 201: 1088-1096. - https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.05.142
- 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
- Simar, A., Gigliotti, M., Grandidier, J.C., Ammar-Khodja, I. (2018) Decoupling of Water and Oxygen Diffusion Phenomena in order to Prove the Occurrence of Thermo-oxidation during Hygrothermal Aging of Thermosetting Resins for RTM Composite Applications, Journal of Materials Science, 53:11855–11872. - ISSN 0022-2461, doi: 10.1007/s10853-018-2350-0
- 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
- Simar, A., Gigliotti, M., Grandidier, J.C., Ammar-Khodja, I. (2017) Water Diffusion in RTM Textile Composites for Aircraft Applications, Advances in Aircraft & Spacecraft Science, 4: 573-583. - ISSN: 2287-528X, doi: 10.12989/aas.2017.4.5.573
- Gigliotti, M., Minervino, M., Lafarie-Frenot, M.C. (2016) Assessment of Thermo-oxidative Induced Chemical Strain by Inverse Analysis of Shrinkage Profiles in Unidirectional Composites, Composite Structures, 157: 320-336. - ISSN: 0263-8223, doi: 10.1016/j.compstruct.2016.07.037
- Gigliotti, M., Minervino, M., Lafarie-Frenot, M.C., Grandidier, J.C. (2016) Effect of Thermo-oxidation on the Local Mechanical Behaviour of Epoxy Polymer Materials for High Temperature Applications, Mechanics of Materials, 101: 118-135. - ISSN: 0167-6636, doi: 10.1016/j.mechmat.2016.07.003
- Pecora, M., Pannier, Y., Lafarie-Frenot, M.C., Gigliotti, M., Guigon, C. (2016) Effect of Thermo-oxidation on the Failure Properties of an Epoxy Resin, Polymer Testing, 52: 209-217. - ISSN: 0142-9418, doi: 10.1016/j.polymertesting.2016.04.008
- Gigliotti, M., Minervino, M., Lafarie-Frenot, M.C. (2016) Thermo-oxidative induced Shrinkage in Organic Matrix Composites for High Temperature Applications: Effect of Fibre Arrangement and Oxygen Pressure, Composite Structures, 146: 176-186. - ISSN: 0263-8223, doi: 10.1016/j.compstruct.2016.03.007

- Gigliotti, M. (2016) Residual Thermal Strains and Stresses in Organic Composite Materials, Journal of Thermal Stresses, 39: 667-703. - ISSN: 0149-5739, doi: 10.1080/01495739.2016.1169130
- Cinquin, J., Colin, X., Fayolle, B., Mille, M., Terekhina, S., Chocinski, L., Gigliotti, M., Grandidier, J.C., Lafarie-Frenot, M.C., Minervino, M., Cluzel, C., Daghia, F., Ladeveze, P., Zhang, F. (2016) Thermo-oxidation Behaviour of Organic Matrix Composite Materials at High Temperatures, Advances in Aircraft & Spacecraft Science, 3: 171-195. - ISSN: 2287-528X, doi: 10.12989/aas.2016.3.2.171
- Beringhier, M., Simar, A., Gigliotti, M., Grandidier, J.C., Ammar-Khodja, I. (2016) Identification of the Orthotropic Diffusion Properties of RTM Textile Composites for Aircraft Applications, Composite Structures, 137: 33-43. - ISSN: 0263-8223, doi: 10.1016/j.compstruct.2015.10.039
- Lin, Y., Gigliotti, M., Lafarie-Frenot, M.C., Bai, J., Marchand, M., Mellier, D. (2015) Experimental Study to Assess the Effect of Carbon Nanotube Addition on the Through-Thickness Electrical Conductivity of CFRP Laminates for Aircraft Applications, Composites Part B: Engineering, 76: 31-37. - ISSN: 1359-8368, doi: 10.1016/j.compositesb.2015.02.015
- Lin, Y., Gigliotti, M., Lafarie-Frenot, M.C., Bai, J. (2015) Effect of Carbon Nanotubes on the Thermoelectric Properties of CFRP Laminate for Aircraft Applications, Journal of Reinforced Plastics and Composites, 34: 173-184. - ISSN: 0731-6844, doi: 10.1177/0731684414565940
- Gigliotti, M., Lafarie-Frenot, M.C., Lin, Y., Pugliese, A. (2015) Electro-Mechanical Fatigue of CFRP Laminates for Aircraft Applications, Composite Structures, 127: 436-449. - ISSN: 0263-8223, doi: 10.1016/j.compstruct.2015.01.023
- Beringhier, M., Gigliotti, M. (2015) A Novel Methodology for the Rapid Identification of the Water Diffusion Coefficients of Composite Materials, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 68: 212-218. - ISSN: 1359-835X
- Grandidier, J.C., Olivier, L., Lafarie-Frenot, M.C., Gigliotti, M. (2015) “Modeling the Pressure Dependent Solubility in a Thermoset Resin for Simulating Pressure Accelerated Thermo-oxidation Tests”, Mechanics of Materials, 84: 44-54
