

MECA-J 2023

2eme Congrès des Jeunes Chercheurs en Mécanique - Méca-J

Recueil des résumés



28-30 août 2023
En distanciel - France

Suite au succès de la première édition du congrès Méca-J qui s'est tenue en 2021 (pour rappel <https://meca-j.sciencesconf.org/>), l'AFM via son GTT-AUM a décidé d'organiser l'édition 2023 de ce congrès par et pour les jeunes mécaniciens et mécaniciennes.

Après la Nouvelle Aquitaine en 2021, le congrès MECA-J 2023 a été organisé par des jeunes doctorants, post-doctorants, chercheurs et enseignants-chercheurs en mécanique du Grand Est. Cette deuxième édition s'est déroulée intégralement en ligne, du 28 au 30 août 2023.

L'objectif de ce congrès est de favoriser les échanges entre les jeunes mécaniciens effectuant leurs recherches dans les laboratoires français. Les exposés et posters présentés lors de cette édition sont répartis dans les cinq thématiques suivantes : Mécanique des matériaux, Mécanique des structures, Acoustique et vibration, Mécanique des fluides et Thermique. Cette édition 2023 a rassemblé 76 présentations orales et 9 posters, permettant aux jeunes chercheuses et chercheurs de présenter leurs travaux et d'en discuter avec d'autres membres de la communauté.

Ce recueil rassemble les résumés des communications retenues pour une présentation orale ou lors de la session poster.

Table des matières

Acoustique et vibration	1
Caractérisation ultrasonore des suspensions solides dans un fluide visqueux, Eid Moustafa [et al.]	1
Comparaison entre les solveurs implicite et explicite pour l'analyse modale numérique de structures, Elster Natacha [et al.]	3
Prediction of Dispersion Curves for Wave Propagation in beam-like waveguide by Kriging Metamodeling Approach, Zhu Boyao [et al.]	4
Mécanique des fluides	5
Computer simulations of the lymphatic vessels and valve, Bou Orm A. [et al.] . .	5
Hydrodynamique des suspensions rhéo-épaississantes en conduite, Bouguin Alexis [et al.]	7
Modèle physique apportant un nouvel éclairage sur les interactions complexes entre les molécules membranaires, Djibaoui Mohammed Adel	8
Comparaison of numerical approaches for the modeling of mass transfer across interfaces, Djaballah Nour [et al.]	9
Peristaltic motion of an Ostwald-de Waele fluid through asymmetric channel, Dourid Abdelghani [et al.]	10
Modelling and simulation of single and multiple drop impingements onto liquid surfaces, Fereka Syphax [et al.]	11
Interaction entre un train de gouttes d'eau liquide et l'écoulement engendré par une onde de choc se propageant à Mach 4, Loiseau Corentin	12

Analyse topologique des données pour les écoulements turbulents, Mbangue Lobe Constantini [et al.]	13
Identification de tourbillons par homologie persistante, Mosquera Rolando	14
Simulation du collapse de bulle proche d'une paroi courbe à l'aide d'une méthode de pénalisation, Ménez Lucas [et al.]	15
Analyse asymptotique pour l'identification séquentielle des coefficients aérodynamiques d'un projectile gyrostabilisé., Tallec Thomas [et al.]	16
Mécanique des matériaux	17
Élaboration d'un outil de diagnostic basé sur la micromécanique pour évaluer la durée de vie résiduelle des matériaux de chaussées, Achchoubi Abderrahim [et al.]	17
Investigation des effets de taille sous chargements complexes par la dynamique des dislocations discrètes en 3D, Amouzou-Adoun Yaovi [et al.]	19
Vers une géométrie modèle pour la mise en forme de renforts de composites, Azzouz Rym [et al.]	20
Prédiction de la rupture ductile de l'acier inoxydable austénitique AISI 304L lors de l'essai Erichsen., Ben Othman Khadija [et al.]	21
Caractérisation aux petites échelles de l'interface fibre/matrice de matériaux composites biosourcés, Boutenel Florian [et al.]	22
Modélisation numérique du comportement mécanique d'un sol partiellement saturé par une approche DEM-LBM couplée, Bouchard Raphaël [et al.]	23
Influence de la température et de différents protocoles de vieillissement sur le comportement et les mécanismes d'endommagement d'un polypropylène renforcé de fibres courtes de chanvre, Bourgogne Quentin [et al.]	24
Modèle réduit pour l'identification du coefficient de frottement lors d'une opération de forgeage basé sur les courbes de Bézier et l'apprentissage automatique, Caicedo Jose [et al.]	25
Modélisation multi-échelle pilotée par les données de structures lattices obtenues par fabrication additive, Court Clément	26
Effet de la température et de la teneur en eau sur le comportement mécanique du bois, Daher Hussein [et al.]	27

Vieillessement par thermo-oxydation des polymères exposés à des écoulements rapides. Caractérisation expérimentale et modélisation des couplages., Doriat Aurélien [et al.]	28
Prédiction des propriétés électroélastiques d'un composite à base du PVDF et des CNTs par deux méthodes (Mori-Tanaka et FEM), Elbarnaty Salah	29
Intelligence Artificielle pour la Modélisation multi-échelle des structures composites, El Fallaki Idrissi Mohammed [et al.]	30
Etude numérique de la fissuration de matériaux vitrocéramiques sous auto-irradiation, Feugueur Gérald [et al.]	31
Evaluation de fiabilité du comportement en fatigue polycyclique des alliages à mémoire de forme basée sur un critère multiaxial., Gassab Adel [et al.]	32
Mechanical Characterization of PVC-Coated Copper Cables: Investigating Strain and Friction Resistance through Experimental Analysis, Gouya Anass [et al.]	33
De la fibre de typha australis aux composites : détermination des propriétés mécaniques, Gaye Aïda	34
Novel bio-inspired polymer-based architected materials to mimic human intervertebral disc mechanics, Kandil Karim [et al.]	35
Analyse multi-échelles des composites stratifiés multifonctionnels Elium acrylique/fibre de verre renforcés par des Nanostrengths: Propriétés élastiques et résistance à l'impact basse vitesse, Kouassi Alexis Y.e. [et al.]	36
Modélisation du Comportement Mécanique d'un Equipement en Service sous Endommagement Progressive : Vers un Jumeau Numérique d'Appareil à Pression, Khaled Izat	37
Développement d'un algorithme automatisé de segmentation et d'enregistrement d'images pour l'évaluation du remodelage osseux avec de l'apprentissage automatique profond, Lagzouli Amine [et al.]	38
Investigating the impact of electrical discharge machining tool electrode on corrosion resistance of Ti6Al4V biomedical parts., Marzougui Ons [et al.]	39
Influence of material properties and process parameters on the weld strength of laser transmission welding of semi-crystalline thermoplastics, Matus-Aguirre Marcela [et al.]	40
Etude de l'apparition de la striction au cours du colaminage, Mkinsi Ismaïl [et al.]	41

Influence de la porosité sur les propriétés mécaniques de pièces réalisées par fabrication additive par diffusion atomique, Mondesir–About Victoria [et al.]	42
Identification de lois de comportement en plasticité cristalline par jumeau numérique et apprentissage statistique, Mesbah Daria [et al.]	43
Computing homogenized transfer properties in porous media with reduced-order models. Application to cementitious media., Moreau Antoine	44
Modélisation et simulation multi-échelle des matériaux composites à fort gradient dans un cadre stochastique., Nacro Alioune [et al.]	45
Modélisation numérique de l’endommagement de structures composites stratifiées soumis à des impacts balistiques, Nanema Billy Lorcendy Terrence [et al.]	46
Dissimilar diffusion welding of equiatomic CoNi multi-component alloy to 316L stainless steel, Nenuwa Olushola [et al.]	47
Caractérisation ultra-large bande de matériaux viscoélastiques, Poudrel Anne-Sophie [et al.]	48
Optimisation tribologique et métallurgique des rails et roues : vers une loi de comportement thermomécanique réaliste, Russo Matteo [et al.]	49
Influence de l’orientation des fibres sur la qualité, les efforts et la température de coupe en détournage de composites UD-GFRP, Schrab Benoît [et al.]	50
Numerical and experimental investigation of physical behaviors of polymer materials based on variable order fractional model, Sun Lin [et al.]	51
Understanding the influence of microstructural parameters on the behavior of recycled thermoplastic composites: a microstructural investigation and real-time prediction of stiffness properties, Sekkal Saif Eddine [et al.]	52
Caractérisation mécanique des mortiers à base de déchets de verre et de marc de café, Thiam Gnilane [et al.]	53
Application de l’indentation instrumentée à l’identification de paramètres de lois de comportement hyper-élastiques., Tocqueville Hugo [et al.]	54
Récupérateur d’Energie Electromagnétique pour la marche humaine, Verzellesi Louis [et al.]	55
On the Capillary Stress in Unsaturated Granular Assemblies, Younes Nabil [et al.]	56

Caractérisation de la rupture en mode I des interfaces dans les circuits imprimés, Ziouani Charaf-Eddine [et al.]	57
Tomographie et simulation micromécanique pour les matériaux imprimés par le procédé FFF, Paux Joseph [et al.]	58
Mécanique des structures	59
Calcium-Silicate Based-Mineral Foam as Crushable Core in a Sacrificial Cladding, Aminou Malam Kailou Aldjabar	59
Réponse de structures architecturées en acier inoxydable 316L obtenues par LMD-P, Buros Camille	61
Blast Performance of Reinforced Concrete Columns Under a Close-in Explosion: A Numerical Study, Ben Rhouma Mohamed [et al.]	62
Modèle numérique de l'articulation radio-carpienne pour l'étude d'implant de resurfaçage du radius, Berthe Samuel	63
"Full-Waveform Inversion" pour l'imagerie de l'interface béton-roche : Application aux barrages poids, Boukraa Mohamed Aziz	64
Implicit Asymptotic Numerical Method and explicit time integration method for nonlinear dynamic buckling of thin structures, Chau Anh-Khoa [et al.]	65
Métamodèle à double-processus de réduction pour approximer la dynamique non-linéaire de stratifiés avec incertitude multiparamétrique, Chikhaoui Khaoula [et al.]	66
Multiaxial random fatigue : uniaxial equivalent testing procedure for life assessment, Campello Luca	67
Comparison of two fractional methods in the dynamic analysis of polymer beam, Dang Rongqi [et al.]	68
Modélisation dynamique d'une presse à vis de forgeage : dissociation machine et outils, Durand Camille [et al.]	69
Impact du tranchage adaptatif sur les erreurs dimensionnelles de la FDM, Elayeb Ahmed [et al.]	70
Control of a Robotic filament winding application, Ezzat Ahmed [et al.]	71
Identification de densité de probabilité à partir de donnée à partir de réseaux de neurones à entropie maximale, Levillain Guillaume	72

Étude de l'influence de la convection sur les tests de qualification pour les circuits imprimés, Perin Paul [et al.]	73
Process Characteristics and Performance Assessment of Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM-CMT) Under Uncertainties, Pulickan Shyam George [et al.] .	74
Modélisation de la raideur d'un flexible, Schaefer Pierre-Loup	75
Soudage FSW pour alliage d'aluminium 6061-T6 avec outil sans pion, Kaid Mustapha	76
Thermique	77
Etude du transfert de chaleur d'un échangeur bi-tubulaire à bout hémisphérique enterré, Dhahri Imen	77
Caractérisation des MCP microencapsulés en suspension, Leroy Maxime	79
Caractérisation numérique de l'apport convectif de la MQL (Minimum Quantity Lubrification) en usinage, Najem Adam [et al.]	80
Comparaison entre le béton, le sable, l'argile, l'eau et la paraffine comme matériaux de stockage de chaleur pour le chauffe-eau solaire, Walid Zaafour	81
Poster	82
Integrating Design of Experiments (DoE) with Contextual Database (CDB) to Solve Inventive Problems. Application on Lattice structures, Abdellatif Mohamed [et al.]	82
Comportement thermomécanique des composites à matrice acrylique /fibres de lin nanochargées : approche expérimentale et numérique, Koumba Mendoue Djamy [et al.]	84
Réparation expérimentale et numérique par collage de patches externes double recouvrement d'un composite stratifié tissé fibres de verre/Elium® acrylique (E190/GF) avec une résine réparatrice Elium® E351 EOT, Koumba Nathaniel .	85
Geometrical, Flexural and Vibrational Characterization of Saxophone Reeds, Madugula Sashi Kiran	86
Commission Égalité Hommes-Femmes de l'AFM : la place des femmes dans le domaine de la mécanique en France - Actions de soutien, Massion Roxane [et al.]	87
The optimum helical coil structure for heat transfer improvement in the cylindrical tank, Missaoui Sami	88

Piezoelectric modeling taking into account temperature effect, Rasoanoavy Falini- aina	89
Elaboration et caractérisation d'un matériau a gradient de fonction, Saidani Baraa [et al.]	90
Vers le pilotage en temps réel d'un processus de forgeage : développement d'un modèle de substitution pour une opération de forgeage multi-coups, Uribe David [et al.]	91

Acoustique et vibration

Caractérisation ultrasonore de suspensions solides dans un fluide visqueux

Moustafa EID, Pierre MARECHAL, Ahmed BENAMAR

LOMC, UMR 6294 CNRS, Université Le Havre Normandie, 75 Rue de Bellot, 76600 Le Havre, France
moustafa.eid@etu.univ-lehavre.fr

1 Introduction

Ce sujet de recherche porte sur la propagation d'une onde ultrasonore (MHz) de compression au travers d'une distribution aléatoire de particules solides en suspension dans un liquide visqueux. Dans ce contexte, l'objectif est d'établir la relation entre les signaux ultrasonores et les particules en suspension : géométrie, distribution, dimensions, concentration. En termes d'application, on peut citer des domaines tels que la caractérisation de la sédimentation [1], de fluides pollués [2], de produits agro-alimentaires (produits laitiers) [3].

Dans ce cadre, les objectifs du projet sont divisés en deux parties :

- Consolider des résultats numériques antérieurs avec de nouvelles configurations et développer un modèle numérique spécifique dédié à notre cas d'étude (ultrasons, microparticules en suspension, fluide visqueux).
- Concevoir et construire un dispositif expérimental pour la caractérisation ultrasonore avec une instrumentation spécifique (en transmission, en réflexion, avec des transducteurs de 1 à 10 MHz) pour la mesure de propriétés effectives (atténuation et vitesse), dépendantes de la viscosité, de la concentration et de la température.

2 Dispositif expérimental

Le travail est divisé en deux parties :

- 1) Expérimentale : émission et réception des ondes ultrasonores (MHz) à travers des particules en suspension via une pompe dans un bassin régulé en température (Figure 1), acquisition des signaux temporels (Python), FFT et traitement pour déterminer la vitesse et l'atténuation en fonction de la fréquence.
- 2) Numérique : validation des résultats expérimentaux via un modèle (ECAH, Waterman and Truell, Forester and Pinfield [4]...) implémenté numériquement (Matlab).

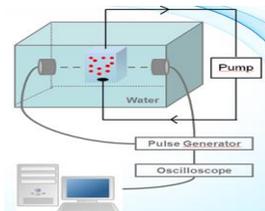


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental.

3 Résultats

- Mise au point d'un dispositif expérimental et d'un protocole de mesure : procédure d'acquisition des signaux (Python), traitement FFT, détermination des courbes d'atténuation et de vitesse en fonction de la fréquence.
- Validation numérique (Matlab) d'un modèle adapté aux suspensions solides en fluide visqueux.
- Quantification de l'influence de la fréquence, du débit, de la concentration et de la température.

Mots clefs : Ultrasons, FFT, Suspensions, Propriétés Effectives, Atténuation, Vitesse.

Références

- [1] Shukla, A et al., Particles settling studies using ultrasonic techniques, Volume 177, Pages 102-111, 15 August 2007
- [2] Bamberger JA et al., Measuring fluid and slurry density and solids concentration non-invasively, Ultrasonics, vol. 42, p. 563-567, 2004.
- [3] Dukhin AS et al., Use of ultrasound for characterizing dairy products, Journal of Dairy Science, vol. 88, p. 1320-1334, 2005.
- [4] Forrester DM et al., Characterisation of colloidal dispersions using ultrasound spectroscopy and multiple-scattering theory inclusive of shear-wave effects, Chem. Eng. Res. Des., vol. 114, p. 69-78, 2016.

Comparaison entre les solveurs implicite et explicite pour l'analyse modale numérique de structures

N. ELSTER^a, J. BOUTILLIER^a, P. MAGNAN^a, P. NAZ^a

a. Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis (ISL), natacha.elster@isl.eu

1 Contexte

L'analyse modale est une technique permettant de caractériser le comportement vibratoire de structures sous des sollicitations externes. Expérimentalement le principe consiste à exciter une structure suivant une gamme de fréquences définie, et à mesurer l'amplitude des vibrations engendrées à l'aide de capteurs positionnés stratégiquement [1]. Une identification modale est ensuite réalisée pour extraire ses modes de vibrations (fréquences propres, amortissements, déformées modales). Numériquement, plusieurs méthodes peuvent être employées : soit une résolution d'un problème aux valeurs propres (solveur implicite) ; soit une reproduction des essais expérimentaux en imposant un chargement et en mesurant les déplacements induits (solveurs implicite et/ou explicite). L'objectif de cette étude est de comparer ces méthodes numériques et de les valider par rapport à des essais expérimentaux.

2 Méthodologie

Une analyse modale expérimentale est d'abord réalisée sur des échantillons de deux structures imprimées en 3D : une poutre encastrée-libre et une coque sphérique [2]. Un sinus glissant d'amplitude unitaire et de fréquence variant entre 1 Hz et 10 kHz est imposé aux échantillons par un pot vibrant ; tandis qu'un vibromètre laser est utilisé pour l'acquisition du comportement vibratoire. L'exploitation des données est quant à elle menée avec l'algorithme d'identification modale Least-Square Complex Frequency (LSCF) [3, 4].

Dans un second temps, le logiciel LS-Dyna est utilisé pour mettre en œuvre les différentes méthodes d'analyse modale numérique. Les résultats numériques et expérimentaux sont finalement comparés en termes de fréquences propres ainsi qu'en termes de déformées modales avec l'outil Modal Assurance Criterion (MAC) [5].

3 Résultats

Les études numériques réalisées avec les solveurs implicite et explicite permettent d'obtenir des modes de vibrations proches de l'expérimental. Les déformées modales communes ont été détectées avec l'outil MAC, puis les erreurs relatives commises sur le calcul des fréquences propres ont été quantifiées.

La résolution du problème aux valeurs propres permet à la fois un temps de calcul plus faible ainsi qu'une analyse de résultats plus simple que de reproduire numériquement les essais en imposant un chargement extérieur. En effet, dans ce dernier cas les données numériques doivent être analysées comme fait expérimentalement avec la méthode LSCF.

Cependant, avec le solveur implicite le nombre de lois matériaux implémentées dans LS-Dyna est limité, ce qui ne permet pas de réaliser l'ensemble des analyses modales désirées. Ainsi dans notre cadre d'étude, les essais expérimentaux sont reproduits numériquement avec un solveur explicite.

Mots clefs : Analyse modale expérimentale, Analyse modale numérique, Problème aux valeurs propres

Références

- [1] D.J. Ewins, Modal Testing: Theory, Practice and Application, Research Studies Press LTD, 2001.
- [2] N. Elster et al., Design of a simplified cranial substitute and Modal Analysis, Proceedings of DYMAT 26, (2022) 181-186.
- [3] P. Verboven, Frequency-Domain System Identification for Modal Analysis, Thesis, Vrije Universiteit Brussel, 2002.
- [4] R. Pinterlon et al., System Identification: A Frequency Domain Approach, John Wiley and Sons, New York, 2012.
- [5] R.J. Allemang, The Modal Assurance Criterion – Twenty Years of Use and Abuse, Sound and Vibration 37, (2003) 14-21.

Prediction of Dispersion Curves for Wave Propagation in beam-like waveguide by Kriging Metamodeling Approach

Boyao ZHU^a, Lyes NECHAK^a, Olivier BAREILLE^a,

a. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, UMR CNRS 5513, École Centrale de Lyon, 36 avenue Guy de Collongue 69134 Écully Cedex, France

(e-mail : lyes.nechak@ec-lyon.fr,olivier.bareille@ec-lyon.fr, boyao.zhu@ec-lyon.fr).

1 Introduction

The current study proposes a kriging-based metamodeling approach for predicting dispersion curves in waveguides, which plays a crucial role in Structural Health Monitoring (SHM) by providing insights into wave mode propagation in structures [1]. Obtaining dispersion curves can be challenging due to numerical difficulties, even when utilizing the Wave Finite Element Method (WFEM) [2], which offers improved efficiency but still requires further enhancement. To address these challenges, we introduce and develop a kriging-based metamodeling approach in this study [3,4]. The key idea is to predict dispersion curves using a limited number of WFEM simulations, significantly reducing the aforementioned numerical difficulties and improving efficiency. Furthermore, this study investigates the reliability and validity of the kriging-based metamodeling approach for predicting dispersion curves in waveguide structures. Various parameters of the kriging metamodels are considered and analyzed to maximize the accuracy of predictions while ensuring efficient computing time. The adaptive kriging is also compared with the ordinary kriging to further reduce the number of sampling points. Through numerical simulations and a comparison with WFEM results, this work demonstrates the effectiveness and reliability of the kriging metamodeling approach in addressing the aforementioned challenges.

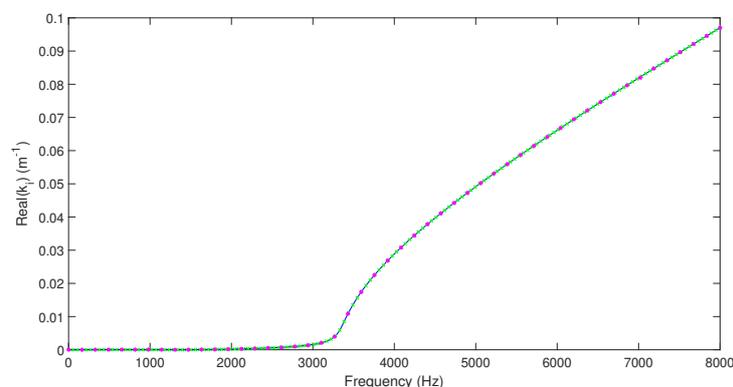


FIGURE 1 – The result of dispersion curve with different size : WFE : - 8000 sample points ; Ordinary Kriging metamodel : × 150 sample points ; Adaptive Kriging : * 50 sample points

keyword : Wave finite element method, Kriging metamodeling, Adaptive kriging, Dispersion curve, Structural Health Monitoring

Références

- [1] Droz, Christophe and Bareille, Olivier and Lainé, Jean-Pierre and Ichchou, Mohamed N., 15452255, Structural Control and Health Monitoring, feb, 2, e2085, John Wiley and Sons Ltd, Wave-based SHM of sandwich structures using cross-sectional waves, 25, 2018
- [2] Multi-mode propagation and diffusion in structures through finite elements, European Journal of Mechanics - A/Solids, 24, 5, 877-898, 2005, J.-M. Mencik and M.N. Ichchou,
- [3] DACE-A Matlab Kriging Toolbox, H. B.Nielsen and S. N. Lophaven and S. Jacob, 2002, Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, DTU,
- [4] Sensitivity analysis and Kriging based models for robust stability analysis of brake systems, Mechanics Research Communications, 69, 136-145, 2015, L. Nechak and F. Gillot and S. Besset and J.-J. Sinou,

Mécanique des fluides

Computer simulations of the lymphatic vessels and valves

A. BOU ORM, B. KAOUI

Biomechanics and Bioengineering, CNRS, Université de Technologie de Compiègne, 60200, France

Emails : alaa.bou-orm@utc.fr, badr.kaoui@utc.fr

1 Introduction

The lymphatic system consists of initial lymphatic vessels, which absorb lymph liquid, and collecting lymphatic vessels, which transport the lymph through the lymphatic network and its nodes. The lymph pumping mechanism is achieved by a cycle of compression and expansion of the lymphatic vessel wall induced by the surrounding muscles. The lymphatic valves allow pumping the lymph and they prevent its backflow. We develop fully coupled fluid-structure computational model to study the effects of various parameters on the dynamics of the valve.

Fluid-structure interaction (FSI) involves in the dynamics of many structures in nature and in engineering problems. Several models and numerical methods are used to model and capture the correct physics of the valves under flow. We propose an alternative to model the two-leaflet valves and its opening under the action of a channel flow. This study is motivated by recovering properly the dynamics of lymphatic valves that are made of two leaflets and that involves in the pumping of the lymph liquid through the network of the lymphatic vessels.

2 Method and results

2D in-house code based on the lattice Boltzmann method (LBM) is used to compute the fluid flow. The Immersed Boundary Method (IBM) is used to couple the lymph flow with the dynamics of the valves. The valves are modeled with a spring network, where adjacent points are interconnected with a Hookean spring, with the stretching force and the restoring force.

The present numerical method with the restoring and the stretching forces is simple and catches the expected dynamics of the valves.

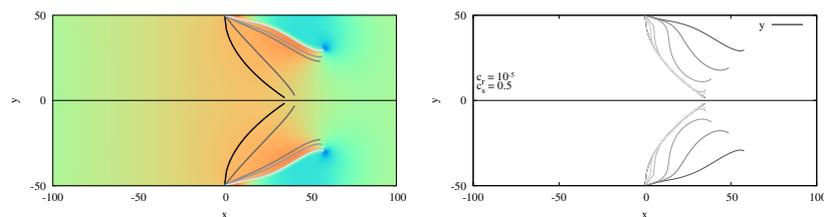


FIGURE 1 – Opening and relaxation of the valve under the flow in 2D.

Keywords : lymph, pumping mechanism, fluid-structure, dynamics of the valve.

References

- [1] H. Li, Y. Mei, N. Maimon, T. P. Padera, J. W. Baish, and L. L. Munn, The effects of valve leaflet mechanics on lymphatic pumping assessed using numerical simulations. *Sci Rep.*, 9 :10649, 2019
- [2] B. Kaoui, Algorithm to implement unsteady jump boundary conditions within the lattice Boltzmann method, *Eur.phys.J.E*, 43 :23, 2020
- [3] H. Guillaume, The lymphatic pumping mechanism : A numerical study, MSc, Report, Université de technologie de Compiègne, UMR CNRS 7338

Hydrodynamique des suspensions rhéo-épaississantes en conduite

A. Bougouin, H. Lhuissier, Y. Forterre, B. Metzger

Aix-Marseille Université, CNRS, IUSTI, Marseille, France

Les suspensions rhéo-épaississantes, comme des grains d'amidon dans l'eau, ont un comportement étonnant consistant en une augmentation, parfois brutale, de la viscosité à forte contrainte. Récemment, ce phénomène a été attribué à une transition frictionnelle qui implique le frottement entre les grains et la présence de forces répulsives à courte portée [1, 2]. Cette transition frictionnelle a depuis été formalisée théoriquement allant jusqu'à prédire des lois rhéologiques ré-entrantes pour les suspensions hyperconcentrées [3] - un ingrédient clé pour le développement d'instabilités. Cette présentation discutera la manière dont ces lois rhéologiques peuvent être utilisées pour décrire l'hydrodynamique des suspensions rhéo-épaississantes en conduite. Plus particulièrement, je montrerai que la région dite instable se caractérise par une saturation du débit avec la contrainte appliquée, résultant de l'émergence d'un soliton frictionnel rétropropagatif.

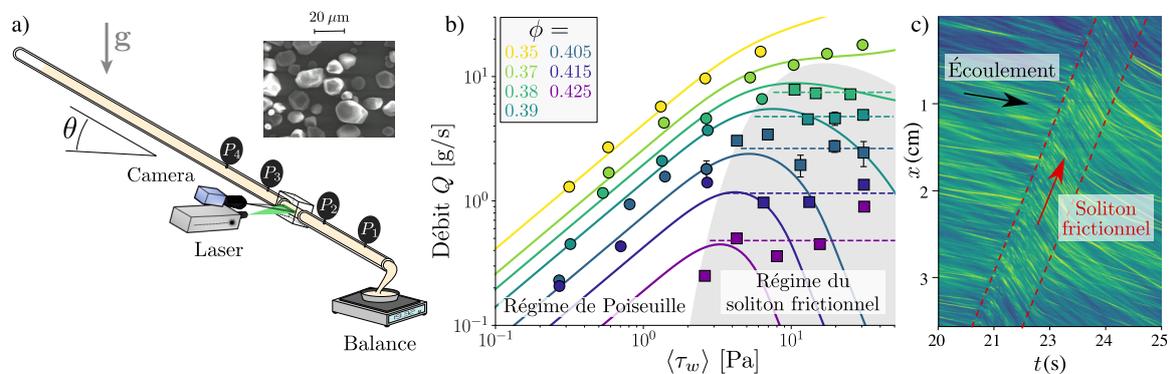


FIGURE 1 – a) Dispositif expérimental. En haut, image des grains d'amidon de maïs composant la suspension. b) Débit massique Q versus la contrainte pariétale moyenne appliquée $\langle \tau_w \rangle = \rho g R \sin \theta / 2$, pour différentes fractions volumiques ϕ en grains. (—) Modèle de Wyart-Cates; (- - -) moyenne expérimentale dans la région dite instable montrant la saturation du débit. c) Évolution spatio-temporelle de l'écoulement proche paroi illustrant la rétropropagation du soliton frictionnel.

Mots clefs : Suspension, Rhéo-épaississement, conduite, instabilité

Références

- [1] R. Mari, R. Seto, J. F. Morris and M. M. Denn, Shear thickening, frictionless and frictional rheologies in non-Brownian suspension. *J. Rheol.*, 58 (2014) 1693–1724.
- [2] C. Clavaud, A. Bérut, B. Metzger and Y. Forterre, Revealing the frictional transition in shear-thickening suspensions. *PNAS*, 114 (2017), 5147–5152.
- [3] M. Wyart and M. Cates, Discontinuous shear thickening without inertia in dense non-Brownian suspensions. *Phys. Rev. Lett.*, 112 (2014), 098302.

Modèle physique apportant un nouvel éclairage sur les interactions complexes entre les molécules membranaires

M.A. DJIBAOU^a, A. R. BOUZERAR^b, M. GUEDDA^c

a. LPMC (UPJV), djibaoui.med.djibaoui@gmail.com / mohammedadel.djibaoui@etud.u-picardie.fr

b. LPMC (UPJV), robert.bouzerar@u-picardie.fr

c. LAMFA (UPJV), mohamed.guedda@u-picardie.fr

1 Introduction

Du fait de leur organisation et des fonctions multiples qui leur sont conférées par leur structure complexe [1], les membranes cellulaires présentent un intérêt à la fois fondamental et applicatif mais leur approche nécessite souvent une approche interdisciplinaire combinant outils mathématiques et physiques et connaissances biologiques. Reflet de cette complexité, l'élucidation de la relation entre leurs structures et leurs fonctions multiples se heurte à des obstacles majeurs. D'origine structurale et fonctionnelle, la complexité des membranes biologiques résulte d'un vaste ensemble d'interactions moléculaires s'exprimant dans les processus biologiques mais aussi de l'exploitation de couplages naturels entre divers mécanismes physico-chimiques. De nombreux modèles relevant de la Biophysique visent une description mécanique et thermodynamique de ces membranes s'appuyant sur la fameuse fonctionnelle (énergie) de Canham-Helfrich [2, 4, 6], prenant en compte la forme, c'est-à-dire la géométrie et la topologie des membranes et permettant la détermination des configurations d'équilibre des membranes. Du point de vue mécanique, ces membranes présentent les caractéristiques combinées de solides et de fluides (écoulement interne à la membrane comme évoqué dans le vieux modèle de la mosaïque fluide [2]). L'étude présentée ici concerne un modèle mécanique simple de membranes cellulaires planes ou courbées et permettant de décrire les interactions induites entre protéines incluses dans celle-ci Basé sur une extension simple de la fonctionnelle de Helfrich, le modèle décrit d'abord la dynamique déterministe des déplacements normaux de membranes élastiques homogènes et isotropes Le spectre des excitations de basse énergie (ondes de courbure) est discuté dans le cas de membranes de haute symétrie telles les vésicules sphériques ainsi que la forme générale de la compliance de celles-ci Dans une seconde étape, la théorie générale des fluctuations thermiques [3] de la membrane est présentée ainsi que ses effets sur les interactions résiduelles entre protéines incluses, de nature entropique La forme du potentiel d'interaction correspondant est calculée numériquement dans le cas de membranes planes. Le rôle potentiel de ces interactions sur l'organisation des protéines au sein de la membrane est discuté. Leurs réorganisations au sein de la membrane pourraient être approchées efficacement comme transitions de phases de la membrane 'habillée' par une analogie intéressante de notre modèle avec le gaz de Coulomb 2D.

Mots clefs : Membrane cellulaire ; Helfrich ; Courbure ; Fluctuations thermiques ; mouvement aléatoire

Références

- [1] BENGA, Gheorghe et HOLMES, Ross P. Interactions entre les composants des membranes biologiques et leurs implications pour la fonction membranaire. Progrès de la biophysique et de la biologie moléculaire , 1984, vol. 43, n° 3, p. 195-257.
- [2] SEIFERT, Udo. Configurations of fluid membranes and vesicles. Advances in physics, 1997, vol. 46, no 1, p. 13-137.
- [3] PROST, J. et BRUINSMA, R. Shape fluctuations of active membranes. Europhysics Letters, 1996, vol. 33, no 4, p. 321.
- [4] HELFRICH, Wolfgang. Elastic properties of lipid bilayers : theory and possible experiments. Zeitschrift für Naturforschung c, 1973, vol. 28, no 11-12, p. 693-703.
- [5] KIM, K. S., NEU, John, et OSTER, George. Curvature-mediated interactions between membrane proteins. Biophysical journal, 1998, vol. 75, no 5, p. 2274-2291.
- [6] CANHAM, Peter B. The minimum energy of bending as a possible explanation of the biconcave shape of the human red blood cell. Journal of theoretical biology, 1970, vol. 26, no 1, p. 61-81.

Comparaison of numerical approaches for the modeling of mass transfer across interfaces

N. DJABALLAH^a, S. VINCENT², E. CHENIER³, C. SELCUK⁴, B. TROUETTE⁵

MSME, Univ Gustave Eiffel, CNRS UMR 8208, Univ Paris Est Creteil, F-77454 Marne-La-Vallée, France

^a nour-el-houda.djaballah@u-pem.fr, ² stephane.vincent@univ-eiffel.fr,

³ eric.chenier@univ-eiffel.fr, ⁴ can.selcuk@univ-eiffel.fr, ⁵ benoit.trouette@univ-eiffel.fr

1 Abstract

This work is dedicated to the study of a collecting process of airborne particles and/or gaseous pollutants by water spray droplets. Indeed, spray-systems are effective devices to control air quality, which is of a major interest in several fields of applications where toxic gases or particulate contaminants are involved. For instance, this cleaning technique can be used in chemical laboratories, airports or construction sites during demolition processes. In all these applications, spray-systems are employed as a remediation technique to prevent pollutants from spreading to the environment and to ensure the safety of employees. In such an installation, the water spray droplets are brought into contact with the upwardly flowing pollutant-laden gas, inducing the removal of the impurities.

However, different mechanisms are at play and at different scales. In general, inertial impaction and interception are efficient for the removal of pollutants whose diameters are larger than $1\mu m$. For smaller pollutants, typically of size $d < 0.1\mu m$, diffusion is the dominant phenomena and it becomes even more important with the size decreasing further.

In the present study, we consider pollutants which sizes are of the order of the manometer. On one hand, this allows us to take into account only the diffusion mechanism between non-miscible fluids but, on the other hand, it requires to have an accurate description of the interface. Our goal, in this study, is to compare the accuracy of three different Eulerian approaches on the resolution of such a diffusion problem. We focus on the Cut-cell and the Ghost-fluid [1] methods which are suited for two-fluids formulations and also another model, designed for a one-fluid formulation which involves a non-trivial source term[2].

To asses each method, we first describe their numerical implementation in our in-house code (Fugu) and test them on different configurations for which analytical solutions are available. More specifically, the problem of diffusion through an interface with a jump of the solution but with continuous fluxes will be shown. Then, a more general version that takes into account a flux jump at the interface will also be introduced. The most efficient approach will be then chosen in order to perform realistic 3D simulations of contaminant collection by a cloud of drops.

Références

- [1] Liu, Xu-Dong and Fedkiw, Ronald P and Kang, Myungjoo. *A boundary condition capturing method for Poisson's equation on irregular domains*. Elsevier, 2000.
- [2] Haroun, Yacine and Raynal, Ludovic and Legendre, Dominique. *Mass transfer and liquid hold-up determination in structured packing by CFD*. Elsevier, 2012.

Peristaltic motion of an Ostwald-de Waele fluid through asymmetric channel

A. DOURID ^(a), H. RACHID ^(a), M. TAIBI ^(a), M. T. OUZZANI ^(a).

a. Laboratory of Mechanics, Department of Physics, Faculty of Sciences Ain Chock University Hassan II, Casablanca, Morocco.
 abdelghanidourid@gmail.com, rhasan2@yahoo.fr, med_taibi2006@hotmail.com, touazzani@hotmail.com

Peristaltic pumping is a fluid transport phenomenon in which a progressive wave of area peristaltic contraction or expansion propagates along the walls of distensible tube/channel containing fluid. This phenomenon called “peristalsis” has several applications, such as in medicine (hemodialysis, blood fractionation devices, tumors removal, dental equipment, etc.), human body (blood flow, chyme transport patterns), and industry (agriculture, cement slurry, food processing, water treatment, chemical processing, etc.). Due to the importance of this phenomenon, it has become the object of scientific research, since the first investigation of peristaltic transport for a Newtonian fluid was by Latham [1]. For non-Newtonian fluids and in different geometries, several researchers have attempted to analyze this type of flows. For example, Srivastava and Srivastava [2] studied the peristaltic motion of blood modeled by the Casson fluid in a non-uniform tube. Hayat et al. [3] investigated the effect of a third-order fluid on the peristaltic transport in a circular cylindrical tube. Recently, Lahlou et al. [4] examined the peristaltic pumping of a Robertson-Stiff viscoplastic fluid in the presence of heat and mass transfer. This year, Moatimid et al. [5] studied the peristaltic transport of Rabinowitsch nanofluid with moving microorganism.

The aim of this work is to study the peristaltic transport of an incompressible power law fluid (Ostwald-de Waele model) in an asymmetric planar channel (see Figure).

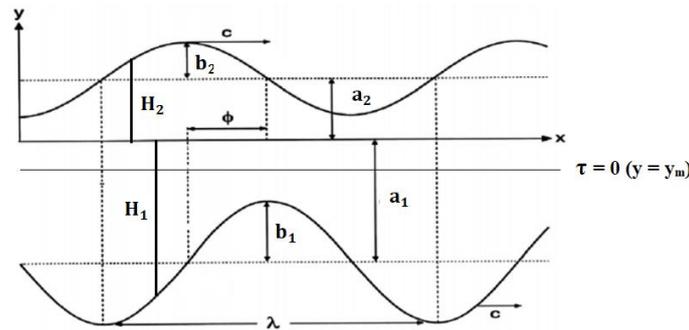


Figure: sketch of the problem.

The expressions of the walls are given by:

$$H_1(x, t) = -a_1 - b_1 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x - ct)\right), \quad H_2(x, t) = a_2 + b_2 \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}(x - ct) + \phi\right)$$

In the wave frame analysis and for long wavelength and small Reynolds number, the mathematical problem has been analytically solved to get exact solution. The geometrical and non-Newtonian effects through dimensionless parameters on physical quantities (pressure-rise, frictional forces and mechanical efficiency of pumping) have been graphically discussed.

Keywords: Peristaltic transport, Power-law fluid, asymmetric channel, mechanical efficiency.

References

- [1] T.W. Latham, Fluid motions in a peristaltic pump, Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1966.
- [2] L.M. Srivastava, V.P. Srivastava, Peristaltic transport of blood: Casson model—II, Journal of Biomechanics 17 (1984) 821-829.
- [3] T.Hayat, Y.Wang, A.M.Siddiqui, K.Hutter and S.Asghar, Peristaltic transport of a third-order fluid in a circular cylindrical tube, Mathematical Models and Methods in Applied Sciences 12 (2002) 1961-1706.
- [4] N. Lahlou, H. Rachid, and M. T. Ouazzani, Modeling Coupled Heat and mass transfer in peristaltic cylindrical flow of robertson-stiff fluid, International Journal of Applied Mechanics 11 (2019) 1950092.
- [5] Galal M. Moatimid, Mona A. A. Mohamed and Khaled Elagamy, Peristaltic transport of rabinowitsch nanofluid with moving microorganisms 13 (2023) 1863.

Modelling and simulation of single and multiple drop impingements onto liquid surfaces

S. FERREKA^a, S. VINCENT^a, B. TROUETTE^a, É. CHENIER^a

a. Université Gustave Eiffel, Université Paris Est Creteil, CNRS, UMR
8208, MSME, Marne-la-Vallée, F-77454, France
syphax.fereka2@univ-eiffel.fr

The use of sprays is widespread in industry, especially in combustion, coating and cooling. Consequently, several studies are carried out in order to understand properly the different occurring phenomena. In addition to the study of the primary atomisation, which occurs after the injection, there is a great interest for studying the spray/walls interactions according to the application case. In fact, there are many experimental studies [1] that deal with this type of phenomena. However, under certain conditions the experiments are limited by the means of measurement and their accuracy. These limitations can be overcome with numerical simulation by using the suitable methods. Therefore, in the present work, we focus on modelling and simulation of the interaction of a dense spray of high-velocity liquid particles with liquid surfaces using the FUGU CFD code developed at the MSME laboratory. This study will be conducted in order to allow the analysis of the mass deposition and the potential secondary ejection (mass and velocity distribution of secondary droplets) after impact.

Numerical modelling of similar problems has been already discussed in the literature [2]. The proposed models are often based either on empirical formulations from experimental analyses or on single drop impact results without considering the interactions between the spray droplets before and after their impingement [3]. As far as dense sprays are concerned, these interactions are not negligible for the prediction of the secondary ejection and the mass deposition on the impacted liquid surfaces. Thus, all these interactions should be taken into account. Through this work, all the scales have to be modelled by setting up a multi-scale representation of phenomena that considers different levels of resolution. This multi-scale approach aims to couple Eulerian and Lagrangian two-phase models in order to simulate both the large scales and the sub-mesh entities. In a first step, resolved interfaces are dealt with considering Volume of fluid approaches and fully coupled incompressible solvers [4] with momentum conserving methods [5].

Before developing the multi-scale approaches for the simulation of hyperdense sprays using the real conditions for physical properties and velocity regimes, the used CFD code must be validated for simple cases of single drop and multi-drop impacts. Since the interactions essentially occur between the droplets and between the expanding crowns induced by a multi-drop impingement, it is important to check that these mechanisms are well computed compared to experimental references.

Key words : finite volumes, Volume Of Fluid, multiphase flow, drops, splashing, multiscale.

References

- [1] D. Sivakumar and C. Tropea. *Splashing impact of a spray onto a liquid film*. Physics of Fluids 14, L85-L88. 2002.
- [2] M. Muhlbauer. *Modelling wall interactions of a high-pressure hollow cone spray*. Phd thesis, Darmstadt university. 2009.
- [3] D. Kuhnke. *Spray/wall interaction modelling by dimensionless data analysis*. Phd thesis, Darmstadt university. 2004.
- [4] M. Elouafa et al. *Navier-Stokes Solvers for Incompressible Single-and Two-Phase Flows*. Communications in Computational Physics. 2021.
- [5] N. Nangia et al. *A robust incompressible Navier-Stokes solver for high density ratio multiphase flows*. Journal of Computational Physics. vol. 390, p. 548-594, 2019.

Interaction entre un train de gouttes d'eau liquide et l'écoulement engendré par une onde de choc se propageant à Mach 4

C. LOISEAU^{a,b}, F. VIROT^a, J.L. RULLIER^b, D. HEBERT^b, M. BOUSTIE^a

a. ISAE ENSMA | corentin.loiseau@ensma.fr | florent.virot@ensma.fr | michel.boustie@ensma.fr

b. CEA CESTA | jean-luc.rullier@cea.fr | david.hebert@cea.fr

L'étude de l'interaction entre une goutte liquide et une onde de choc constitue un domaine de recherche important avec diverses applications. Les phénomènes physiques présents lors d'une telle interaction sont nombreux ; on peut notamment citer les forces de viscosité, des effets thermiques ou encore certaines instabilités hydrodynamiques. Mais lorsqu'une goutte liquide millimétrique est soumise à un écoulement engendré par une onde de choc hypersonique, la déformation de la goutte est majoritairement liée aux effets des forces aérodynamiques [1]. Celle-ci est alors fragmentée en gouttes filles plus petites et un brouillard épais entourant la goutte principale et les gouttelettes filles masque cette fragmentation. La compréhension de ces phénomènes permettrait d'améliorer les performances de certains systèmes de propulsion comme les moteurs à détonations rotatives.

Le dispositif expérimental utilisé lors de cette étude peut produire une onde de choc se propageant jusqu'à Mach 11 grâce à un tube à détonation. Dans ces travaux, un choc à Mach 4 est généré dans l'air, initialement aux conditions atmosphériques, et interagit avec un train de gouttes submillimétriques (figure 1). Les gouttes sont produites par un générateur de gouttes mono-disperses (TSI MDG100), leur diamètre est choisi entre $D = 180 \mu\text{m}$ à $D = 480 \mu\text{m}$. L'étude compare la trajectoire des fronts de brouillard liés à chacune des gouttes d'eau par rapport à celle d'une goutte isolée, suspendue par des fils, issus d'essais antérieurs [2].

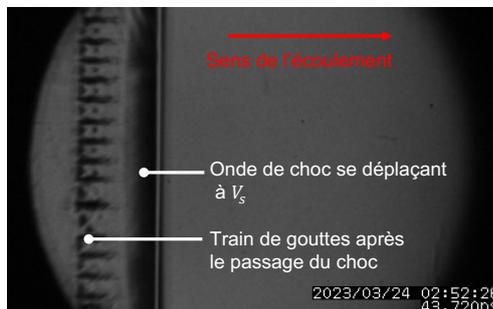


FIGURE 1 – Fragmentation d'un train de gouttes de $180 \mu\text{m}$ ($V_s = 1\,372,2 \text{ m s}^{-1}$).

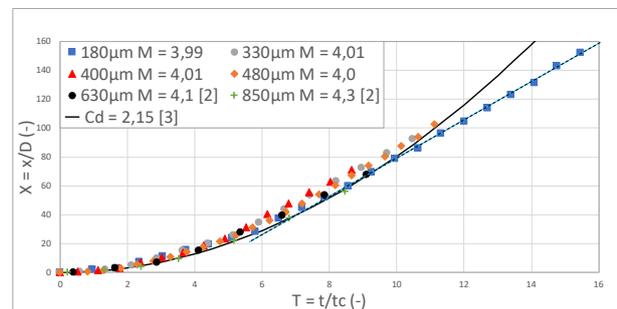


FIGURE 2 – Déplacement adimensionné du front de brouillard après le passage du choc.