- Minervino, M., Gigliotti, M., Grandidier, J.C., Lafarie-Frenot, M.C. (2014) “A Coupled Experimental/Numerical Approach for the Modelling of the Local Mechanical Behaviour of Epoxy Polymer Materials”, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 67: 129-151
- 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., Minervino, M. (2014) “The Deformed Shape of Isotropic and Orthotropic Plates Subjected to Bending Moments Distributed along the Edges”, Meccanica, 49, p. 1367-1384
- Minervino, M., Gigliotti, M., Lafarie-Frenot, M.C., Grandidier, J.C. (2013), “The Effect of Thermo-oxidation on the Mechanical Behaviour of Polymer Epoxy Materials”, Polymer Testing, 32: 1020-1028
- 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
- Vu, D.Q., Gigliotti, M., Lafarie-Frenot, M.C. (2013) “The Effect of Thermo-Oxidation on Matrix Cracking of Cross-Ply [0/90]s Composite Laminates”, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 44: 114-121
- Gigliotti, M., Pannier, Y., Minervino, M., Lafarie-Frenot, M.C., Corigliano, P. (2013) “The Effect of a Thermo-oxidative Environment on the Behaviour of Multistable [0/90] Unsymmetric Composite Plates”, Composite Structures, 106: 863-872
- Vu, D. Q., Gigliotti, M., Lafarie-Frenot, M.C. (2012) “Experimental Characterization of Thermo-oxidation-induced Shrinkage and Damage in Polymer-Matrix Composites” Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 43: 577-586
- Gigliotti, M., Minervino, M., Grandidier, J.C., Lafarie-Frenot, M.C. (2012) “Predicting Loss of Bifurcation Behaviour of 0/90 Unsymmetric Composite Plates Subjected to Environmental Loads” Composite Structures, 94: 2793-2808
- Gigliotti, M., Grandidier, J.C., Lafarie-Frenot, M.C. (2011) “Effects of Thermo-Oxidation on Composite Materials and Structures at High Temperatures” in Composite Materials in Engineering Structures, Editor: J.M. Davis, Materials Science and Technology Series, Nova Science Publisher, New York, ISBN : 978-1-61728-857-9. 52p. Référencé dans SCOPUS à partir de 2013
- Gigliotti, M., Grandidier, J.C., Lafarie-Frenot, M.C. (2011) “Assessment of Chemo-Mechanical Couplings in Polymer Matrix Materials Exposed to Thermo-Oxidative Environments at High Temperatures and Under Tensile Loadings” Mechanics of Materials, 43: 431-443

- Gigliotti, M., Olivier, L., Vu D.Q., Grandidier, J.C., Lafarie-Frenot, M.C. (2011) “Local Shrinkage and Stress Induced by Thermo-Oxidation in Composite Materials at High Temperatures” Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 59: 696-712
- Gigliotti, M., Grandidier, J.C., Lafarie-Frenot, M.C. (2011) “The Employment of 0/90 Unsymmetric Samples for the Characterisation of the Thermo-oxidation Behaviour of Composite Materials at High Temperatures” Composite Structures, 93: 2109-2119
- Gigliotti, M., Grandidier, J.C. (2010) “Chemo-Mechanics Couplings in Polymer Matrix Materials Exposed to Thermo-Oxidative Environments” Comptes Rendus Mécanique, 338: 164-175
- Lafarie-Frenot, M.C., Grandidier, J.C., Gigliotti, M., Olivier, L., Colin, X., Verdu, J., Cinquin, J. (2010) “Thermo-oxidation Behaviour of Composite Materials at High Temperatures: Review of Research Activities Carried Out within the COMEDI Program” Polymer Degradation and Stability, 95: 965-974
- Olivier, L., Baudet, C., Bertheau, D., Grandidier, J.C., Lafarie-Frenot, M.C. (2009) “Development of Experimental, Theoretical and Numerical Tools for Studying Thermo-oxidation of CFRP Composites” Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 40: 1008–1016
- Chocinski-Arnault L, Olivier L, Lafarie-Frenot MC. (2009) “Effects of thermal oxidation on an epoxy-amine thermoset studied by mechanical spectroscopy”. Materials Science and Engineering: A.; 521-522: 287-90.
- Rasoldier N, Colin X, Verdu J, Bocquet M, Olivier L, Chocinski-Arnault L, et al. (2008) “Model systems for thermo-oxidised epoxy composite matrices”. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 39: 1522-9.
- Olivier, L., Ho, N.Q., Grandidier, J.C., Lafarie-Frenot, M.C. (2008) “Characterization by Ultra-micro Indentation of an Oxidized Epoxy Polymer: Correlation with the Predictions of a Kinetic Model of Oxidation” Polymer Degradation and Stability, 93: 489–497
- 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.