La figure 2 montre que, grâce à l'adimensionnement $X = \frac{x}{D}$ et $T = \frac{t}{t_c}$ avec $t_c = \frac{D}{V_1} \sqrt{\frac{\rho_d}{\rho_1}}$ (Pilch [1]), l'ensemble des trajectoires des gouttes se superposent, quelque soit leur diamètre et les conditions initiales d'essai. Les gouttes suivent toutes la même trajectoire définie par l'équation $X = \frac{3}{8} C_d T^2$ [1] avec $C_d = 2.15$ [3] jusqu'à $T \sim 7$ (phase d'accélération de la goutte), puis une phase linéaire au delà (déplacement du brouillard à la vitesse de l'écoulement).

Mots clés : Fragmentation, Goutte d'eau, Brouillard, Choc

Références

- [1] M.Pilch, Acceleration Induced Fragmentation of Liquid Drops, Ph.D.thesis, University of Virginia, 1981.
- [2] F. Virot, G. Tymen, D. Hébert, J.L. Rullier et E. Lescoute, Experimental investigation of the interaction between a water droplet and a shock wave above Mach 4, Shock Waves, 2023.
- [3] D. Hébert, J.L. Rullier, J.M. Chevalier, I. Bertron, E. Lescoute, F. Virot et H. El-Rabii, Investigation of mechanisms leading to water drop breakup at Mach 4.4 and Weber above 10^5 . SN Applied Sciences, 2019.

Analyse topologique des données pour le contrôle d'écoulements turbulents

C. Mbangue Lobe Yiphta^a, D. Razafindralandy^b, A. Hamdouni^c, M. Azaiez^d

a. LaSIE, UMR CNRS 7356, La Rochelle Université, constantini.mbangue_lobe_yiphta@univ-lr.fr

b. LaSIE, UMR CNRS 7356, La Rochelle Université, dina.razafindralandy@univ-lr.fr

c. LaSIE, UMR CNRS 7356, La Rochelle Université, aziz.hamdouni@univ-lr.fr

d. I2M, CNRS UMR5295, Institut Polytechnique de Bordeaux, mejdi.azaiez@bordeaux-inp.fr

Ces dernières années, l'analyse topologique des données (TDA), et plus précisément l'outil persistance topologique, connaît des applications pertinentes dans le domaine de la mécanique. Par exemple, dans l'industrie automobile, les premières études ont déjà permis de détecter l'état de stress d'un conducteur au volant. Le succès de l'analyse topologique dans ce domaine s'explique par le fait que, bien que les signaux temporels (envoyés par des capteurs ou des caméras) ainsi que leurs propriétés spectrales soient très différents d'un conducteur à l'autre et d'un véhicule à l'autre, leurs propriétés topologiques ne dépendent que de l'état de stress du conducteur [1]. Dans [2], on montre qu'on peut détecter si un ouvrage d'art est endommagé grâce à l'analyse topologique des données issus de capteurs, et cela indépendamment de facteurs extérieurs tels que la température.

La persistance topologique est un outil qui permet d'analyser la complexité d'un signal, d'un ensemble de données, d'une forme géométrique, Le succès de la TDA dans les exemples précédents s'explique par le fait que l'analyse se base sur des invariants topologiques (nombres de Betti) est qu'elle est capable de distinguer les caractéristiques globales et les variations rapides. Le résultat de l'analyse est encodé sous forme d'une signature, appelée diagramme de persistance. La Figure 1 présente un exemple de diagramme de persistance d'un écoulement bidimensionnel.

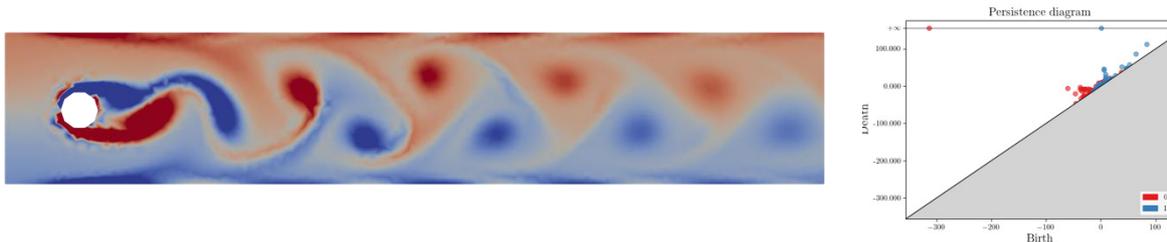


Figure 1 : Écoulement derrière un cylindre et le diagramme de persistance de la vorticité

Dans cette présentation, on s'intéresse à des applications en mécanique des fluides, plus précisément en contrôle d'écoulements turbulents. Les méthodes actuelles se basent sur la minimisation d'une fonction coût, généralement définie par une norme. En conséquence, on arrive à identifier les paramètres de contrôle de manière à produire un écoulement ayant une même tendance globale que l'écoulement cible. En revanche, il faut beaucoup d'itérations pour capter les détails. Or, dans certains écoulements, les petites variations peuvent être responsables d'un changement important de l'état de l'écoulement. Ainsi, on propose d'inclure des informations topologiques dans la fonction coût de manière à capturer plus rapidement ces détails.

Mots clés : Diagramme, persistance, contrôle, écoulements

Références

[1] Empowering Advanced Driver-Assistance Systems from Topological Data Analysis. T. Frahi, F.Chinesta, A. Falcó, A. Badias, E. Cueto, H.Y. Choi, M. Han, J.-L. Duval. Mathematics 9(6), 634. 2021.

[2] On topological data analysis for structural dynamics: an introduction to persistent homology. T. Gowdrige, N. Dervilis, K. Worden. ArXiv:2209.05134. 2022.

Identification de tourbillons par homologie persistante

R. Mosquera^a

en collaboration avec D. Razafindralandy^a et A. Hamdouni^a

^a Équipe M2N, LaSIE, UMR 7356 - CNRS - La Rochelle Université
Avenue Michel Crépeau 17042 La Rochelle cedex 1.

Résumé

L'identification de tourbillons est un problème d'intérêt général en mécanique des fluides. Malgré le fait qu'actuellement il n'y pas un consensus sur une définition rigoureuse d'un tourbillon, dans la pratique, un certain nombre de critères d'identification de tourbillons sont fréquemment utilisés pour visualiser ces structures. Les critères d'identification les plus populaires comme les critères Q , Δ , λ_2 entre autres, dépendent exclusivement des valeurs propres du tenseur du gradient de vitesse ou des invariants associés [1]. Selon ces critères, un tourbillon est identifié comme une région connexe où une inégalité, exprimée en termes de valeurs propres du gradient de vitesse, est vérifiée. Utilisés avec succès dans certains cas d'écoulements, ces critères présentent néanmoins des limitations. En effet, dans la pratique, pour chaque cas d'étude l'utilisateur doit choisir un seuil pour éviter des problèmes d'erreur numérique, or le choix de ce seuil est crucial pour identifier correctement les tourbillons car des seuils différents donnent des structures de tourbillon différentes. Actuellement, il n'existe pas de fondement théorique pour choisir la valeur appropriée du seuil [2], et quand des tourbillons forts et faibles coexistent, ces critères classiques atteignent leur limites.

Récemment, de nouveaux outils basés sur l'analyse topologique (plus précisément la persistance topologique) ont été proposés pour examiner la dynamique des modèles d'écoulement [3]. Plus précisément, à partir des séries temporelles d'images de modèles de champs d'écoulement, une description compacte du champ d'écoulement peut-être obtenue grâce au diagramme de persistance. Puis, en utilisant différentes métriques dans l'espace de diagrammes, les traits caractéristiques des diagrammes de persistance sont liés à la géométrie des modèles de flux correspondants. La réussite de cette méthode s'explique grâce au caractère générique et multi-échelle de la persistante topologique.

Dans cette communication, un nouveaux critère d'identification de tourbillons, pour une classe de tourbillon précise, sera proposé. Fondé sur l'homologie persistante, ce critère identifie les tourbillons par ses invariants topologiques (nombres de Betti). En effet, en utilisant une fonction de filtre et grâce à un critère d'optimalité définie sur les co-cycles associés, ce nouveau critère topologique parvient à identifier les tourbillons. A la différence des critères classiques mentionnés ci-dessus, ce critère topologique n'aura pas à recourir à un seuillage. D'autre part, cette approche ouvre un nouveau front pour étudier les tourbillons à partir de ces invariants topologiques associés.

Les performances de ce critère topologique et sa sensibilité au choix des fonctions de filtre seront illustrées sur différents exemples de tourbillons analytiques et de données expérimentales 3D.

Mots clefs : Homologie persistante, identification de tourbillons, dynamique des fluides

Références

- [1] EPPS, Brenden. "Review of vortex identification methods", In : 55th AIAA aerospace sciences meeting. 2017. p. 0989.
- [2] Liu, Chaoqun, et al. "Third generation of vortex identification methods : Omega and Liutex/Rortex based systems", Journal of Hydrodynamics 31 (2019) : 205-223.
- [3] Kramár, Miroslav, et al. "Analysis of Kolmogorov flow and Rayleigh-Bénard convection using persistent homology", Physica D : Non-linear Phenomena 334 (2016) : 82-98.

Simulation du collapse de bulle proche d'une paroi courbe à l'aide d'une méthode de pénalisation

L. MENEZ^a, M. BERINGHIER^a, P. PARNAUDEAU^a, E. GONCALVES^a

a. ISAE-ENSMA, Institut Pprime, CNRS, Université de Poitiers, 86961 Chasseneuil, France
E-mail : lucas.menez@ensma.fr, marianne.beringhier@ensma.fr, philippe.parnaudeau@univ-poitiers.fr, eric.goncalves@ensma.fr

L'érosion de cavitation représente un problème majeur dans le cadre des applications d'ingénierie hydraulique et marine. Ce phénomène intervient lorsque des bulles de vapeur, générées par la cavitation, implosent au voisinage de parois solides. En effet, des ondes de pression brèves et de très forte intensité sont émises suite à cet événement et peuvent engendrer un endommagement du matériau. De nombreuses études ont été menées afin d'étudier le collapse de bulle proche d'une paroi plane [1, 2]. Il est également connu que le comportement du collapse de bulle est très dépendant de la géométrie de la paroi. Néanmoins, très peu d'études ont été réalisées dans le cas d'une paroi courbe. De plus, même à l'échelle de la bulle, une paroi n'est jamais plane en réalité. En effet, un matériau possède une rugosité intrinsèque et la paroi peut également présenter des aspérités dues à un endommagement antérieur. Le but de cette étude est d'étudier numériquement la possible accélération de l'érosion d'un matériau lorsque le collapse de bulle se produit au voisinage d'une paroi déjà endommagée.

Dans cette étude, la paroi endommagée est modélisée par une paroi plane comportant une crevasse courbe au niveau de la bulle de rayon initial R_0 . La bulle d'air est immergée dans de l'eau liquide et son centre est situé à une distance $2R_0$ de la paroi. Le collapse de la bulle est induit par une onde de choc normale incidente et les conditions de l'écoulement sont celles présentées par Wermelinger et al. [2]. Les simulations (2D) sont réalisées avec un solveur diphasique à interface diffuse compressible basé sur un modèle à quatre équations sans transfert de masse [3]. Les équations sont résolues sur un maillage cartésien et la paroi courbe est, par conséquent, modélisée par une méthode de pénalisation. Différents modèles de pénalisation pour les écoulements compressibles [4] sont validés et comparés dans le cas d'une paroi plane, puis l'un d'entre eux a été retenu dans la suite de l'étude pour des raisons de précision et de performance. La géométrie de la crevasse courbe est définie par sa hauteur R_c et par son rapport d'aspect $s = R_c/d_c$, avec d_c sa profondeur. Une étude paramétrique sur R_c et s a été réalisée afin d'observer l'influence de la topologie de la crevasse sur l'intensité des pics de pression à la paroi. Les résultats ont montré que les pics de pression pariétale sont toujours plus importants dans le cas d'une paroi avec crevasse que dans le cas d'une paroi plane. De plus, les situations les plus critiques apparaissent lorsque la hauteur et le rapport d'aspect de la crevasse diminuent. En effet, ces configurations mènent à de fortes interactions d'ondes de choc convergentes au sein de la crevasse, amplifiant considérablement leur amplitude. L'érosion de cavitation pourrait donc être fortement accélérée dans le cas d'une paroi déjà endommagée, par rapport à une paroi plane.

Mots clefs : Collapse de bulle, onde de choc, paroi courbe, méthode de pénalisation

Références

- [1] E. Johnsen, T. Colonius, Numerical simulations of non-spherical bubble collapse, *Journal of Fluid Mechanics*, 629 (2009) 231-262.
- [2] F. Wermelinger, U. Rasthofer, P.E. Hadjidoukas, P. Koumoutsakos, Petascale simulations of compressible flows with interfaces, *Journal of Computational Science*, 26 (2018) 217-225.
- [3] R. Dubois, E. Goncalves, P. Parnaudeau, High performance computing of stiff bubble collapse on CPU-GPU heterogeneous platform, *Computers & Mathematics with Applications*, 99 (2021) 246-256.
- [4] L. Ménez, E. Goncalves, P. Parnaudeau, D. Colombet, A comparison between IBM with feedback forcing and a volume penalization for compressible flows, *Proceedings of the 8th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, ECCOMAS2022, Oslo, Norway, 2022.*

Analyse asymptotique pour l'identification séquentielle des coefficients aérodynamiques d'un projectile gyrostabilisé.

T. TALLEC^a, F. DELVARE^a, C. GRIGNON^b, S. HEDDADJ^c, N. GRANGE^c

a. Normandie Univ, UNICAEN, CNRS, LMNO, 14000 Caen, France, e-mail : thomas.talleg@unicaen.fr

b. DGA techniques terrestres, rocade Est-Echangeur de Guerry, 18000 Bourges, FRANCE

c. Nexter Munitions, 7 route de Guerry, 18023 Bourges, FRANCE

1 Résumé

La connaissance des coefficients aérodynamiques d'un projectile permet de prédire son comportement en vol et ainsi de déterminer avec précision son point d'impact. De nos jours, plusieurs méthodes existent pour déterminer ces coefficients tels que : les essais en soufflerie, les calculs CFD, les tirs avec instrumentations embarquées... L'objectif de ce travail est de proposer une méthode d'identification des coefficients aérodynamiques d'un projectile gyrostabilisé à partir de données enregistrées par un radar de trajectographie situé au sol lors de tirs sans aucune instrumentation embarquée. Cette méthode doit être robuste afin d'utiliser des données réelles dont la qualité peut varier d'une mesure à l'autre. Nous proposons une méthode qui consiste en une identification séquentielle des différents coefficients aérodynamiques contrairement aux identifications simultanées présentées par H. Demailly [1] et V. Condaminet [2].

La méthode constituée de trois étapes est basée sur le modèle balistique Point Matériel Modifié (PMM) à 4 degrés de liberté proposé par Lieske et al [3] qui a ensuite été standardisé par l'OTAN [4]. Le principal atout de ce modèle est la prise en compte de la variation de l'angle d'attaque du projectile au cours de son vol qui lui permet de générer une bonne approximation de la trajectoire pour un coût de calcul limité.

La première étape consiste à effectuer un développement asymptotique à l'ordre 2 de l'accélération du modèle PMM après introduction d'un paramètre adimensionnel $\epsilon = (\omega_c I_1)/(mvD)$ afin d'obtenir les contributions de l'accélération aux différents ordres. La seconde étape réside en la détermination des modèles balistiques intermédiaires nécessaires à l'identification des coefficients ainsi que les équations permettant leurs corrections. Ces modèles sont obtenus par projection des termes de l'accélération à l'ordre 2 en ξ suivant trois directions bien choisies. La dernière étape est l'identification qui peut alors se faire de manière séquentielle permettant d'identifier les coefficients du plus influent au moins influent. Le principe général de la méthode d'identification consiste à rechercher le couple constitué des paramètres d'état et des coefficients aérodynamiques qui satisfait les équations du modèle balistique tout en se rapprochant au mieux de données issues de vols instrumentés. Cela nous amène à résoudre un problème non linéaire d'optimisation sous contraintes égalités, problème que nous avons traité avec la méthode de Newton-Raphson.

La validation de la méthode se fait en deux temps, le premier avec l'utilisation de données générées numériquement puis le second à partir de données recueillies par un radar de trajectographie lors des essais de tir.

Mots clefs : identification, coefficients aérodynamiques, développement asymptotique, méthode inverse, projectile gyrostabilisé

Références

- [1] H. Demailly, Identification des coefficients aérodynamiques d'un projectile à partir de mesures prises en vole, Thèse, Université d'Orléans, 2011.
- [2] V. Condaminet, Identification par méthode inverse des coefficients aérodynamiques d'un projectile à partir de l'observation de son vol, Thèse, Université de Caen, 2016.
- [3] R. F. Lieske, M. L. Reiter, Equations of Motion for a Modified Point Mass Trajectory, Ballistic Research Laboratories, Report No. 1314, March 1966.
- [4] STANAG 4355 (Edition 3), The Modified Point Mass and five Degrees of Freedom Trajectory Models, 2009.

Mécanique des matériaux

Élaboration d'un outil de diagnostic basé sur la micromécanique pour évaluer la durée de vie résiduelle des matériaux de chaussées

A. Achchoubi^{a,b}, C. Somé^a, J-F. Barthélémy^a, F. Hammoum^b, V. Mouillet^c

a. Cerema, Univ Gustave Eiffel, UMR MCD, F-77171 Sourdun, France

b. Université Gustave Eiffel, Laboratoire MIT, F-44344 Bouguenais, France + email (10)

c. Cerema, Univ Gustave Eiffel, UMR MCD, F-13100 Aix-en-Provence, France

Correspondance : abderrahim.achchoubi@cerema.fr

Résumé

Après leur mise en service, les chaussées sont exposées à différentes sollicitations mécaniques et climatiques entraînant une évolution de leurs propriétés mécaniques ainsi que leur détérioration croissante. L'endommagement par microfissuration des enrobés bitumineux ainsi que leur vieillissement comptent parmi les causes les plus courantes des dégradations précoces. Les diagnostics relatifs à la durée de vie résiduelle des chaussées ont montré qu'il n'est pas possible de dissocier l'endommagement et le vieillissement sans émettre des hypothèses simplificatrices majeures. Ce travail consiste à étudier les deux phénomènes en utilisant une approche micromécanique à partir d'une loi d'évolution des propriétés physico-chimiques induites par le vieillissement et d'une description de l'état d'endommagement par microfissuration de la structure de l'enrobé.

Le travail de recherche comporte à la fois des aspects expérimentaux : une étude du vieillissement thermo-oxydatif des enrobés bitumineux [1] avec différentes durées de vieillissement en mode accéléré en s'inspirant de la procédure de vieillissement partagée par la communauté de la RILEM. La réalisation d'une caractérisation rhéologique des mélanges vieillis et des liants extraits puis une identification du comportement rhéologique à l'aide de modèles viscoélastiques. Cela permet une quantification précise de l'évolution des propriétés rhéologiques avec le vieillissement. Parallèlement, le travail aborde des aspects numériques : un modèle multi-échelle [2] exploitant les schémas d'homogénéisation adaptés aux différentes phases de l'enrobé bitumineux ayant subi différents niveaux de vieillissement et présentant différents états de microfissuration a été mis en œuvre.

Finalement, une étude des effets mécaniques liés à la présence des microfissures dans l'enrobé bitumineux a été réalisée. Des essais rhéologiques ainsi que des essais de fluage et de relaxation ont été menés sur des matériaux bitumineux modèles contenant des défauts pour initier des microfissures uniformément réparties dans l'échantillon. Ces résultats expérimentaux sont utilisés pour évaluer les approches proposées au moyen du modèle micromécanique développée pour dissocier la part d'endommagement et la part du vieillissement dans les caractéristiques d'un matériau bitumineux ayant subi les deux phénomènes au cours de sa durée de vie sur site.

Mots clefs : enrobé, microfissuration, vieillissement, micromécanique, homogénéisation, viscoélasticité

Références

- [1] K. Mollenhauer, V. Mouillet, Re-road – End of Life Strategies of Asphalt Pavements. European Commission DG Research, 2011.
[2] S.C. Somé, J-F. Barthélémy, V. Mouillet, F. Hammoum, G. Liu, Effect of thermo-oxidative ageing on the rheological properties of bituminous binders and mixes: Experimental study and multi-scale modeling, Construction and Building Materials, Volume 344, 2022, 128260, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128260>.

Investigation des effets de taille sous chargements complexes par la dynamique des dislocations discrètes en 3D

Y. A. AMOUZOU-ADOUN^a, M. JEBABI^a, M. FIVEL^b, S. FOREST^c, J.S. LECOMTE^a, C. SCHUMAN^a,
F. ABED-MERAIM^a

a. Arts et Metiers Institute of Technology, CNRS, Université de Lorraine, LEM3, F-57000 Metz, France (yaovi.amouzou-adoun@ensam.eu)

b. Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, SIMaP, F-38000 Grenoble, France

c. Mines Paris, PSL University, Centre des matériaux (CMAT), CNRS UMR 7633, BP 87, 91003 Evry, France

Résumé

Bien qu'ayant des aspects intéressants dans la reproduction des effets de taille, les modèles de plasticité à gradient manquent encore de maturité afin d'être appliqués dans le monde industriel. En effet, sous des chargements non-proportionnels, la quasi-totalité des modèles de plasticité à gradient (de type Gurtin) prenant en compte la dissipation d'ordre supérieur («higher-order») entraînent des effets méconnus et qui n'ont pas été encore observés expérimentalement comme les dénomés «gaps élastiques» dont une illustration est faite à la figure 1a. Ces phénomènes consistent en un retard dans l'écoulement plastique suite à l'occurrence du changement infinitésimal des conditions aux limites. L'existence de ces gaps est largement discutée dans la littérature [1, 2]. Dans ce travail, la dynamique des dislocations discrètes (DDD) en 3D est employée dans le but d'étudier les effets de taille à l'échelle microscopique dans un monocristal soumis à des chargements proportionnels et non-proportionnels notamment de traction-compression-passivation, flexion-passivation. La dynamique des dislocations discrètes a montré sa capacité à reproduire les résultats expérimentaux comme l'effet «Hall-Petch», la forme non-convexe d'écroutissage non-linéaire de type III d'Asaro ou encore la plasticité recouvrable. Toutefois, sous chargements non-proportionnels, aucun signe de gaps élastiques n'est visible comme montré à la figure 1b pour la flexion-passivation. Cela constitue une de premières preuves sur la possible non-existence des gaps élastiques [3].

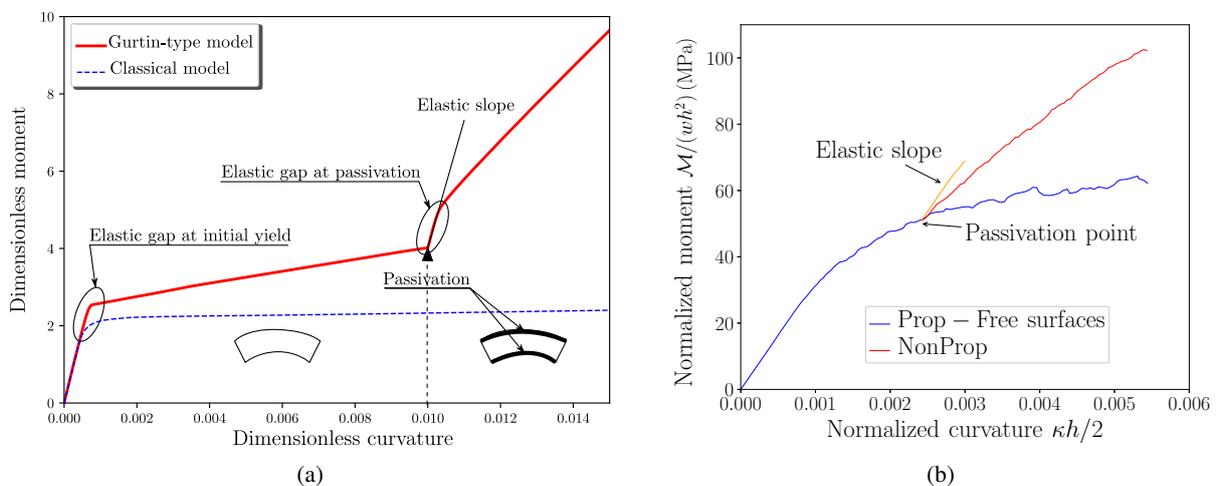


FIGURE 1 – Étude du gap élastique en flexion : (a) illustration d'un gap élastique ; (b) résultat DDD en flexion-passivation [3].

Mots clés : Plasticité à gradient, Effets de taille, Passivation, Gap élastique, Chargements non-proportionnels

Références

- [1] N. A. Fleck, J. W. Hutchinson, and J. R. Willis. Strain gradient plasticity under non-proportional loading. *Proceedings of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 470, 2014.
- [2] Mohamed Jebahi and Samuel Forest. An alternative way to describe thermodynamically-consistent higher-order dissipation within strain gradient plasticity. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 170 :105103, 2023.
- [3] Yaovi Armand Amouzou-Adoun, Mohamed Jebahi, Marc Fivel, Samuel Forest, Jean-Sebastien Lecomte, Christophe Schuman, and Farid Abed-Meraim. On elastic gaps in strain gradient plasticity : 3d discrete dislocation dynamics investigation. *Acta Materialia*, 252 :118920, 2023.

Vers une géométrie modèle pour la mise en forme de renforts de composites

R.Azzouz^a, S.Allaoui^a

a. ITheMM (EA 7548), University of Reims Champagne-Ardenne,
e-mail : rym.azzouz@univ-reims.fr , samir.allaoui@univ-reims.fr

Résumé :

L'intégration des matériaux composites en tant que matériaux alternatifs a généré un intérêt majeur dans différents domaines en raison de leurs propriétés supérieures à celles des matériaux classiques, d'où le besoin de mieux comprendre et de maîtriser les procédés de mise en œuvre des matériaux composites. L'un des procédés les plus utilisés est le LCM (Liquid Composite Moulding), qui nécessite de former les renforts à des géométries complexes. Cette étape est critique, à cause des différents comportements des renforts et des défauts [1] qui entraînent une dégradation des propriétés mécaniques et les performances globales du composite [2].

Ces défauts peuvent être affectés par les paramètres de procédé (la pression, la vitesse...), la géométrie, ainsi que le type de renfort utilisé. Et l'un des facteurs importants qui influence l'apparition des défauts est la géométrie de la préforme. Plusieurs variantes de géométries [3,4] ont été utilisées pour étudier la mise en forme, qui ont souvent été menées sur la mise en forme d'un seul renfort sur une seule géométrie, ce qui rend la synthèse et la comparaison complexes.

Ce travail présente une étude expérimentale qui compare les différents comportements et défauts générés par 5 différentes géométries sélectionnées avec 3 différents types de renforts [5]. Chacune de ces géométries a montré des comportements, et des défauts à différentes amplitudes et localisations qui ont été corrélés avec les détails géométriques.

Les résultats de cette comparaison ont amené à proposer des géométries qui reprennent une combinaison de détails intéressants dans les 5 géométries. L'objectif de cette géométrie est de reproduire les comportements et les mécanismes des défauts avec une variation d'amplitude qui permet de discriminer la formabilité des renforts. Des combinaisons ont été établies et des essais de mise en forme ont été menés et ont permis de converger vers une géométrie modèle. Cette géométrie offre une large gamme d'angles de cisaillement et elle a réussi à recréer divers mécanismes de défauts à différentes amplitudes et à comparer la formabilité des 3 renforts, générée précédemment par l'ensemble des 5 géométries.

Mots clefs : Composite, Défauts, Formabilité, Mise en forme, Renfort textile

Références

- [1] Azzouz R, Allaoui S, Moulart R. Composite preforming defects: a review and a classification. *Int J Mater Form* 2021;1–32. <https://doi.org/10.1007/s12289-021-01643-7>.
- [2] Mukhopadhyay S, Jones MI, Hallett SR. Tensile failure of laminates containing an embedded wrinkle; numerical and experimental study. *Compos Part A Appl Sci Manuf* 2015;77:219–28. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.07.007>.
- [3] Allaoui S, Boisse P, Chatel S, Hamila N, Hivet G, Soulat D, et al. Experimental and numerical analyses of textile reinforcement forming of a tetrahedral shape. *Compos Part A Appl Sci Manuf* 2011;42:612–22. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2011.02.001>.
- [4] Boisse P, Colmars J, Hamila N, Naouar N, Steer Q. Bending and wrinkling of composite fiber preforms and prepregs. A review and new developments in the draping simulations. *Compos Part B Eng* 2018;141:234–49. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.12.061>.
- [5] Azzouz R, Allaoui S. Effect of the Geometries on the Fabric's Formability. *Key Eng Mater* 2022;926 KEM:1336–42. <https://doi.org/10.4028/p-12qw7i>.

Prédiction de la rupture ductile de l'acier inoxydable austénitique AISI 304L lors de l'essai Erichsen.

K. Ben Othman^a, P.Y. Manach^b, K. Elleuch^a

a. LGME, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, Route Soukra Km 3.5 B.P. 1173 3038 Sfax, Université de Sfax, Tunisia, benothmen_kh@hotmail.fr, khaled_elleuch@yahoo.fr

b. Univ. Bretagne Sud, FRE CNRS 3744, IRDL, F-56100 Lorient, France, pierre-yves.manach@univ-ubs.fr

1 Introduction

L'objectif de cette étude est de prédire la rupture de l'acier inoxydable austénitique AISI 304L lors d'un essai Erichsen. Une approche expérimentale et numérique combinée a été utilisée, impliquant des essais de traction monotones jusqu'à la rupture pour calibrer les paramètres de plusieurs critères de rupture macroscopiques. Les résultats des simulations numériques ont été comparés aux résultats expérimentaux, démontrant que les critères de rupture de Rice-Tracey [1] et Brozzo [2] sont des prédicteurs fiables de l'amorçage de la rupture dans l'essai Erichsen de l'AISI 304L. En particulier, le critère de Rice-Tracey s'est avéré être le plus efficace pour prédire la rupture ductile dans ce cas précis.

2 Instructions

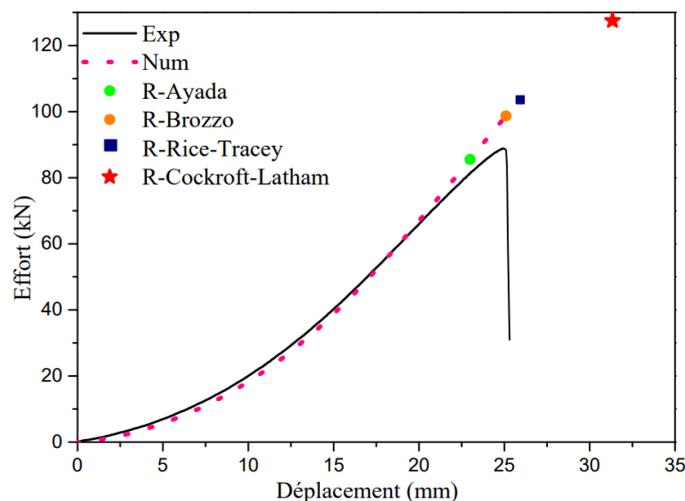


Figure : Comparaison des courbes effort-déplacement expérimentale et numérique de l'essai Erichsen (R désigne le point de rupture)

Mots clefs : Rupture ; AISI 304L ; Essai Erichsen ; Essai de traction ; Critère de rupture.

Références

- [1] JR. Rice and DM. Trace, On the ductile enlargement of voids in triaxial stress fields, J Mech Phys Solids 17(1969) 201–17.
[2] P. Brozzo, B. Deluca and R. Rendina, A new method for the prediction of formability in metal sheets, Proceedings of the 7th Biennial conference of IDDRG, 1972.

Caractérisation aux petites échelles de l'interface fibre/matrice de matériaux composites biosourcés

F. BOUTENEL^a, S. TAHRI^a, V. PLACET^a

a. SUPMICROTECH, Université de Franche-Comté, CNRS, Institut FEMTO-ST, F-25000 Besançon, France
florian.boutenel@femto-st.fr, sofyan.tahri@femto-st.fr, vincent.placet@femto-st.fr

1 Contexte et objectifs

En lien avec la transition écologique et énergétique, les composites biosourcés, intégrant des renforts issus de plantes annuelles, constituent des candidats majeurs pour les applications structurales et multifonctionnelles de demain [1]. En outre, l'interface entre la fibre et la matrice est le siège de fortes interactions pouvant avoir une influence significative au niveau du comportement macroscopique du composite [2]. La compréhension et la maîtrise de ces phénomènes sont donc nécessaires pour pouvoir optimiser les performances mécaniques et la durabilité de ces matériaux. L'objectif de cette étude est ainsi de contribuer à la caractérisation du comportement aux petites échelles de l'interface fibre/matrice de matériaux composites biosourcés (fibre de lin/matrice époxy). Pour cela, il s'agit de mettre en place des méthodes de caractérisation [3] permettant d'investiguer finement les variations de propriétés physiques, chimiques et mécaniques au niveau de l'interface.

2 Méthodes et résultats

Plusieurs techniques de caractérisation ont été considérées afin d'identifier celles qui sont adaptées aux phénomènes physiques étudiés et aux échelles investiguées. En particulier, des analyses MEB-EDS (microscope électronique à balayage couplé à une sonde de spectroscopie à dispersion d'énergie) ont permis de déterminer des marqueurs chimiques spécifiques et d'évaluer leurs répartitions massiques dans les différents constituants du matériau. De plus, un gradient de propriétés mécaniques peut être mis en évidence à partir des essais de nanoindentation (Figure 1). En effet, des variations du module d'Young sont observées au sein de la fibre, du fait de sa structure complexe regroupant plusieurs parois, mais surtout au niveau de l'interface. Ces premiers résultats visent à établir des liens entre la composition physico-chimique et la non-uniformité des propriétés mécaniques.

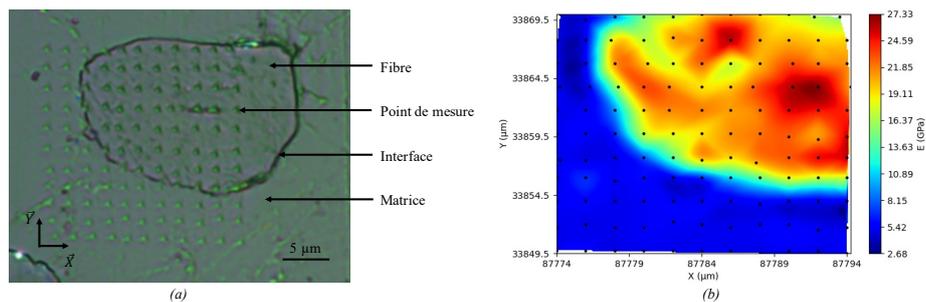


Figure 1 : Essai de nanoindentation sur un composite unidirectionnel fibre de lin/matrice époxy
 (a) Microstructure – (b) Cartographie du module d'Young obtenue par interpolation cubique

Mots clés : Composites renforcés de fibres naturelles, Comportement physico-chimique et mécanique, Propriétés locales, Méthodes expérimentales

Références

- [1] A. Bourmaud *et al.*, Towards the design of high-performance plant fibre composites, *Progress in Materials Science* 97 (2018) 347-408.
- [2] T. Liu, Multi-scale damping characterization of plant fiber composite materials, Thèse, Université Bourgogne Franche-Comté, 2021.
- [3] S. Huang *et al.*, Characterization of interfacial properties between fibre and polymer matrix in composite materials – A critical review, *Journal of Materials Research and Technology* 13 (2021) 1441-1484.

Modélisation numérique du comportement mécanique d'un sol partiellement saturé par une approche DEM-LBM couplée

R. Bouchard^a, N. Younes^{a,d}, O. Millet^a, A. Wautier^c, I. Stefannou^e

a. LaSIE UMR CNRS7 7356, Université de La Rochelle, France, raphael.bouchard@univ-lr.fr

c. INRAE, Unité de Recherche RECOVER, Aix-en-Provence, France

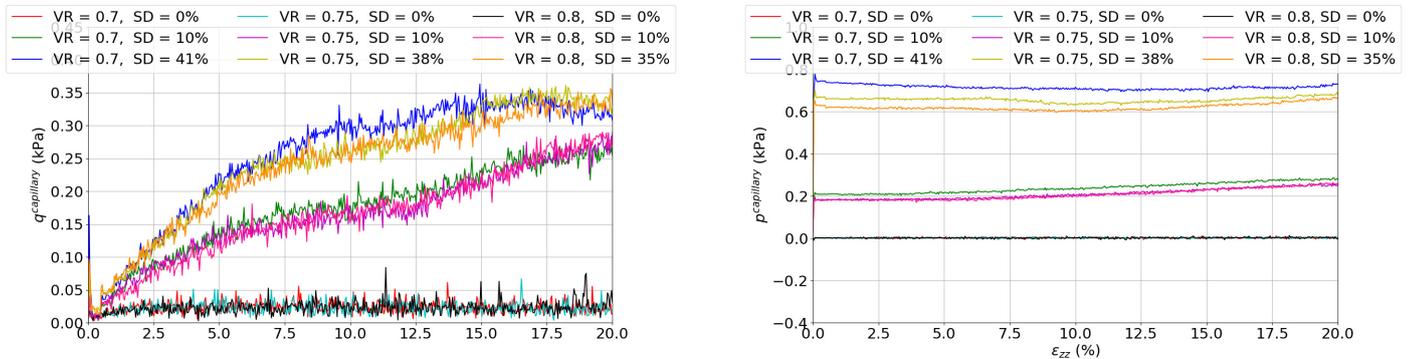
d. Schulich School of Engineering, University of Calgary, Canada

e. GeM, UMR CNRS 6183, Ecole Centrale Nantes, Nantes Université, Nantes, France

Résumé

Le comportement mécanique d'un assemblage granulaire 3D soumis à des cycles de saturation/désaturation est encore mal compris. En particulier, la transition de régime pendulaire-finiculaire et la coalescence des ponts capillaires associés modifie de façon importante son comportement mécanique.

Nous proposons dans ce travail une approche DEM-LBM couplée en GPU [1, 2, 3], permettant de simuler le comportement d'un assemblage granulaire partiellement saturé soumis à différents degrés de saturation. En particulier, le code développé permet de simuler un essai triaxial drainé atteignant 20% de déformation en 1h environ, en prenant en compte précisément les forces capillaires à l'intérieur de l'échantillon. Les simulations présentées (figures 1a) ont été réalisées pour des indices de vide initiaux allant de 0.8 à 0.7, les échantillons étant initialement confinés à une pression de 5kPa. L'influence des ponts capillaires et des forces capillaires associées au niveau microscopique sur le comportement mécanique de l'échantillon est clairement mis en évidence. De plus les simulations numériques réalisées et la modélisation utilisée permettent de calculer précisément les contraintes uniquement dues aux effets capillaires (fig. 1b)



(a) Évolution de la contrainte déviatorique due à l'eau pour des échantillons ayant des taux de vides différents et des degrés de saturations différents

(b) Évolution de la contrainte moyenne due à l'eau pour des échantillons ayant des taux de vides différents et des degrés de saturations différents

FIGURE 1 — Évolution de la contrainte deviatorique et de la contrainte moyenne due aux forces capillaires uniquement pour des échantillons possédant des indices de vide (VR) et des degrés de saturations (SD) différents.

Mots clefs : DEM - LBM - 3D - GPU - milieux granulaires partiellement-saturés - ponts capillaires

Références

[1] Z. Benseghier, O. Millet, P. Philippe, A. Wautier, N. Younes, and E. Liberge. Relevance of capillary interfaces simulation with the shan-chen multiphase lb model. *Granular Matter*, 24(3) :1–18, 2022.

[2] N. Younes, Z. Benseghier, O. Millet, A. Wautier, F. Nicot, and R. Wan. Phase-field lattice boltzmann model for liquid bridges and coalescence in wet granular media. *Powder Technology*, page 117942, 2022.

[3] N. Younes, A. Wautier, R. Wan, O. Millet, F. Nicot, and R. Bouchard. DEM-LBM coupling for partially saturated assemblies. Preprint submitted to *Computers and Geotechnics*.

Influence de la température et de différents protocoles de vieillissement sur le comportement et les mécanismes d'endommagement d'un polypropylène renforcé de fibres courtes de chanvre

Q. BOURGOGNE ^{a*}, M. ABIDA ^b, V. BOUCHART ^b

a. Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz (ENIM), 57078, Metz, France

b. Université de Lorraine, CNRS, ENIM, LEM3, F-57000, Metz, France

quentin.bourgogne@univ-lorraine.fr

Les problématiques climatiques étant au cœur des enjeux de notre époque, l'industrie entreprend de profonds changements afin de limiter l'émission de gaz à effet de serre. Un des moyens de limiter ces émissions réside dans l'allègement des structures. C'est dans ce contexte que se développe et se démocratise l'utilisation de bio-composites, à base de fibres végétales. Ces fibres étant plus sensibles à l'environnement de sollicitation que les fibres synthétiques, une caractérisation et une modélisation de ces conséquences représentent un enjeu majeur pour le dimensionnement de pièces mécaniques avec ces matériaux.

Cet exposé présente une étude de sensibilité du comportement mécanique de polypropylène renforcé de fibres courtes de chanvre obtenus par injection pour différentes fractions de fibres, et testés en traction en fonction de différentes configurations de sollicitation et de vieillissement. Un vieillissement naturel préliminaire de 8 ans à l'air libre a montré une diminution des propriétés de la matrice et du renfort, avec un effet plus marqué sur le chanvre, en comparant son comportement avec celui obtenu il y a 8 ans [1]. Différents vieillissements hydriques ont ensuite été imposés aux échantillons, comprenant de l'immersion à température ambiante, à 40°C ainsi qu'en enceinte climatique.

Le suivi de la cinétique d'absorption a montré une absorption plus rapide pour une immersion à 40°C. Des essais de traction effectués tout au long du processus de vieillissement ont montré une décroissance des propriétés proportionnelle au taux d'absorption. Une stabilisation du comportement a cependant été observée à partir d'un certain taux absorbé, inférieur à l'absorption maximale du matériau. Ce taux d'absorption critique a été observé pour tous les taux de fibres testés et une perte totale de l'intérêt du renfort sur le comportement mécanique a été observée au-delà de ce taux. Afin d'expliquer l'origine de ce phénomène, des observations au MEB et par spectrométrie ont été effectuées. Si le gonflement des fibres observé pour des taux de renfort élevé peut en partie expliquer ce phénomène, la cohésion des fibres pour les grades moins renforcés reste très satisfaisante de par la faible diffusion de l'eau dans le polypropylène, et ne permet donc pas d'expliquer à lui seul l'origine de ce taux d'absorption critique. L'étude au spectromètre infrarouge a permis d'identifier des pics caractéristiques du chanvre sur les échantillons vieillis, absents du spectre des grades non vieillis. La faible pénétration de l'infrarouge dans l'épaisseur de l'échantillon a donc montré la présence de chanvre en surface de l'échantillon vieilli. Ainsi, plus que la décohésion fibre/matrice lié au gonflement des fibres, la baisse des propriétés jusqu'à perte de l'effet renforçant est dû à une décohésion des fibrilles composant les fibres elles-mêmes, menant à une dissolution de celles-ci.

Mots clefs : Composite bio-sourcé ; Chanvre ; Vieillissement naturel ; Vieillissement hydrique ; Essais thermomécaniques ; MEB ; Spectrométrie infrarouge

Références

[1] Gehring, F., Bouchart, V., Dinartz, F., & Chevrier, P. (2012). Microstructure, mechanical behaviour, damage mechanisms of polypropylene/short hemp fibre composites: experimental investigations. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(22), 1576-1585.

Modèle réduit pour l'identification du coefficient de frottement lors d'une opération de forgeage basé sur les courbes de Bézier et l'apprentissage automatique

J. CAICEDO^a, C. DURAND^a, C. BAUDOIN^a, R. BIGOT^a

a. Arts et Métiers Institute of Technology, Université de Lorraine, LCFC, HESAM Université, F-57070 Metz, France, jose_david.caicedo_bohorquez@ensam.eu, camille.durand@ensam.eu, cyrille.baudouin@ensam.eu, regis.bigot@ensam.eu

1 Résumé

Dans le cadre du forgeage, la modélisation des conditions de contact à l'interface outil-matière revêt une importance capitale pour définir une gamme de fabrication, cependant, elle pose plusieurs difficultés. Actuellement, diverses méthodes sont utilisées pour identifier le coefficient de frottement lors d'une opération de compression uniaxiale [1]–[4]. Néanmoins, les méthodes existantes présentent des limitations liées à la reproduction précise de l'opération, à la mesurabilité des paramètres d'essai ou à des hypothèses fortes, introduisant une incertitude dans les prédictions. Une nouvelle méthodologie est proposée afin de développer un modèle réduit pour l'identification du coefficient de frottement lors d'une opération de refoulement à froid d'un lopin cylindrique, à l'aide d'une paramétrisation géométrique de la pièce avec des courbes de Bézier. Ici la machine de forgeage utilisée est une presse à vis. Ce modèle permet de prédire le coefficient de frottement dans diverses conditions de lubrification, avec une erreur relative moyenne de 4%, sans qu'il soit nécessaire d'usiner une pièce complexe ou d'avoir des capteurs installés sur la presse.

2 Synthèse de la méthodologie

Afin de construire un modèle réduit axé sur les données (modèle de substitution), une méthodologie comprenant quatre étapes principales a été proposée (Figure 1). Le coefficient de frottement est identifié uniquement par la géométrie de la pièce, en se basant principalement sur le bombé latéral engendré, paramétrisé au moyen des courbes de Bézier. Le modèle est entraîné à partir d'une base de 3300 données générée grâce aux résultats des 275 simulations par éléments finis, en appliquant des techniques d'apprentissage automatique.

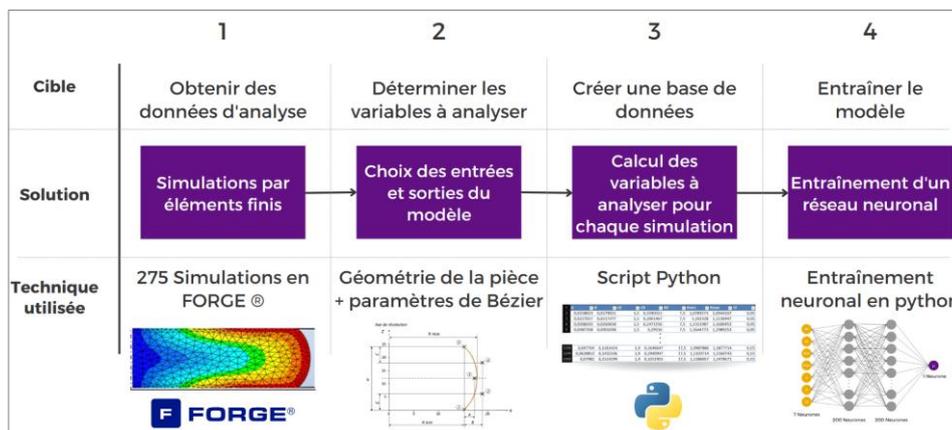


Figure 1. Méthodologie de construction d'un modèle réduit pour identifier le coefficient de frottement en forgeage.

Mots clefs : Frottement, compression uniaxiale, courbe de Bézier, Apprentissage automatique, Analyse par éléments finis, modèle réduit.

Références

- [1] M. Kunogi, « A New Method of Cold Extrusion », *Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng.*, vol. 23, n° 134, p. 742-749, 1957, doi: 10.1299/kikai1938.23.742.
- [2] Chenot, « Méthode des tranches », *Techniques de l'Ingénieur*, avr 1991. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-mise-en-forme-des-metaux-et-fonderie-tiamc/archive-1/methodes-de-calcul-en-plasticite-m595/methode-des-tranches-m595niv10001.html> (consulté le 30 mai 2023).
- [3] S. Khoddam, M. Fardi, et S. Solhjoo, « A verified solution of friction factor in compression test based on its sample's shape changes », *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 193, p. 106175, mars 2021, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2020.106175.
- [4] A. Partovi, H. Wang, B. Sadeghi, et P. Wu, « A machine learning approach for determination of coefficient of friction from ring compression test », *Tribol. Int.*, vol. 180, p. 108198, févr. 2023, doi: 10.1016/j.triboint.2022.108198.

Modélisation multi-échelle pilotée par les données de structures lattices obtenues par fabrication additive.

C. COURT^a, E. MARENIC^a, J.C. PASSIEUX^a

a. Institut Clément Ader (ICA), Université de Toulouse, INSA-ISAE-Mines Albi-UPS-CNRS, Toulouse, France
clement.court@insa-toulouse.fr

Résumé

Les matériaux cellulaires architecturés, et en particulier les structures *lattices*, présentent un rapport rigidité sur masse particulièrement intéressant pour des applications dans le domaine de l'aéronautique ou du spatial. Ces structures, auparavant difficiles à produire en raison de leur complexité, sont maintenant plus accessibles grâce aux progrès de la fabrication additive métallique [1].

Cependant, le comportement de ces structures peut s'avérer difficile à prédire par des méthodes classiques de calcul par éléments finis à cause de leur aspect *multi-échelle*. De plus, le procédé de fabrication additive (e. g. SLM) est source de défauts qui conduisent à des différences géométriques entre les configurations théoriques (Fig. 2) et telles que fabriquées (Fig. 3) et ainsi à des différences significatives de leur comportement mécanique [4]. Ces différences ne sont en général pas prises en compte par les approches de calcul multi-échelle telles que FE² [2] qui font l'hypothèse que les cellules fabriquées sont identiques aux cellules théoriques.

Pour étudier ces différences de comportement, l'approche *pilotée par les données* [3], combinée avec l'approche FE² [2], est particulièrement adaptée à ce type de problème multi-échelle car son coût de calcul est moindre que celui de la méthode FE² [5].

Dans ce travail, en nous appuyant sur la tomographie à rayons X d'échantillons fabriqués (Fig. 1), nous avons construit un jumeau numérique de la structure fabriquée (Fig. 3). Les 2 configurations seront utilisées comme VER pour générer des bases de données de comportement matériau qui se substitueront à la loi constitutive [3]. Le principal défi de cette approche réside dans la génération des points de données du matériau, laquelle s'appuie sur des simulations à l'échelle microscopique qui peuvent s'avérer nombreuses et coûteuses. L'objectif est d'apprendre comment les défauts de fabrication influencent le comportement mécanique dans le cadre du paradigme *piloté par les données*.

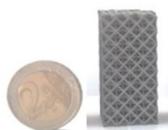


FIGURE 1 – Échantillon fabriqué par SLM

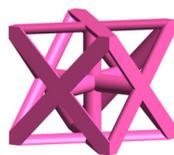


FIGURE 2 – Cellule théorique

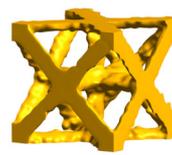


FIGURE 3 – Cellule telle que fabriquée

Mots clés : matériaux cellulaires, data driven, modélisation, multi échelle, lattice, SLM, fabrication additive

Références

- [1] B. Blakey-Milner, P. Gradl, G. Snedden, M. Brooks, J. Pitot, E. Lopez, M. Leary, F. Berto, and A. du Plessis. Metal additive manufacturing in aerospace : A review. *Materials & Design*, 2021.
- [2] F. Feyel and J.-L. Chaboche. Fe² multiscale approach for modelling the elastoviscoplastic behaviour of long fibre sic/ti composite materials. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2000.
- [3] T. Kirchdoerfer and M. Ortiz. Data-driven computational mechanics. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2016.
- [4] L. Liu, P. Kamm, F. García-Moreno, J. Banhart, and D. Pasini. Elastic and failure response of imperfect three-dimensional metallic lattices : the role of geometric defects induced by Selective Laser Melting. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 2017.
- [5] R. Xu, J. Yang, W. Yan, Q. Huang, G. Giunta, S. Belouettar, H. Zahrouni, T. B. Zineb, and H. Hu. Data-driven multiscale finite element method : From concurrence to separation. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2020.

Effet de la température et de la teneur en eau sur le comportement mécanique du bois

H. DAHER^{a,b}, S. CARE^a, G. FORET^a, L. PAYET^b

a. Laboratoire Navier, Université Gustave Eiffel, ENPC, CNRS (UMR 8205), F-77455 Marne-la-Vallée, France

b. CSTB, 84 Avenue Jean Jaurès, 77420 Champs-sur-Marne, France. Email : hussein.daher@cstb.fr

1 Introduction

Le bois est un matériau hygroscopique, c'est-à-dire qu'il peut absorber ou désorber de l'eau en fonction de l'humidité relative de l'air ambiant. Cela peut modifier sa masse volumique, ses dimensions mais également ses propriétés mécaniques (résistances et modules). Selon l'approche proposée dans l'Eurocode 5 [1], la résistance en compression à 100°C est inférieure de 25% de celle à 20°C, mais l'effet de la teneur en eau dans le bois n'est pas précisé. Des essais préliminaires menés en 2020 au CSTB [2] ont montré pour la plage de température 20-100°C qu'au-delà de la température, la résistance en compression était surtout affectée par la teneur en eau du bois. A 100°C, la résistance en compression, pour une masse sèche, est presque identique à la résistance initiale à 20°C. Elle est d'environ 60% de la résistance initiale pour une éprouvette avec une teneur en eau d'environ 10%. Il est donc nécessaire d'étudier l'influence de la température et de la teneur en eau sur la résistance en compression du bois afin de mieux comprendre le comportement du bois dans différentes conditions d'humidité et de température, pour une bonne utilisation du bois dans les ouvrages.

2 Essais de compression pour différentes conditions hydriques et thermiques

Les essais sont réalisés d'une part avec du bois massif (bois de sapin) de différentes provenances pour étudier l'effet de la variabilité du bois et d'autre part avec du lamellé-collé (classe GL24H) pour différentes conditions hydriques et thermiques. La Figure 1 montre l'évolution des propriétés mécaniques du bois lamellé-collé (résistance et module longitudinal) en fonction de la température (20-150°C) dans différentes conditions hydriques. L'augmentation de la température et la diminution de la teneur en eau ont un effet opposé sur la résistance et la rigidité du bois.

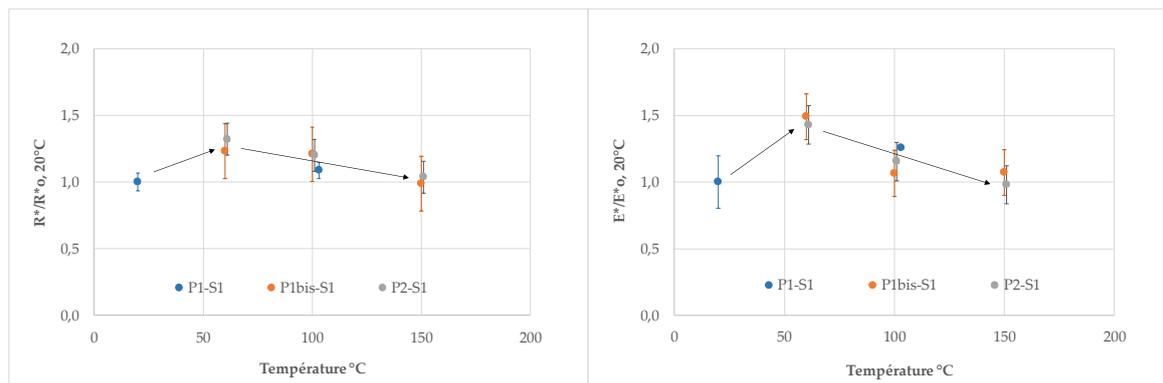


Figure 1 : Résistance et module d'Young longitudinal à différentes températures (20-150°C) pour différentes conditions hydriques

Mots clefs : Bois, Température, Humidité, Compression axiale, Eurocode 5

Références

[1] Eurocode 5, Conception et calcul des structures en bois, NF EN 1995-1-1,2. 2005.

[2] Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828. CSTB, Etude de la résistance en compression en fonction de la température du matériau bois – épicéa, 2020.

Vieillessement par thermo-oxydation des polymères exposés à des écoulements rapides.

Caractérisation expérimentale et modélisation des couplages.

A. DORIAT^{a,*}, M. GIGLIOTTI^a, M. BERINGHIER^a, G. LALIZEL^a, E. DORIGNAC^a, P. BERTERRETCHÉ^a, M. MINERVINO^b

a. Institut Pprime, BP 40109 – 86961 Chasseneuil Futuroscope, France

b. Safran Aircraft Engine, 77550 Moissy Cramayel Cedex - France

*. aurelien.doriat@ensma.fr

Les matériaux composites à matrice polymère (PMC) sont de plus en plus utilisés et notamment dans des conditions environnementales difficiles. Il est alors nécessaire de maîtriser le processus de vieillissement du composite. Ce travail aborde un type de vieillissement environnemental : la thermo-oxydation. C'est le processus de diffusion-réaction de l'oxygène au sein du réseau moléculaire de la matrice polymère à haute température (autour de la température de transition vitreuse). Ce phénomène est strictement lié aux conditions environnantes (température, pression partielle d'oxygène, ...) et conduit à une dégradation du matériau, une fragilisation et une rupture prématurée. Lors de cette oxydation, une couche oxydée d'une épaisseur variable (de l'ordre de quelques centaines de micromètres) se forme dans le matériau. Ce gradient d'oxydation est le siège d'un gradient de propriété mécanique qu'il convient de caractériser expérimentalement et de modéliser.

Dans ses nombreuses utilisations industrielles, les PMC sont soumis à des conditions aérothermiques de vitesses et de températures très importantes. Toutefois, jusqu'à présent, la thermo-oxydation des PMC n'a été étudiée qu'en effectuant des tests de vieillissement en laboratoire dans un four, c'est-à-dire en reproduisant artificiellement les conditions environnementales statiques mais sans tenir compte de l'environnement aérothermique rencontré par certaines structures. Le défi est donc de caractériser et de modéliser le vieillissement thermo-oxydant d'un PMC soumis à un flux aérothermique important et d'étudier l'influence de ces conditions sur son vieillissement. Dans ce cadre, une température d'écoulement de 150°C et une vitesse d'écoulement transsonique (Mach 0,9) ont été appliquées comme conditions environnementales dans la soufflerie d'essais BATH de l'institut P'. Des mesures de référence en four (vitesse d'écoulement nulle) ont également été réalisées et des comparaisons pourront alors être faites pour connaître la contribution et les couplages avec l'écoulement dans le vieillissement.

Du point de vue expérimental, deux diagnostics seront utilisés dans ce travail : la mesure de rugosité afin de quantifier la dégradation à l'interface entre l'environnement et le polymère ainsi que la nano-indentation dans une coupe de l'échantillon afin de caractériser les propriétés mécaniques de la couche oxydée.

Du point de vue de la modélisation, l'oxydation est décrite par un système de réactions chimiques entraînant une modification de la composition moléculaire. A partir de la modélisation chimique proposée par X. Colin [1], un autre enjeu de ce travail est de coupler les modifications chimiques aux changements de propriétés mécaniques du matériau oxydé. Également, il est nécessaire d'estimer la nouvelle condition au limite en oxygène en présence d'un écoulement (mesure in-situ impossible). Une stratégie d'identification a alors été mise en place en se basant sur des mesures d'indentation et le modèle chimique.

L'accent lors de la présentation sera mis sur l'identification de la condition aux limites et le couplage entre la chimie et les propriétés mécaniques.

Mots clefs : vieillissement, oxydation, polymère, couplage fluide-structure, modélisation

Références

- [1] X.Colin, F.Essatbi, J.Delozanne, G.Moreau, Towards a general kinetic model for the thermal oxidation of epoxy-diamine networks. Effect of the molecular mobility around the glass transition temperature, *Polymer Degradation and Stability*, (2020) 181(109314).

Prédictions des propriétés électro-élastiques d'un composite à base du PVDF/CNT

S.ELBARNATY^{a*}, JPM.CORREIA^a, W.AZOTI^a

a. Laboratoire ICUBE, Equipe MMB, Université de Strasbourg

*salah.elbarnaty@etu.unistra.fr

1 Résumé

Le Polyfluorure de Vinilydène (PVDF) est connu par sa grande capacité piézoélectrique et sa fragilité mécanique, d'où la nécessité de le renforcer par un autre matériaux plus rigide (Ex : Nanotube de Carbon CNT). Dans ce travail, une modélisation des propriétés moyennes d'un composite piézoélectrique (PVDF/CNT) est proposée. La modélisation a été initiée en calculant numériquement les tenseurs d'Eshelby pour le cas général d'une matrice anisotrope. Les tenseurs d'Eshelby ont ensuite été introduits dans un code MATLAB pour être utilisés dans l'étude d'homogénéisation. Deux méthodes différentes ont été utilisées à cet égard : Mori-Tanaka MT (Modèle semi-analytique) et la méthode des Eléments Finis EF (Modèle numérique). Le schéma MT a été introduit dans un code MATLAB puis validé en comparant les différentes propriétés électro-élastiques approximées de certains composites piézoélectriques de la littérature. Des résultats numériques ont été obtenus pour une matrice piézoélectrique du (PVDF) renforcée par des CNT pour des inclusions cylindriques alignées ou dispersées aléatoirement dans la matrice du PVDF. Les résultats finalement ont été comparées avec un modèle EF réalisé sur ABAQUS.

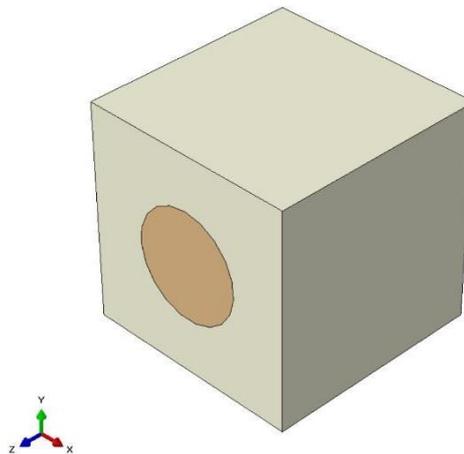


Figure 1 – Elément de volume représentatif (RVE) du modèle FEM utilisé sur ABAQUS

Mots clefs : Mori-Tanaka, Homogénéisation, Elément Finis, Polyfluorure de vinilydène, Nanotubes de Carbon

Références

- [1] M. L. Dunn and M. Taya, "Micromechanics predictions of the effective electroelastic moduli of piezoelectric composites," *Int. J. Solids Struct.*, vol. 30, no. 2, pp. 161–175, 1993, doi: 10.1016/0020-7683(93)90058-F.M.N. Ozisik, *Radiative transfer and interactions with conduction and convection*, John Wiley and Sons, New York, 1973.
- [2] G. M. Odegard, "Constitutive modeling of piezoelectric polymer composites," *Acta Mater.*, vol. 52, no. 18, pp. 5315–5330, 2004, doi: 10.1016/j.actamat.2004.07.037.

Intelligence Artificielle pour la Modélisation multi-échelle des structures composites

M. EL FALLAKI IDRISSI ^{a,b}, F. PRAUD ^a, F. MERAGHNI ^a, F. CHINESTA ^b

a. Arts et Métiers Institute of Technology, CNRS, LEM3-UMR 7239, 57078 Metz, France.

francis.praud@ensam.eu

fodil.meraghni@ensam.eu

b. ESI Chair, Arts et Métiers Institute of Technology, CNRS, PIMM-UMR 8006, 75013 Paris, France.

mohammed.el_fallaki_idrissi@ensam.eu

francisco.chinesta@ensam.eu

Résumé

Bien que les matériaux composites se développent rapidement dans divers domaines de l'ingénierie, leur mise en œuvre est souvent entravée par des difficultés à prédire leur comportement mécanique. Ce problème est principalement dû à la nature hétérogène de ces matériaux. Pour y remédier, les approches multi-échelles se révèlent appropriées pour déterminer leur réponse macroscopique sur des trajets de chargement complexes tout en intégrant la description de sa microstructure ainsi que les lois constitutives de ses composants [1, 2]. Cependant, l'utilisation d'un modèle multi-échelle dans le cadre d'applications industrielles reste coûteuse en termes de calcul, comme le cas des analyses FE^2 [3]. Pour pallier cette limitation, le présent travail propose une approche alternative reposant sur les principes de la thermodynamique et les réseaux de neurones (ANN) [4, 5] (Figure 1). Cette approche permet d'apprendre une relation constitutive à l'échelle macroscopique en se basant sur des analyses multi-échelles, afin de décrire à la fois les lois d'état et les lois d'évolution de ces matériaux. La méthode proposée est appliquée au cas des composites tissés en prenant en compte à la fois l'endommagement et les déformations inélastiques de leurs composants.

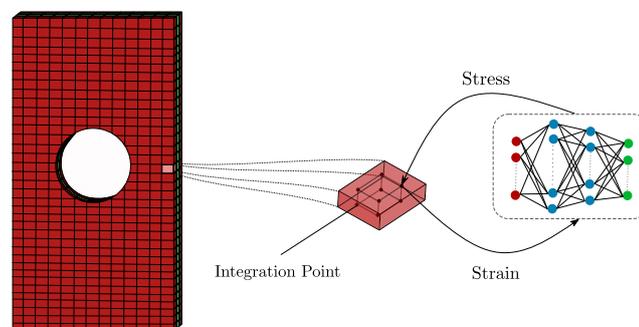


FIGURE 1 – From FE^2 to FE-ANN

Mots clefs : Composites tissés, Modélisation multi-échelle, FE-ANN, Plasticité, Endommagement.

Références

- [1] G. Chatzigeorgiou, F. Meraghni, N. Charalambakis, « Multiscale Modeling Approaches for Composites », Elsevier, 2022.
- [2] F. Praud, G. Chatzigeorgiou, F. Meraghni, Fully integrated multi-scale modelling of damage and time-dependency in thermoplastic-based woven composites, *International Journal of Damage Mechanics*, 30.2, 163-195, 2021
- [3] E. Tikarouchine, G. Chatzigeorgiou, F. Praud, B. Piotrowski, Y. Chemisky, F. Meraghni, « Three-dimensional FE^2 method for the simulation of non-linear, rate-dependent response of composite structures *Composite Structures* », vol. 193, p. 165-179, 2018.
- [4] F. Masi, I. Stefanou, P. Vannucci, V. Maffi-Berthier, Thermodynamics-based Artificial Neural Networks for constitutive modeling. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 147, 104277, 2021.
- [5] F. Chinesta, P. Ladeveze, R. Ibanez, J. V. Aguado, E. Abisset-Chavanne, E. Cueto. Data-driven computational plasticity. *Procedia engineering*, 207, 209-214, 2017.

Étude numérique de la fissuration de matériaux vitrocéramiques sous auto-irradiation

G. FEUGUEUR^{a,b}, L. GÉLÉBART^a, C. MAURINI^b, S. MIRO^c

a. Université Paris-Saclay, CEA, Service de Recherche en Matériaux et procédés Avancés, 91191, Gif/Yvette, France - gerald.feugueur@cea.fr & lionel.gelebart@cea.fr

b. CNRS, Institut Jean Le Rond d'Alembert, Sorbonne Université, UMR 7190, 75005, Paris, France - corrado.maurini@sorbonne-universite.fr

c. CEA, DES, ISEC, DPME, Université de Montpellier, Marcoule 30207, France - sandrine.miro@cea.fr

...

Les verres nucléaires actuellement utilisés pour le confinement des produits de fission et actinides mineurs peuvent inclure un taux de charge massique allant jusqu'à 18,5%. Les matériaux vitrocéramiques envisagés pour cette application seraient une alternative intéressante qui permettrait de diminuer le volume de colis en augmentant ce taux de charge. Cependant, pendant le stockage, les inclusions de phases cristallines, riches en produits de fission, sont soumises à une auto-irradiation α provoquant un gonflement susceptible d'engendrer une fissuration de la matrice vitreuse. L'objectif de cette thèse est de mettre en place un outil de simulation numérique performant dans le but d'évaluer l'effet de la microstructure sur la fissuration du matériau en se rattachant à des quantités d'intérêt comme le temps avant la première fissuration ou la surface fissurée.

Les méthodes FFT, sont particulièrement adaptées à la simulation du comportement mécanique de matériaux hétérogènes. En effet, comparés à l'utilisation de codes Élément-Finis « standards », les codes FFT sont souvent bien plus performants et très bien adaptés à une implémentation parallèle en mémoire distribuée. Initialement proposée pour des modèles de comportement locaux, linéaires ou non-linéaires, l'utilisation de ces méthodes s'étend désormais au cadre des modèles non-locaux, tels que l'endommagement à gradient [1]. Par ailleurs, pour simuler la fissuration, les modèles de champ de phase [2] font l'objet d'un intérêt croissant dans la communauté mécanicienne. Ainsi, l'implémentation du modèle de champ de phase proposé par Francfort *et al.* [2] a été récemment mis en place au sein de codes FFT [1] et notamment au sein du code massivement parallèle AMITEX_FFTP. Les analyses ont été réalisées sur des cellules avec une distribution aléatoire d'inclusions. Enfin, une partie sera consacrée aux premières simulations FFT de la fissuration de matériaux hétérogènes à inclusions gonflantes (Figure 1). Une approche semi-analytique basé sur un champ d'endommagement homogène par phase a été mise en place récemment dans AMITEX_FFTP afin d'estimer le gonflement critique et sera confrontée aux approches numérique.

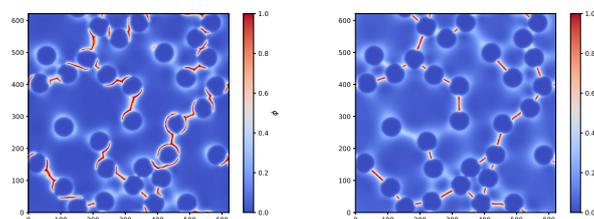


FIGURE 1 – Champ d'endommagement avec la décomposition déviatorique (à gauche) et spectrale (à droite)

Mots clefs : Fissuration, Champ de phase, Matériaux hétérogènes, Méthode FFT

Références

- [1] Yang Chen, Dmytro Vasiukov, Lionel Gélébart, and Chung Hae Park. A FFT solver for variational phase-field modeling of brittle fracture. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 349 :167–190, 2019.
- [2] Gilles A Francfort and J-J Marigo. Revisiting brittle fracture as an energy minimization problem. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 46(8) :1319–1342, 1998.

Evaluation de fiabilité du comportement en fatigue polycyclique des alliages à mémoire de forme basée sur un critère multiaxial.

A. GASSAB^{a,c}, R. BEN SGHAIER^{b,c}, R. FATHALLAH^{a,c}

- a. Ecole Nationale d'ingénieur de Sousse, Université de Sousse (ENISo), BP 264 Erriadh, 4023 Sousse, Tunisie, adel.gassab@gmail.com, raouf.fathallah@gmail.com
- b. Institut Supérieur des Sciences Appliquées et de Technologie de Sousse (ISSATSo), Université de Sousse, Cité Taffala, 4003, Sousse, Tunisie rabisghaier@gmail.com
- c. Unité de Génie de Production Mécanique et Matériaux (UGPM2-UR17ES43), Ecole Nationale d'ingénieur de Sfax (ENIS), Université de Sfax, Tunisie.

Résumé :

Cette étude présente une évaluation de fiabilité du comportement en fatigue polycyclique des alliages à mémoire de forme (AMFs) sous un chargement multiaxial [1, 2]. Cette étude est essentiellement basée sur une approche de calcul fiabiliste permettant de prédire la fiabilité [3]. La méthode utilisée prendra en compte le critère de fatigue multiaxial récemment développé par Gu X et al. [4]. Ce critère est une extension du critère de Dang Van [5] illustré par un domaine de sécurité représenté par un hyper-cylindre dans l'espace déviatorique à l'échelle mésoscopique [4]. Dans l'approche proposée, la dispersion des paramètres du matériau, le trajet de chargement appliqué et la fraction volumique de martensite sont pris en compte. La propagation des incertitudes [3, 6, 7] des paramètres du matériau dans le critère de fatigue est élaborée par des techniques avancées de simulation de Monte Carlo [8, 9] afin de calculer la probabilité de rupture. Des résultats expérimentaux dans la littérature seront exploités afin d'évaluer la méthodologie proposée [10]. Des diagrammes 3D probabilistes sont obtenus permettant une prédiction plus fiable de la fatigue. L'approche proposée permet une prédiction plus précise par rapport à l'approche déterministe. L'influence de différents paramètres de dispersions sur la fiabilité est également évaluée.

Mots clés : Alliages à mémoire de forme, Fiabilité, Fatigue polycyclique, critère de Dang Van, quantification de l'incertitude, propagation de l'incertitude

Références:

- [1] Jani J, Leary M, Subic A, Gibson M. A review of shape memory alloy research, applications and opportunities. *Mater Des* 2014; 56:1078–113.
- [2] Eggeler G, Hornbogen E, Yawnyl A, Heckmann A, Wagner M. Structural and functional fatigue of NiTi shape memory alloys. *Materials Science and Engineering A* 378, 2004, pages 24–33.
- [3] Aslett, Louis & Coolen, Frank & Bock, Jasper. (2022). Uncertainty in Engineering Introduction to Methods and Applications: Introduction to Methods and Applications. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-83640-5>
- [4] Gu X, Mounni Z, Zaki W, Zhang W. Shakedown based model for high-cycle fatigue of shape memory alloys. *Smart Mater. Struct* 2016; 25 (11), p. 115012. <https://doi.org/10.1088/0964-1726/25/11/115012>
- [5] Dang Van K, Griveau B, Messager O. On a new multiaxial fatigue limit criterion: theory and application. In: Brown M, Miller K, editors. *Biaxial and multiaxial fatigue (EGF 3)*. London: Mechanical Engineering Publications; 1989. p. 479–96.
- [6] Faes, M., & Moens, D. (2020). Recent trends in the modeling and quantification of non-probabilistic uncertainty. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 27, 633-671. <https://doi.org/10.1007/s11831-019-09327-x>
- [7] Faes, M. G. R., Daub, M., Marelli, S., Patelli, E., & Beer, M. (2021). Engineering analysis with probability boxes: A review on computational methods. *Structural Safety*, 93, 102092. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2021.102092>
- [8] Zhang, J. (2021). Modern Monte Carlo methods for efficient uncertainty quantification and propagation: A survey. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 13(5), e1539.
- [9] Decadt, A., De Cooman, G., & De Bock, J. (2019, June). Monte Carlo estimation for imprecise probabilities: Basic properties. In *International Symposium on Imprecise Probabilities: Theories and Applications* (pp. 135-144). PMLR.
- [10] F. Auricchio, A. Constantinescu, C. Menna, G. Scalet. Shakedown analysis of high cycle fatigue of shape memory alloys. *International Journal of Fatigue* 87 (2016) 112–123.

Mechanical Characterization of PVC-Coated Copper Cables: Investigating Strain and Friction Resistance through Experimental Analysis

A. GOUYA^{a,*}, M. HINNA^b, M. MEZIANE^c, H. CHAFFAOU^a

- a. Nanostructure et Matériaux Avancés Mécanique et Thermofluide FST Mohammedia, Hassan II University of Casablanca BP 146 –Mohammedia, Morocco

gouyaanass@gmail.com

- b. Laboratoire de Virologie, Oncologie, Biosciences, Environnement et Energies Nouvelles, FST Mohammedia, Hassan II University of Casablanca, BP 146- Mohammedia, Morocco

- c. Laboratory of Materials, Energy and Control Systems, Faculty of sciences and Techniques, University of Hassan II Casablanca, Casablanca, Morocco

1. Introduction

Due to its effectiveness, copper cabling is one of the most often used materials in many industries, and copper cabling covered with polyvinyl chloride (PVC) insulation is chosen for its flexibility, hardness and conductivity, for which a copper cable covered with a PVC insulation is chosen [1]. Electrical cables with flammable insulation materials are widely used in many fields such as automotive, building, renewable energy and networking [2]. Individual wires are wound into strands that are coiled into a cable. During operation, the cables are subjected to cyclic axial and bending loads [1], which cause microscopic movement of the individual wires against neighboring wires, resulting in fretting corrosion [1]. The interaction of fretting corrosion and cyclic cause in the initiation and propagation of cracks that lead to failure [2]. Fatigue also increases rope failure. Due to its outstanding performance in terms of thermal, mechanical, and electrical qualities, low-smoke flame-retardant polyvinyl chloride (PVC) cable is frequently utilized in the creation of high-voltage cable junctions. The total impact of electrical, temperature, and mechanical variables actually operates to degrade polyvinyl chloride (PVC), reducing the cable joint's breaking strength and impairing the stability of the electrical system. In recent investigations on the deterioration in cable junction insulation, the strength of this material's ability to shield the copper strand from corrosion and deterioration was examined [2].

2. Test abrasion :

How it works: The abrasion resistance test is used to monitor the degradation of the sample-to-cable friction [1]. The sample is subjected to abrasive wear for a specific number of friction cycles. The amount of friction will depend on the type of sample. Abrasion can be measured by visual inspection, and can also be measured by the loss of mass of the sample. An abrasion test is performed using a 1.5 m cable, the end of which is connected to the positive pole of the machine. A negatively charged blade is moved back and forth over the cable with a force of 7 N and a stroke length of 26 mm. It stops automatically when it touches the conductor as soon as the abrasion has worn down the insulation, and the number of cycles needed to reach the conductive part of the cable are measured.

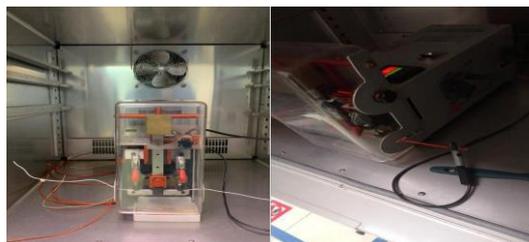


Figure1 – Test abrasion

Keywords: cable; PVC ;abrasion; optimization; extraction; friction ;experimental

References

- [1] P. Babu Aartherson, J. Hemanandh, Y. Devarajan, R. Mishra, et B. C. Abraham, « Experimental testing and evaluation of coating on cables in container fire test facility », *Nuclear Engineering and Technology*, vol. 54, n° 5, p. 1652- 1656, mai 2022, doi: 10.1016/j.net.2021.11.019.
- [2] S. Takahashi, T. Hamano, K. Nakajima, T. Tanabe, et Y. Oyama, « Observation of damage in insulated copper cables by THz imaging », *NDT & E International*, vol. 61, p. 75- 79, janv. 2014, doi: 10.1016/j.ndteint.2013.10.004.

De la fibre de typha australis aux composites : détermination des propriétés mécaniques

A. GAYE^a, N. A. SENE^a, P. BALLAND^b, V. SAMBOU^a, P. B. GNING^c

a. Ecole Supérieure Polytechnique, Corniche Ouest BP : 5085 Dakar-Fann. e-mail : aida01.gaye@gmail.com, awa.sene@ucad.edu.sn, vincent.sambou@ucad.edu.sn

b. Université Savoie Mont Blanc, Laboratoire SYMME. e-mail : pascale.balland@univ-smb.fr

c. Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique et Professionnel, Université Cheikh Anta Diop, BP 5004 Dakar-Fann. e-mail : papabirame.gning@ucad.edu.sn

Les fibres naturelles sont des ressources abondantes, facilement décomposables, biodégradables et renouvelables[1, 2]. Comparées aux fibres synthétiques, elles sont plus disponibles, avec un faible coût [2] et une faible densité. De plus, ces fibres possèdent des propriétés mécaniques satisfaisantes. Pour toutes ces raisons, elles sont de plus en plus utilisées dans le renfort de composite. Le typha australis qui est un roseau invasif au Sénégal nous intéresse dans cette étude et particulièrement ses fibres extraites manuellement. Elles sont utilisées comme renforts pour la fabrication de composites à matrice époxy. Les fibres testées sont celles provenant de la zone du milieu et celles non subdivisées traitées avec de la soude à 3 % pendant 2 heures. Les propriétés mécaniques des composites à fibres de typha non traitées et celles à fibres traitées seront comparées avec celles de la résine époxy seule. Il s'agit de ce fait de déterminer le module d'Young, la limite élastique, la contrainte maximale et l'allongement à la rupture de ces nouveaux composites.

La norme NF-EN-527-5 type A [3] de caractérisation par essai de traction uniaxiale des composites à renforts de fibres longues a été utilisée pour l'élaboration des composites de 150 mm x 15 mm x 1,32 mm et testés sous une vitesse de traction de 2 mm/min. Les valeurs de la résistance maximale à la traction de 51,4 MPa, 18,6 MPa et 14,9 MPa respectivement pour les composites à fibres naturelles, à fibres traitées et l'époxy montrent effectivement un écart considérable entre les résultats avec une résistance à la traction du composite à fibres naturelles valant environ 4 fois celle de l'époxy seule et environ 3 fois celle du composite à fibres traitées. La même tendance est observée pour le module d'Young.

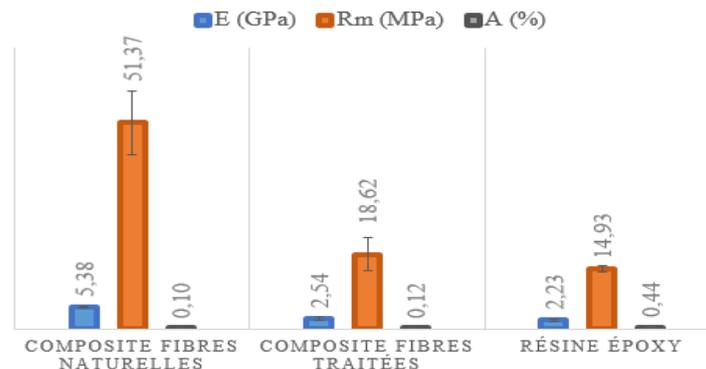


Figure 1 : Propriétés mécaniques des différents composites

Ces premiers résultats d'élaboration et de caractérisation de ces nouveaux composites sont très prometteurs pour envisager l'utilisation du typha australis comme renforts de composite.

Mots clés : fibre, typha australis, composites, propriétés mécaniques

Références

- [1] R. Jeyapragash, V. Srinivasan, and S. Sathiyamurthy, "Mechanical properties of natural fiber/particulate reinforced epoxy composites - A review of the literature," *Mater. Today Proc.*, vol. 22, pp. 1223–1227, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2019.12.146
- [2] S. Chokshi, P. Gohil, A. Lalakiya, P. Patel, and A. Parmar, "Tensile strength prediction of natural fiber and natural fiber yarn: Strain rate variation upshot," *Mater. Today Proc.*, vol. 27, pp. 1218–1223, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.142.
- [3] "NF_EN_ISO_527-5_Traction_UD.pdf."

Novel bio-inspired polymer-based architected materials to mimic human intervertebral disc mechanics

K. KANDIL^{a,b}, F. ZAÏRI^b

^a Icam School of Engineering, Lille campus, 6 rue Auber, B.P 10079, 59016 Lille Cedex

^b Univ. Lille, IMT Lille Douai, Univ. Artois, JUNIA, ULR 4515 - LGCgE, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement, F-59000 Lille, France

Emails : karim.kandil@icam.fr, fahmi.zairi@polytech-lille.fr

Abstract

Despite the remarkable evolution of the intervertebral disc prostheses over recent years, it remains so far, the least preferred medical solution by surgeons and the least valued by patients for the treatment of damaged intervertebral discs [1-2]. The existing artificial replacement systems are still unable to mimic several key features of the real intervertebral disc tissue such as regional dependency, auxicity and energy absorption. This does not allow them to reproduce a correct mechanical behaviour affecting the post-operative health status of the treated patients. In the current contribution, we aim to develop new bio-inspired polymer-based architected materials capable of replacing human intervertebral disc tissues. Inspired by the real structure of the human intervertebral disc, the shape and microstructure used to design and create the new material should perfectly replicate the mechanical conduct of the disc tissue in terms of axial rigidity, circumferential rigidity, and transverse deformations [3]. The mechanical behaviour of the new designs is controlled in a rational way by adapting the mesostructure and the microstructure of the employed polymer system. Novel cellular-based structures are designed to confer fundamental features to the replacement system such as auxicity and energy absorption [4]. Biocompatible polymer-based materials are used to ensure optimal adaptation with the physiological medium of the body. The biomimetic capabilities of the proposed materials are evaluated by comparing the numerical outputs to the real disc behaviour. The best structure/microstructure combinations with the most realistic mechanical properties, in terms of nonlinear stiffness and transverse behaviour, are selected to reproduce the regional-dependent human intervertebral disc mechanics.

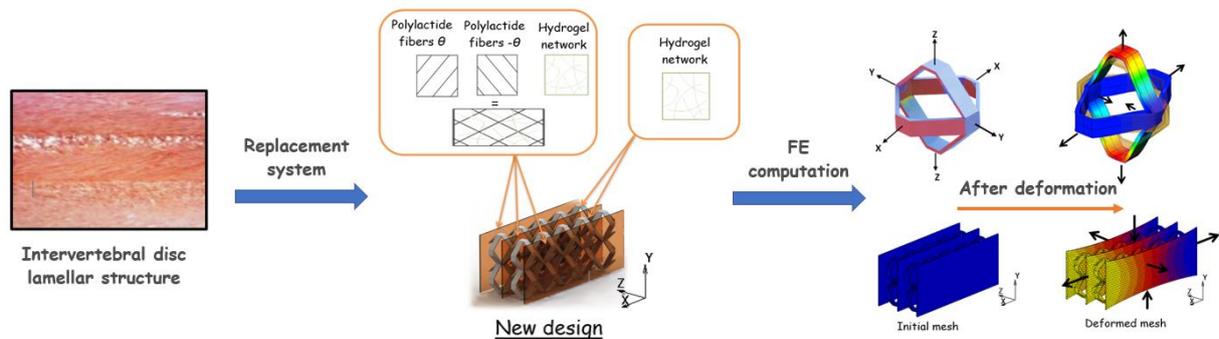


Figure 1 – Construction and validation procedure of the new bio-inspired architected materials.

Keywords: Mechanics of soft materials, Constitutive modelling, Finite element analysis, Biomechanics, Lattice structure.

References

- [1] Van Ooij, A., Oner, F.C., & Verbout, A.J. (2003). Complications of artificial disc replacement: A report of 27 patients with the SB Charite disc. *Spine*, 28, 369-383.
- [2] Zechmeister, I., Winkler, R., & Mad, P. (2011). Artificial total disc replacement versus fusion for the cervical spine. A systematic review. *European Spine Journal*, 20, 177-184.
- [3] Kandil, K., Zaïri, F., Derrouiche, A., Messenger, T., & Zaïri, F. (2019). Interlamellar-induced time-dependent response of intervertebral disc annulus: A microstructure-based chemo-viscoelastic model. *Acta Biomaterialia*, 100, 75-91.
- [4] Kandil, K., Kaoua, S. A., Mesbah, A., Voznyak, Y., Zaïri, F., & Zaïri, F. (2021). A novel bio-inspired hydrogel-based lattice structure to mechanically mimic human annulus fibrosus: A finite element study. *International Journal of Mechanical Sciences*, 211, 106775.

Analyse multi-échelles des composites stratifiés multifonctionnels

Elium acrylique/fibre de verre renforcées par des Nanostrength : propriétés élastiques et résistance à l'impact

A.Y.E. Kouassi^{a,b}, R. Matadi Boumbimba^{a*}, M.K. Sangaré^b, P. Gerard^c

^aUniversité de Lorraine, CNRS, Arts et Métiers ParisTech, LEM3, F-57000 Metz, France*

^bUnité Mixte de Recherche et d'Innovation en mécanique et science des matériaux (UMRI 18), Ecole Doctorale Polytechnique, Institut National Polytechnique Félix HOUPOUËT-BOIGNY de Yamoussoukro, BP 1093, Yamoussoukro Côte d'Ivoire

^cARKEMA, Groupement de Recherche de Lacq, F-64170 Lacq, France

Résumé

Cet article traite de l'étude expérimentale et numérique des propriétés élastiques et d'impact basse vitesse des composites stratifiés multifonctionnels Elium acrylique /fibres de verre renforcés par des Nanostrength qui sont des copolymères à blocs à nano structuration M-A-M [1]. Les études expérimentales ont porté sur la caractérisation de la microstructure suivie des essais de traction et d'impact à basse vitesse. L'approche numérique a été basée sur un schéma d'homogénéisation multi-échelles à l'aide de du logiciel Digimat-FE [2]. Le logiciel Abaqus/CAE 6.14.5 été utilisé pour la simulation d'impact à basse vitesse. Les résultats ont montré que propriétés élastiques des composites diminuent lorsque la fraction massique de Nanostrength® M53 augmente. La perte maximale du module Young (E) a été estimé à 9,8 % pour la fraction massique de Nanostrength à 10 %. La tortuosité du tissu de verre (taffetas) a participé également à la baisse du module d'Young (E) de l'ordre de 17 %. La tortuosité du taffetas influencerait donc plus les propriétés élastiques que l'utilisation des Nanostrength. Par ailleurs, les Nanostrengths® M53 convenait à toutes les applications nécessitant une résistance accrue à la propagation des fissures et, dans la littérature, les composites stratifiés contenant 10 % du Nanostrength® M53 ont permis une meilleure résistance à l'impact basse vitesse [3]. La résistance à l'impact basse vitesse des composites testés en termes d'énergie absorbée et de déplacement ont montré satisfaction avec les données expérimentales.

Mots clefs : Composite stratifié, Nanostrength, Homogénéisation multi-échelles, Propriétés élastiques,

Références :

- [1] Matadi Boumbimba R, Coulibaly M, Khabouchi A, Kinvi-Dossou G, Bonfoh N, Gerard P. Glass fibres reinforced acrylic thermoplastic resin-based tri-block copolymers composites: Low velocity impact response at various temperatures. *Compos Struct* 2017;160:939–51. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.10.127>.
- [2] Kouassi AYE, Matadi Boumbimba R, Sangaré MK, Koutsawa Y, Benelfellah A, Demais V. Dispersion and morphology analysis of PMMA/organoclay nanocomposites using the Ripley functions and determination of effective elastic properties. *Compos Struct* 2023;116881. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2023.116881>.
- [3] Arkema launches Nanostrength for advanced composite materials. *Addit Polym* 2005;2005:3. [https://doi.org/10.1016/S0306-3747\(05\)70387-0](https://doi.org/10.1016/S0306-3747(05)70387-0).

Modélisation du Comportement Mécanique d'un Equipement en Service sous Endommagement Progressive : Vers un Jumeau Numérique d'Appareil à Pression

I. KHALED^{a*}, M. BENNEBACH^a, S. Chaki^{b*}, D. VASIUKOV^b, M. SHAKOOR^b

a. Centre technique des industries mécaniques (CETIM), * izat.khaled@cetim.fr

b. IMT Nord Europe, SERI MP, * Salim.chaki@imt-nord_europe.fr

1 Résumé

Les équipements sous pression (ESP) sont destinés à la production, le stockage ou le transport des produits sous une pression élevée. L'énergie contenue dans ces équipements est très importante et peut, en cas de défaillance de l'enveloppe, provoquer des dégâts humains, matériels et environnementaux dans le voisinage des lieux de l'accident. Ainsi, la maintenance et le suivi de l'état de santé de ces équipements est un enjeu majeur pour les industriels de ce domaine. Le premier objectif de la thèse est donc de contribuer au développement d'une méthodologie d'évaluation en temps réel de l'intégrité des structures sous pression, en mettant en place une stratégie de maintenance prédictive en lieu et place d'anciennes maintenances curatives ou préventives très coûteuses, ceci en s'appuyant sur les technologies IoT et jumeau numérique. La deuxième finalité technologique de la thèse est de développer des méthodes pour optimiser et fiabiliser la conception et l'exploitation des nouvelles générations de structures sous pression.

Selon la définition de l'Alliance Industrie du Futur, le jumeau numérique est un clone virtuel d'un système physique ou d'un processus. Il implique systématiquement l'existence d'un couple « modèle numérique » avec l'objet qu'il copie. Suivant le système concerné et l'utilisation souhaitée il peut être un modèle géométrique, multiphysique, fonctionnel, comportemental et décisionnel. Il doit évoluer dans le temps comme son jumeau réel. La figure 1 illustre le fonctionnement du jumeau numérique.

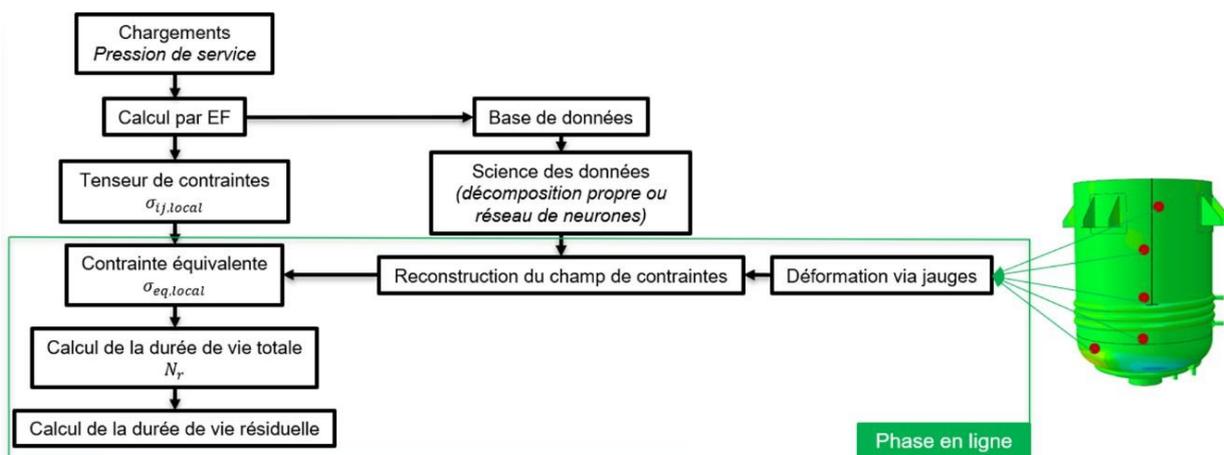


Figure 1 – Algorithme de fonctionnement du jumeau numérique

Mots clefs : Jumeau numérique, équipement sous pression, fatigue, endommagement progressive, capteurs virtuels.

Références

- [1] Quiroga, J., Mujica, L. & Villamizar, R., Ruiz, M., Camacho, J., 2017, PCA based stress monitoring of cylindrical specimens using PZTs and guided waves. DO.10.3390/s17122788, Sensors.
- [2] Chaturantabut, S., & Sorensen, D. C. (2010). Nonlinear Model Reduction via Discrete Empirical Interpolation. SIAM Journal on Scientific Computing, 32(5), 2737–2764. <https://doi.org/10.1137/090766498>
- [3] Bennebach, M., Duval, R., Amuzuga, P., Huther, I., Marzin, M., Rohart, P., Chaib, Z., 2021, guide de dimensionnement en fatigue des composants et des structures. CETIM, collection fatigue.
- [4] CODAP, 2020, Le code de construction des appareils à pression non soumis à l'action de la flamme, division 2.

Développement d'un algorithme automatisé de segmentation et d'enregistrement d'images μ CT pour l'évaluation du remodelage osseux avec de l'apprentissage automatique profond.

A. LAGZOULI^{a,b}, V. SANSALONE^a, P. PIVONKA^b, A. OTHMANI^c

a. Univ Paris Est Creteil, Univ Gustave Eiffel, CNRS, UMR 8208, MSME, F-94010 Créteil, France.

amine.lagzouli@u-pec.fr, vittorio.sansalone@u-pec.fr

b. QUASR, QUT. Brisbane City, Australia. peter.pivonka@qut.edu.au

c. LISSI, UPEC. Créteil, France. alice.othmani@u-pec.fr

1 Introduction

Les os longs contiennent de l'os cortical dur et de l'os trabéculaire poreux à l'intérieur. L'ostéoporose réduit la densité osseuse, fragilisant et amincissant ces tissus, augmentant ainsi le risque de fracture.

Pour extraire les paramètres de remodelage/adaptation osseuse et poursuivre des analyses statistiques, une segmentation précise de l'os trabéculaire et cortical est nécessaire. Actuellement, la segmentation μ CT de l'os cortical et trabéculaire est effectuée manuellement, ce qui peut prendre beaucoup de temps et de ressources, ou à l'aide de techniques traditionnelles de traitement d'images comme celle proposée dans [1]. Ces méthodes se basent sur des opérations purement géométriques et morphologiques : comme elles ne sont pas basées sur de l'apprentissage, elles ne sont pas capables de reconnaître les caractéristiques propres à l'os. Ces méthodes peuvent induire des erreurs de segmentation et requièrent un paramétrage pointu pour obtenir des résultats satisfaisants. Pendant ces dernières années, le Deep Learning a connu un grand succès dans le domaine de la segmentation médicale, permettant ainsi une segmentation automatique très précise en très peu de temps.

Cette étude vise ainsi à développer une nouvelle architecture de réseaux de neurones pour la segmentation osseuse automatique, facilitant ainsi l'analyse de l'impact de l'ostéoporose et des médicaments sur les os.

2 Méthodologie et résultats

Des images μ CT de tibia de 45 souris C57BL/6, suivant divers protocoles [2], ont servi à développer notre modèle de Deep Learning. Ces images ont été segmentées manuellement et avec une version améliorée de l'algorithme de [1], pour constituer notre base d'entraînement. Des modèles Deep Learning 2D tels que U-Net, DeepLab et d'autres ont été entraînés sur cette base. Les résultats de segmentation étaient élevés pour l'os cortical mais moins satisfaisants pour l'os trabéculaire (par exemple, U-Net : 99.6% pour l'os cortical, 89.7% pour l'os trabéculaire).

Nous visons une segmentation volumétrique 3D de l'os pour une précision accrue, en particulier pour l'os trabéculaire. À cette fin, nous développons une nouvelle architecture hybride de réseaux neuronaux basée sur des réseaux convolutifs (CNN) et des Transformers (Tr). Après avoir réussi en linguistique naturelle, les Transformers sont de plus en plus utilisés en imagerie médicale avec des « mécanismes d'attention » (Att). Nous présenterons nos premiers résultats avec ce modèle hybride CNN-Tr-Att pour la segmentation 3D de l'os. Une étude d'ablation analysera la contribution des éléments individuels du modèle pour optimiser l'architecture.

Mots clefs : Tomodensitométrie (μ CT), Deep Learning, Segmentation d'images, Ostéoporose

Références

[1] Buie, et al. (2007). Automatic segmentation of cortical and trabecular compartments based on a dual threshold technique for in vivo micro-CT bone analysis. *Bone*, 41(4), 505-515.

[2] Sugiyama et al. (2008). Mechanical loading enhances the anabolic effects of intermittent parathyroid hormone (1–34) on trabecular and cortical bone in mice. *Bone*, 43(2), 238-248.

Investigating the impact of electrical discharge machining tool electrode on corrosion resistance of Ti6Al4V biomedical parts

O. MARZOUGUI^{a*}, N. BENMOUSSA^a, F. GHANEM^a

a. Laboratoire de Mécanique, Matériaux et Procédés LR99ES05, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Tunis, Université de Tunis, 5 Avenue Taha Hussein, Montfleury, 1008 Tunis, Tunisia

*onmar.29@gmail.com

1 Introduction

Ensuring biocompatibility of implanted Ti6Al4V prosthesis is a major challenge that must be controlled during machining process. Electrical discharge machining (EDM) of orthopedic implants affects drastically the upper surface morphology including roughness and superficial chemical composition. Those parameters control corrosion resistance and ion's release in the body which leads eventually to the implant failure by its rejection [1, 2]. In this work we examine the effect of the tool electrode selection on the corrosion resistance of Ti6Al4V sample. The chemical elements diffusion phenomenon from the tool electrode to the machined surface alter the final surface chemical composition, especially when it comes to hazardous chemical elements[3]. In order to overcome this unwanted diffusion and boost other advantageous chemical elements insertion, we used three different tool electrodes (graphite, copper and Ti6Al4V) under the same machining conditions. Machined surface roughness and morphology were examined with scanning electron microscopy (SEM). Corrosion resistance tests were performed in a body simulated fluid under controlled pH and temperature. Results were compared with bare sample material corrosion resistance data to parse the effect of tool selection.

Keywords: Ti6Al4V, Electrical Discharge Machining, tool electrode, Corrosion resistance, roughness, chemical composition.

References

- [1] Haşçalık, A. and U. Çaydaş, Electrical discharge machining of titanium alloy (Ti-6Al-4V). *Applied Surface Science*, 2007. 253(22): p. 9007-9016.
- [2] Lhotka, C., et al., Four-year study of cobalt and chromium blood levels in patients managed with two different metal-on-metal total hip replacements. *Journal of Orthopaedic Research*, 2003. 21(2): p. 189-195.
- [3] Rahul, et al., Effects of Tool Electrode on EDM Performance of Ti-6Al-4V. *Silicon*, 2018. 10(5): p. 2263-2277.

Influence of material properties and process parameters on the weld strength of laser transmission welding of semi-crystalline thermoplastics

M. Matus-Aguirre^{a,b,c,1}, C. Garnier^{a,2}, R. Gilblas^{b,3}, B. Cosson^{c,4}, A. Akué^{c,5}, F. Schmidt^{b,6}, F. Chabert^{a,7}

^a LGP-ENIT-INPT, 47 Avenue d'Azereix, Tarbes cedex BP1629-65016, France

^b ICA-IMT Mines Albi, Campus Jarlard, 81013 Albi, CT Cedex 09, France

^c CERI-MP-IMT Nord Europe, Univ. Lille, 764 Bd Lahure, 59500 Douai, France

¹marcela.matus_aguirre@enit.fr; ²christian.garnier@enit.fr; ³rgilblas@mines-albi.fr; ⁴benoit.cosson@imt-nord-europe.fr; ⁵andre.akue.asseko@imt-nord-europe.fr; ⁶fabrice.schmidt@mines-albi.fr; ⁷france.chabert@enit.fr

1 Abstract

Nowadays, laser transmission welding (LTW) is a commonly employed process for joining mostly common engineering thermoplastic materials. However, when working with high-performance thermoplastics like polyetherketoneketone (PEKK), additional efforts are required to effectively control the welding properties [1,2].

This welding technique employs a near-infrared laser to join two overlapping polymer parts. The upper part needs to be laser-transparent, while the bottom one should be laser-absorbent. The laser beam irradiates and melts the interface after going through the upper part. Upon cooling, the molecular interdiffusion of the polymer chains generate a weld seam.

The objective of the current study is to investigate the mechanical performance of assemblies created by LTW of semi-crystalline thermoplastics. Transparent and absorbent parts are obtained from the same material, by varying the polymer's crystallinity degree. Two thicknesses are used for the transparent sample. The parts are welded using a diode laser welding machine with a wavelength of 0.975 μm . The welding process parameters are determined based on the material properties. Four different laser intensities ranging from 75 to 95 Watts are employed to irradiate the interface of the assemblies. The effect of laser power at the interface and the thickness of the transparent-upper part is studied. These parameters are then correlated with the morphology and strength of the joints. The morphology of the heat affected zone (HAZ) in the weld joint is analyzed by microscopy visualization. Single lap shear (SLS) mechanical tests are conducted to assess the weld joint strength. The relationship between the process parameters (power and irradiation time), material properties and weld strength, is established. It is observed that increasing the laser power leads to an increase of the dimensions of the HAZ, accompanied by a decrease in mechanical strength, as reported by.

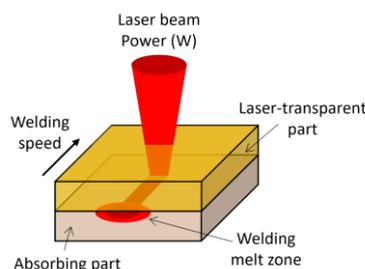


Figure: Laser transmission welding process principle

Mots clefs : polymer joining, heat affected zone, single lap shear, mechanical performance, joint quality.

Références

- [1] Villar M, Garnier C, Chabert F, et al. In-situ infrared thermography measurements to master transmission laser welding process parameters of PEKK. *Optics and Lasers in Engineering* 106 (2018) 94–104
- [2] Matus Aguirre M. Laser transmission welding of PEKK: Influence of material properties and process parameters on the weld strength. Available from: <https://www.mrforum.com/product/9781644902479-198> (2023) 1829–1840

Etude de l'apparition de la striction au cours du colaminage

I. MKINSI^[a], C. BERDIN^[a], A.L. HELBERT^[a], T. BAUDIN^[a]

a. ICMMO, Université Paris-Saclay, UMR CNRS 8182, 91405 Orsay, France

ismail.mkinsi@universite-paris-saclay.fr, clotilde.berdin@universite-paris-saclay.fr,

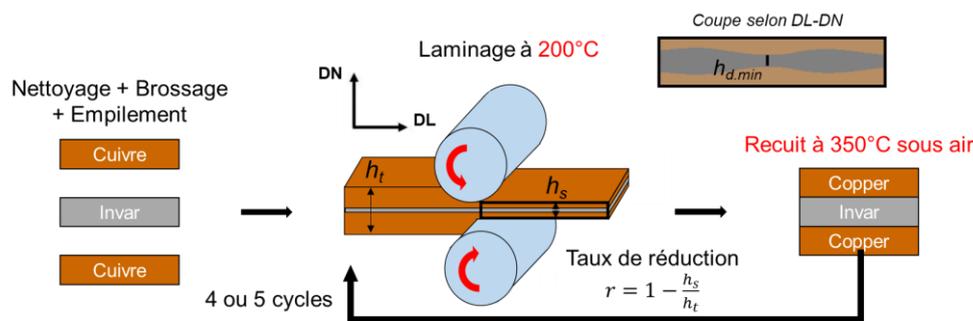
anne-laure.helbert@universite-paris-saclay.fr, thierry.baudin@universite-paris-saclay.fr

...

1 Résumé

Le placage par colaminage est un procédé de soudage à l'état solide permettant d'élaborer des composites métalliques. Lorsque des matériaux de dureté différente sont colaminés, les couches de matériau le plus dur peuvent, dans certaines conditions, présenter des zones de localisation de la déformation conduisant à la fragmentation de ces couches dures. L'apparition de ce phénomène est étudiée dans le cadre de colaminages multi-passes de couches de cuivre (matériau mou) et d'Invar (matériau dur) à la fois du point de vue expérimental et numérique. A taux de réduction imposé, les résultats montrent que pour une fraction volumique de matériau dur fixée, la striction des couches dures dépend de la répartition spatiale des couches, c'est-à-dire du nombre de couches, de leur épaisseur et de leur positionnement. Ainsi, on montre que la fraction volumique globale du matériau dur n'est pas un paramètre suffisant pour déterminer l'occurrence de la striction, contrairement à ce qui est couramment admis dans la littérature [1][2]. Nous avons étudié expérimentalement l'évolution de la microstructure, pour déterminer la passe pendant laquelle la striction apparaît. Nous avons ensuite proposé une démarche de simulation numérique par éléments finis permettant de prendre en compte les lois de comportement des matériaux mous et durs à l'entrée de chaque passe. La simulation permet de mieux comprendre l'apparition du phénomène, et permettra de réaliser une étude paramétrique pour proposer des configurations optimisées qui feront apparaître la striction des couches dures.

2 Illustration



Déroulement du procédé expérimental

Mots clefs: colaminage, striction, composite métallique, modèle éléments finis

Références

- [1] Nowicke Jr F., Zavaliangos A. & Rogers H. C. (2006). The effect of roll and clad sheet geometry on the necking instability during rolling of clad sheet metals. *International Journal of Mechanical Sciences*, 48(8), 868-877.
- [2] Reihanian M. & Naseri M. (2016). An analytical approach for necking and fracture of hard layer during accumulative roll bonding (ARB) of metallic multilayer. *Materials & Design*, 89, 1213-1222.

Influence de la porosité sur les propriétés mécaniques de pièces réalisées par fabrication additive par diffusion atomique

V. MONDESIR--ABOUT^a, P. LAFON^a, A. CHARLES^a

a. UR-LASMIS, Université de Technologie de Troyes, 12 rue Marie Curie,
CS 42060, 10004 Troyes CEDEX, France
victoria.mondesir--about@utt.fr | pascal.lafon@utt.fr | charles1@utt.fr

Résumé

Le terme de fabrication additive (FA) désigne un ensemble de procédés innovants consistant dans la réalisation de structures par ajout de couches successives de matière. Parmi ces procédés, la fabrication additive par diffusion atomique (ADAM) se caractérise par la séquence suivante :

Un filament composé d'une matrice en polymère chargée de poudre métallique est chauffé puis déposé selon une trajectoire prédéfinie. La pièce composite intermédiaire obtenue est alors déliantée : une partie du polymère est ainsi extraite à l'aide d'un solvant. Enfin, le polymère restant est sublimé au cours de l'étape de frittage sous atmosphère contrôlée afin d'obtenir une pièce finale entièrement métallique.

Ces étapes de fabrication induisent l'apparition de deux types de défauts poreux : des cavités orientées selon la trajectoire d'impression se combinent à des pores sphériques répartis aléatoirement [1, 4]. Afin de quantifier l'impact de ces défauts sur les propriétés mécaniques des pièces fabriquées par procédé ADAM, en particulier dans le domaine élastique, une analyse par éléments finis (FEA) est réalisée sur des volumes élémentaires représentatifs (VER). Ces VER sont construits à partir de formes archétypales basées sur la géométrie des cavités observées : les impacts des deux types de défauts poreux sont d'abord considérés séparément puis dans le cas d'une combinaison modélisant la structure observée pour la pièce finale.

Les résultats obtenus par FEA permettent de déterminer par homogénéisation numérique le module d'Young E ainsi que le coefficient de poisson ν apparents caractérisant l'évolution du comportement élastique de la structure considérée en fonction du taux de porosité p compris entre 1 % et 5 %. Ces résultats sont comparés à différents modèles analytiques décrivant l'abatement du module d'Young en fonction du taux de porosité et des longueurs caractéristiques des défauts poreux [2, 3]. Le comportement anisotrope dans le domaine élastique des pièces réalisées par procédé ADAM, en lien avec l'orientation de l'axe d'élongation des cavités par rapport à la direction de traction, est ainsi mis en évidence.

Une campagne expérimentale a été lancée afin d'identifier les paramètres matériau équivalents, ce dans le but d'établir une correspondance entre le modèle théorique et une sélection de variables critiques des étapes de fabrication. Par la suite, l'évolution du comportement mécanique dans le domaine plastique sera intégrée à l'analyse par éléments finis avec pour but la détermination d'une loi de comportement macroscopique en fonction des variables d'impression considérées.

Mots clefs : fabrication additive, homogénéisation numérique, porosité, analyse par éléments finis

Références

- [1] Y. Abe et al., Effect of Layer Directions on Internal Structures and Tensile Properties of 17-4PH Stainless Steel Parts Fabricated by Fused Deposition of Metals, *Materials*, Vol.14, n°2, (2021) p243.
- [2] J.A. Choren et al., Young's modulus and volume porosity relationships for additive manufacturing applications, *Journal of Materials Science*, Vol.48, n°15, (2013) p5103-5112.
- [3] L.S. Morrissey et al., A Finite Element Model to Predict the Effect of Porosity on Elastic Modulus in Low-Porosity Materials, *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol.49, n°7, (2018) p2622-2630.
- [4] G. Singh et al., Copper additive manufacturing using MIM feedstock : adjustment of printing, debinding, and sintering parameters for processing dense and defectless parts, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.115, n°1-2 (2021) p449-462.

Identification de lois de comportement en plasticité cristalline par jumeau numérique et apprentissage statistique

D. Mesbah^{a,b}, D. Ryckelynck^b, H. Proudhon^b, L. Gélébart^a

a. Université Paris-Saclay, CEA, Service de Recherches Métallurgiques Appliquées, 91191 Gif-sur-Yvette

b. Mines Paris, Université PSL, Centre des Matériaux (MAT), UMR7633 CNRS, 91003 Évry

Résumé

L'observation de l'hétérogénéité de la déformation, au sein des matériaux polycristallins a encouragé le développement de modèles prédictifs à partir d'une approche micromécanique, comme ceux de plasticité cristalline [1]. La comparaison des observations expérimentales avec les simulations en plasticité cristalline est souvent réalisée à l'échelle macroscopique ou microscopique, à partir de données surfaciques.

L'analyse par diffraction des rayons X à haute énergie [2], réalisée en environnement synchrotron, constitue une opportunité majeure pour la caractérisation volumique des matériaux polycristallins. Cette famille de techniques, appelée communément *Diffraction de Rayons X 3D*, avec des acquisitions en champs proche ou lointain, présentent un intérêt double. Tout d'abord, elles permettent de reconstruire un jumeau numérique de la microstructure à partir de la morphologie et de l'orientations des grains, de manière à réaliser des simulations sur la microstructure réelle. Par ailleurs, certaines techniques permettent également de cartographier la déformation cristalline à des résolutions ($10^2 nm$) et sur des épaisseurs ($10^2 \mu m$) inenvisageables par des moyens plus conventionnels.

Les simulations en plasticité cristalline sur des jumeaux numériques d'agrégats polycristallins sont accélérées en utilisant les méthodes *Fast Fourier Transform* (FFT). De plus, d'autres méthodes comme la super-résolution [3], basées sur l'apprentissage statistique, particulièrement en vogue dans le domaine du *Computer Vision*, offrent la possibilité d'accélérer d'autant plus la réalisation des simulations en plasticité cristalline. L'enrichissement des bases expérimentales et numériques, à partir de nouvelles données de nature multi-échelle et volumique, ouvre la voie à une confrontation en champ complet, en vue d'une calibration de ces modèles micro-mécanique.

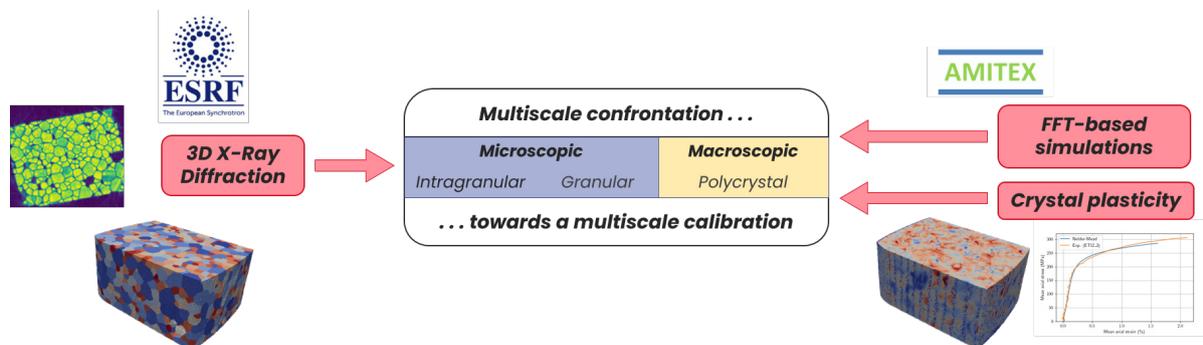


FIGURE 1 – Confrontation multi-échelle des données expérimentales et numériques en plasticité cristalline

Mots clefs : plasticité cristalline, jumeau numérique, diffraction de rayons X, *Computer Vision*

Références

- [1] Méric, L., Poubanne, P., and Cailletaud, G.. Single Crystal Modeling for Structural Calculations : Part 1—Model Presentation, *Journal of Engineering Materials and Technology*, 113(1) : 162–170. 1991.
- [2] Reischig, P. and Ludwig, W. Three-dimensional reconstruction of intragranular strain and orientation in polycrystals by near-field X-ray diffraction, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 24(5) : 100851. 2020.
- [3] Dong, C., Loy, C. C., He, K., and Tang, X. Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks. arXiv :1501.00092 [cs]. 2015.

Computing Homogenized Transfer Properties in Porous Media with Reduced-Order Models. Application to Cementitious Media

A. MOREAU^a, C. ALLERY^b, O. MILLET^c

a. LaSIE-UMR CNRS 7356 – Université de La Rochelle – antoine.moreau@univ-lr.fr

b. LaSIE-UMR CNRS 7356 – Université de La Rochelle – cyrille.allery@univ-lr.fr

c. LaSIE-UMR CNRS 7356 – Université de La Rochelle – olivier.millet@univ-lr.fr

The diffusion of chloride or carbonate across the water contained in the concrete pores, coming from a polluted environment, eventually leads to the steel skeleton oxidation, after it has removed the coating basicity. The steel oxidation and dilatation deprive the concrete structure from its initial mechanical properties, leading to the structure destruction. The ionic diffusion in porous media, that follows the Nernst-Planck-Poisson (NPP) equation, depends highly on the microstructure of the material and on the chemical contents of the pores. Unfortunately, modelling diffusion over a whole concrete structure accounting to the pore scale is impossible to achieve. This led to the development of powerful modelling and numerical techniques.

In this work, Periodic Homogenization, which provides a multiscale model of ionic diffusion in a cementitious medium [1], is coupled with Reduced-Order Models, especially Proper Orthogonal Decomposition (POD). Periodic Homogenization consists in modelling a sample of porous medium as the repetition of a single, Representative Elementary Volume (REV). At the macroscopical scale, ionic diffusion is ruled by a homogenized NPP equation, whose diffusion coefficient D^{hom} is computed by solving a PDE called the Cell Problem, which depends on geometrical and physical parameters (pore diameters, surface charge of adsorbed ions). In this work, we propose to use a POD-ROM coupled approach for solving very fastly Cell Problems in order to take into account the REV variability over space and time, substituting, to the original PDE, a reduced-order set of algebraic equations [2]. POD-ROM has been performed successfully for geometrically dependent Cell Problems [3]. It has been also generalized to the strongly nonlinear Nernst-Planck-Poisson-Boltzmann equation, which takes into account the surface charge, involving notably the ITSGM hyperreduction method [4].

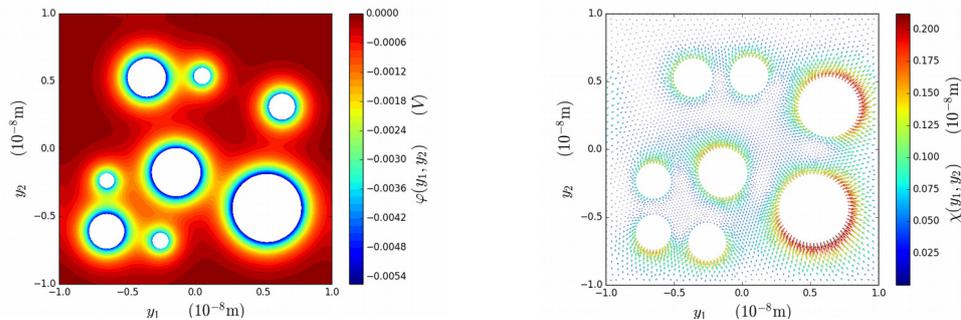


Figure: Solutions to the Cell Problem for a two-dimensional REV. Left size : the electrical potential generated by adsorbed ions ; right side : a vector field containing all the information on the REV geometry.

Keywords : corrosion, periodic homogenization, POD-ROM, ITSGM, Poisson-Boltzmann equation

References (10 gras)

- [1] Bourbatache, M. K. and Millet, O. and Ait-Mokhtar, K. Multiscale periodic homogenization of ionic transfer in cementitious materials. International Journal of Heat and Mass Transfer, 52 (2016), 1589-1599
- [2] Yvonet, J. and He, Q.C. The reduced model multiscale method (R3M) for the nonlinear homogenization of hyperelastic media at finite strains. Journal of Computational Physics, 223(1) 341-368 (2007)
- [3] Moreau, A. and Falaize, A. and Allery, C. and Millet, O. Geometry dependent reduced-order models for the computation of homogenized transfer properties in porous media. Acta Mechanica, 232 (11), 4429-4459 (2021)
- [4] Amsallem, D. and Farhat, C., Interpolation method for adapting reduced-order models and application to aeroelasticity. AIAA Journal, 46(7), 1803-1813 (2008)

Modélisation et simulation multi-échelle des matériaux composites à fort gradient dans un cadre stochastique.

A. NACRO^a, P. KARAMIAN^a, S. LEMAITRE^a,

a. Normandie Univ, UNICAEN, CNRS, LMNO, 14000 Caen, France,

e-mail : alioune.nacro@unicaen.fr

1 Introduction

Un matériau composite se définit par un assemblage d'au moins deux constituants différents. Aujourd'hui, les matériaux composites interviennent dans de nombreux secteurs industriels tels que l'industrie automobile, l'aérospatiale, la construction, le sport, et bien d'autres encore. On distingue deux types d'approches : les approches à champ moyen et celles à champ complet [1] permettant d'évaluer les propriétés effectives d'un matériau composite.

Dans cette communication, je m'intéresse à l'évaluation du tenseur d'élasticité homogénéisé obtenu par la résolution de l'équation de Lippmann-Schwinger via des algorithmes basés sur la transformée de Fourier rapide et le noyau de Green modifié [2]. Plus précisément, j'évalue les tenseurs $A^{0,0}$, $B^{0,1}$, $C^{0,0}$ et $D^{0,0}$, déterminants dans la description du comportement mécanique des matériaux. Cette approche de la modélisation et de la simulation multi-échelle se montre stable pour les matériaux composites à fort gradient [3].

Je présente la méthodologie posant le cadre théorique et la formulation analytique, puis les résultats obtenus codés sous C++ parallélisé en MPI.

2 Méthodologie et Résultats

A l'échelle macroscopique dans le cadre de la théorie du premier gradient on obtient le tenseur :

$$A^{0,0} = C^{hom} = \int_P (II + e_y(\chi^0(y))) : C : (II + e_y(\chi^0(y))) dP.$$

A l'échelle microscopique dans le cadre de la théorie du second gradient on obtient les tenseurs $B^{0,1}$, $C^{0,0}$ et $D^{0,0}$ qui sont :

$$B^{0,1} = \int_P (II + e_y(\chi^0(y))) : C : (II + e_y(\chi^0(y))) dP$$

$$C^{0,0} = \int_P (II + e_y(\chi^0(y))) : C : \chi^0(y) dP$$

$$D^{0,0} = \int_P (II + e_y(\chi^0(y))) : C : e_y(\chi^1(y)) dP$$

Je propose d'exposer le calcul de ces tenseurs, intégrés sous la forme d'un module s'ajoutant à un code de calcul utilisant la FFT pour estimer le tenseur $A^{0,0} = C^{hom}$ en 2D et 3D. Par ailleurs, un module supplémentaire a été développé pour classifier le tenseur $A^{0,0} = C^{hom}$ par rapport aux 8 groupes (Isotrope, Cubique, Isotrope transverse, Tétraogonal, Trigonal, Orthotrope, Monoclinique, Triclinique) en 3D et 4 groupes (Isotrope, Tétraogonal, Diagonal, Orthotrope) en 2D .

Mots clefs : Modélisation, simulation, matériaux composites, fort gradient, gradient du second ordre.

Références

- [1] Sophie Lemaitre. *Modélisation des matériaux composites multiphasiques à microstructures complexes. Étude des propriétés effectives par des méthodes d'homogénéisation*. PhD thesis, Université de CAEN Normandie, 2017.
- [2] François Willot. Fourier-based schemes for computing the mechanical response of composites with accurate local fields. *Comptes Rendus Mécanique*, 343(3):232–245, 2015.
- [3] Sami Ben Elhaj Salah. *Modélisation non-locale et stochastique de matériaux à fort gradient de propriétés par développement asymptotique*. PhD thesis, Chasseneuil-du-Poitou, Ecole nationale supérieure de mécanique et d ..., 2019.

Modélisation numérique de l'endommagement de structures composites stratifiées soumises à des impacts balistiques

B. NANEMA^{a,b}, M. MEJRI^a, N. BEN SALAH^b

a. Unité SACES 17DN01, École de l'Aviation Borj El Amri, Tunis, Tunisie ; billy.nanema@yahoo.com

b. Laboratoire de mécanique matériaux et procédés, École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Tunis (ENSIT),
Université de Tunis

Résumé

Cet article présente une approche numérique de la problématique de la résistance de matériaux composites sous impacts balistiques, réalisés sous ABAQUS 2020®. La recherche s'appuie sur l'étude de l'endommagement des composites renforcés à savoir les défaillances des fibres et de la matrice ainsi que le délaminage afin d'évaluer les performances des structures testées. Le but de cette approche est d'identifier les effets de paramètres tels que la séquence de stratification, le renforcement par des nano tubes de carbone ainsi que l'influence de l'hybridation multi-matériaux sur le niveau de protection offert par ces structures.

En effet, lors d'un impact, l'onde de choc se propage principalement suivant les directions des fibres. Aussi, les capacités d'absorption d'énergie des couches du stratifié diminuent suivant l'épaisseur de la structure. L'orientation des fibres ainsi que l'agencement des plis ont alors une influence particulière sur la résistance de la structure impactée [1]. Sur quatre (04) séquences d'empilement étudiées, la meilleure résistance a été observée pour la séquence 0/90/0/90.

Les nanotubes de carbone sont des charges que l'on disperse dans un matériau composite afin d'améliorer le comportement global du matériau [2]. Cependant, au-delà d'un certain seuil, ces renforts se regroupent en agglomérations, fragilisant le matériau à travers la création de zones de concentration de contraintes [3]. Des stratifiés de carbone époxy renforcés par des nanotubes de carbone ont été soumis à des impacts de projectiles à des vitesses de l'ordre de 400m/s à 1000m/s. La meilleure absorption de l'énergie d'impact a été constatée pour les plaques avec une fraction massique de 2% de nanotubes de carbone.

Les recherches ont également porté sur le comportement de structures hybrides en Kevlar époxy et en verre époxy. Une plaque de verre/époxy d'une épaisseur de 3,12 mm est prise en sandwich avec du Kevlar/époxy à trois positions différentes GKK, KGK et KKG. Les stratifiés ainsi formés d'une épaisseur de 9,36 mm sont soumis à des impacts à des vitesses de 100 m/s, 267,5 m/s, 400 m/s et 500 m/s et comparés à des stratifiés de verre époxy et époxy Kevlar pur. Il résulte une meilleure absorption d'énergie pour la séquence KGK.

L'étude a permis le développement d'un modèle numérique fiable de l'impact sur les plaques, validé par des essais expérimentaux cités dans la littérature. De la simulation, il ressort une description plus fine du processus d'endommagement du stratifié. La mise en place d'une stratégie de modélisation du délaminage a permis l'évaluation de la propagation du délaminage suivant l'épaisseur du stratifié.

Mots clefs : Composites stratifiés, Impact balistique , modélisation numérique

Références

- [1]R. S. Sikarwar, R. Velmurugan, and V. Madhu, "Experimental and analytical study of high velocity impact on Kevlar / Epoxy composite plates," *Central European Journal of Engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 638–649, 2012, doi: 10.2478/s13531-012-0029-x.
- [2]A. el Moumen, M. Tarfaoui, H. Benyahia, and K. Lafdi, "Mechanical behavior of carbon nanotubes-based polymer composites under impact tests," *Journal of Composite Materials*, vol. 53, no. 7, pp. 925–940, 2019, doi: 10.1177/0021998318793502.
- [3]P. Murugan, K. Naresh, K. Shankar, R. Velmurugan, and G. Balaganesan, "High velocity impact damage investigation of carbon/epoxy/clay nanocomposites using 3D Computed Tomography," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 9, pp. 16946–16955, 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.04.098.

Dissimilar diffusion welding of equiatomic CoNi multi-component alloy to 316L stainless steel

***O.B. Nenuwa^{a,b}, A. Benaarbia^a, L. Thiercelin^a, L. Peltier^a, E. Fleury^a and F. Meraghni^a**

^aArts et Métiers Institute of Technology, CNRS, Université de Lorraine, LEM3-UMR 7239, F-57000, Metz, France

^bDepartment of Mineral & Petroleum Resources Engineering, Federal Polytechnic, P.M.B. 5351, Ado-Ekiti, Nigeria

*Corresponding author's email: olushola.nenuwa@ensam.eu

Abstract

Equiatomic CoNi belongs to the family of multi-component alloys which are relatively new type of structural material containing two or more principal elements. These materials present a unique combination of excellent mechanical properties which are comparable to and may even be better than some conventional alloys at cryogenic and elevated temperatures (Gludovatz et al., 2014, 2016; Liu et al., 2019). The CoNi systems have been found to exhibit high strength and ductility and they are used in various structural applications (Gómez-Esparza et al., 2016). Equiatomic CoNi alloy is an expensive and a high-density material that can only be used in key sections of structures hence, dissimilar diffusion welding of this alloy to austenitic stainless steel (SS316L) which is cheaper was conducted. The base materials and the joint were examined through multiscale characterization combining several techniques such as Scanning Electron Microscopy (SEM) using Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), X-ray diffraction and microhardness measurements. The weldability of Co₅₀Ni₅₀ with SS316L was assessed by the gradient of chemical element composition through the interface that need to be high enough.

Keywords: CoNi alloy, diffusion welding, multi-component alloys, multi-scale characterization, stainless steel

References

- Gludovatz, B., Hohenwarther, A., Catoor, D., Chang, E. H., George, E. P., & Ritchie, R. O. (2014). A fracture-resistant high-entropy alloy for cryogenic applications. *Science*, 345(6201), 1153–1158. <https://doi.org/10.1126/science.1254581>
- Gludovatz, B., Hohenwarther, A., Thurston, K. V. S., Bei, H., Wu, Z., George, E. P., & Ritchie, R. O. (2016). Exceptional damage-tolerance of a medium-entropy alloy CrCoNi at cryogenic temperatures. *Nature Communications*, 7(1), 10602. <https://doi.org/10.1038/ncomms10602>
- Gómez-Esparza, C. D., Baldenebro-López, F. J., Estrada-Guel, I., Baldenebro-López, J. A., Elizalde-Galindo, J. T., Rodríguez-González, C. A., & Martínez-Sánchez, R. (2016). Comparison of Microstructure and Hardness of an Equiatomic NiCo Alloy Produced by Two Routes. *Microscopy and Microanalysis*, 22(S3), 1994–1995. <https://doi.org/10.1017/S1431927616010813>
- Liu, J., Guo, X., Lin, Q., He, Z., An, X., Li, L., Liaw, P. K., Liao, X., Yu, L., Lin, J., Xie, L., Ren, J., & Zhang, Y. (2019). Excellent ductility and serration feature of metastable CoCrFeNi high-entropy alloy at extremely low temperatures. *Science China Materials*, 62(6), 853–863. <https://doi.org/10.1007/s40843-018-9373-y>

Caractérisation ultra-large bande de matériaux viscoélastiques

A-S. POUDREL^a, N. BOCHUD^b, J. PEIXINHO^a, M. REBILLAT^a,
G. ROSI^b, P. MARGERIT^a

a. Arts et Métiers Institute of Technology, CNRS, CNAM, PIMM, HESAM Université, Paris, France
anne-sophie.poudrel@ensam.eu

b. Univ Paris Est Creteil, Univ Gustave Eiffel, CNRS, UMR 8208, MSME, F-94010 Créteil, France

L'identification des propriétés dissipatives des matériaux est un enjeu dans de nombreuses applications couvrant l'entière du spectre fréquentiel : depuis le régime quasi-statique (problématique de récupération d'énergie) jusqu'aux ultrasons (contrôle non-destructif et imagerie biomédicale) en passant par le spectre de l'audible (réduction du bruit) et les moyennes fréquences (conception de structures associées à des techniques SHM). Or, les méthodes expérimentales associées à l'identification d'un comportement viscoélastique fournissent des données très partielles, limitées à un domaine fréquentiel. Cette présentation portera sur le développement d'une approche unifiée pour la caractérisation expérimentale ultra-large bande des propriétés viscoélastiques de matériaux.

Différentes techniques de caractérisation expérimentale ont été appliquées à des échantillons polymères homogènes fabriqués à l'aide d'une technologie de fabrication additive Polyjet : l'analyse mécanique dynamique (DMA) en basses fréquences [1], l'utilisation de méthodes haute résolution pour des mesures de champs en moyennes fréquences [2] et l'émission-réception multi-éléments d'ondes ultrasonores à hautes fréquences [3]. Les modules de traction E^* et de torsion G^* ont été mesurés sur la gamme de fréquence associée à chaque technique ci-dessus, couvrant au total 8 ordres de grandeurs du spectre fréquentiel (figure 1). L'application de ces techniques expérimentales aux limites de leur gamme de fréquences/longueurs d'ondes d'utilisation, présente de multiples verrous et questionne sur l'applicabilité des modèles utilisés pour remonter aux propriétés viscoélastiques des matériaux à partir des paramètres physiques mesurés (contraintes-déformations, nombres d'ondes, vitesses de phase et atténuations), notamment dans le cas de matériaux extrêmement atténuants. Ce travail ouvre des perspectives quant au développement de structures complexes associées à une large gamme de fréquences et de longueurs d'ondes.

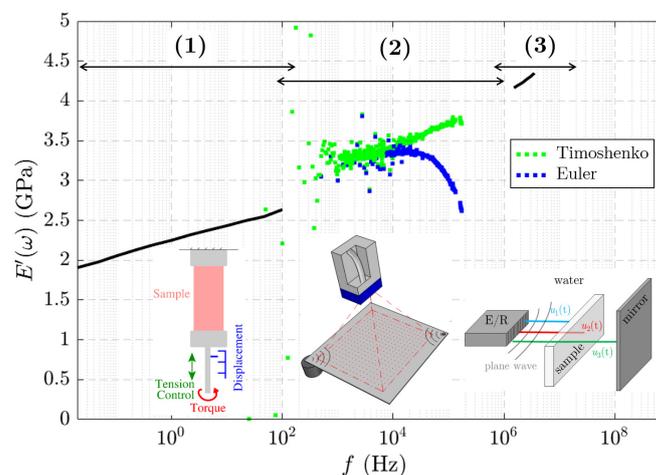


FIGURE 1 – Variation du module de stockage E' du matériau VeroUltra™ en fonction de la fréquence f . Les valeurs expérimentales ont été obtenues successivement par DMA (1), mesures de champs (2) et mesures ultrasonores (3).

Mots clés : viscoélasticité, large-bande, DMA, mesures de champs, ultrasons

Références

- [1] J. Diani et P. Gilormini, On necessary precautions when measuring solid polymer linear viscoelasticity with dynamic analysis in torsion, *Polymer Testing*, 63 (2017) 275–280.
- [2] P. Margerit, A. Lebé, J.-F. Caron, X. Boutillon, High-Resolution Wavenumber Analysis (HRWA) for the mechanical characterization of viscoelastic beams. *Journal of Sound and Vibration*, 443 (218) 198.
- [3] M. Gattin, N. Bochud, G. Rosi, Q. Grossman, D. Ruffoni, S. Naili, Ultrasound characterization of the viscoelastic properties of additively manufactured photopolymer materials. *The Journal of the Acoustical Society of America* 152 (2022) 1901–1912.

Optimisation tribologique et métallurgique des rails et roues : vers une loi de comportement thermomécanique réaliste

**M. RUSSO^{ab*}, S. CAZOTTES^b, P. CHANTRENNE^b, L. THIERCELIN^c, F. LEBON^d,
A. FERRIEUX-PAQUET^a, L. LAFARGE^a, A. SAULOT^a**

^a Univ. de Lyon, INSA Lyon, CNRS UMR 5259 LaMCoS, F-69621, Villeurbanne, France

^b Univ. de Lyon, INSA Lyon, CNRS UMR 5510, MATEIS, F-69621, Villeurbanne, France

^c Arts et Métiers Institute of Technology, CNRS, Univ. de Lorraine, LEM3-UMR 7239, F-57078 Metz, France

^d Aix Marseille Univ., CNRS, Centrale Marseille, LMA UMR 7031, F-13453 Marseille, France

* matteo.russo@insa-lyon.fr

La préoccupation croissante de réduire l'impact environnemental dans le domaine du transport de fret et de passagers a accru l'importance du transport ferroviaire, peu énergivore. La maintenance des voies ferroviaires a souvent été réalisée de manière préventive. Afin de maîtriser les coûts et la consommation primo sourcée tout en prenant en compte l'augmentation du trafic, une approche plus optimisée de la maintenance est nécessaire. Cela implique de mieux anticiper l'apparition des défauts sur les rails et de modéliser leur évolution. Le Projet OPTIMRAIL¹ a pour objectif de rendre la maintenance prédictive, en déterminant des lois de comportement d'évolution de la microstructure des rails aboutissant à la formation de défauts, tels que les « squat », qui représente 70 % des défauts sur rails à la suite de l'enquête menée par la SNCF en 2021 [1].

Le défaut de squat se caractérise par une dépression de la bande de roulement du rail ainsi qu'un réseau de fissures plus ou moins prononcées [Figure 1 (a)]. Il est relié à une transformation tribologique de surface (TTS) conduisant à l'amorçage de fissures. Cette dernière est appelée phase blanche en raison de son apparence au microscope optique après attaque chimique [Figure 1 (b)]. Les mécanismes d'évolution de la microstructure initiale des aciers ferroviaires jusqu'aux phases blanches font encore débat dans la littérature. Deux mécanismes sont généralement proposés. Le premier concerne un mécanisme thermiquement activé qui conduit à la formation de martensite à la suite d'une austénitisation suivie d'une trempe rapide. Le second mécanisme est piloté par une accumulation de déformation plastique qui conduit in fine à des nanograins de ferritique sursaturée en atomes de carbone. Les sollicitations tribologiques nécessaires (température, pression, cisaillement) à la formation des phases blanches ainsi que sa cinétique de formation ont été modélisées au travers d'une loi de comportement [2]. Afin de valider cette dernière, des essais sous conditions de contact contrôlées seront conduits au moyen d'un tribomètre de type galet-anneau reproduisant le contact roue/rail à l'échelle 1/15^e [Figure 1 (d)]. Ce banc, appelé « Triboring », a reproduit de façon réaliste les conditions tribologiques menant à la formation des TTS [3]. En vue de clarifier le mécanisme de transformation de l'acier, une connaissance précise des paramètres de contact est nécessaire, notamment la température de contact qui est difficilement accessible à cause de la petite taille du contact et de la vitesse des corps roulants. Des mesures par thermographie infrarouge sont envisagées sur le banc Triboring. Une méthodologie d'estimation de la température est proposée en résolvant un problème inverse, qui minimise l'écart entre les prédictions d'un modèle thermique et les valeurs mesurées aux endroits accessibles par la caméra thermique. Un algorithme d'optimisation recherche parmi une famille de solutions physiquement plausibles celle qui minimise l'écart avec les valeurs expérimentales mesurées [4].

Mots clés : Contact Roue/Rail, Transformation Tribologique de Surface (TTS), Température de contact

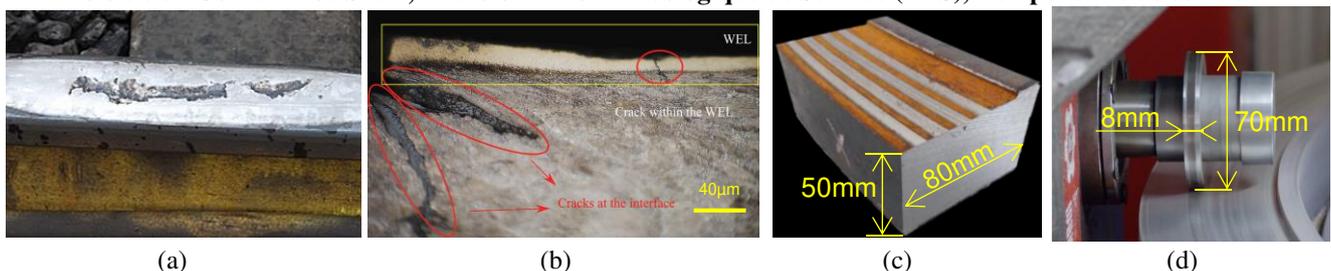


Figure 1 : défaut de squat (a) ; phase blanche vue au microscope optique [2] (b) ; traces de contact sur une section de couronne du banc Triboring (c) ; Essai sur le tribomètre Triboring situé au laboratoire LaMCoS à l'INSA de Lyon (d).

Références

- [1] SNCF Réseau, « Rapport Annuel Sécurité », 2021.
- [2] L. Thiercelin, L. Saint-Aimé, F. Lebon, et A. Saulot, « Thermomechanical modelling of the tribological surface transformations in the railroad network (white etching layer) », *Mech. Mater.*, vol. 151, p. 103636, déc. 2020, doi: 10.1016/j.mechmat.2020.103636.
- [3] P. Merino *et al.*, « An attempt to generate mechanical white etching layer on rail surface on a new rolling contact test bench », *Wear*, vol. 482-483, p. 203945, oct. 2021, doi: 10.1016/j.wear.2021.203945.
- [4] S. Huang, B. Tao, J. Li, Y. Fan, et Z. Yin, « On-line estimation of the tool-chip interface temperature field during turning using a sequential inverse method », *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 97, n° 1-4, p. 939-952, juill. 2018, doi: 10.1007/s00170-018-1987-9.

¹ Les travaux réalisés dans le cadre du projet OPTIMRAIL sont soutenus par l'institut Carnot Ingénierie@Lyon, labellisé par l'Agence National de la Recherche.

Influence de l'orientation des fibres sur la qualité, les efforts et la température de coupe en détournage de composites UD-GFRP

B. SCHRAB^a, A. COLLAINE^a, M. TOURLONIAS^a

a. Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles - Université de Haute-Alsace
11 rue Alfred Werner - 68093 Mulhouse Cedex
Email : benoit.schrab@uha.fr

Lors de la fabrication de pièces en polymères renforcés de fibres (FRP), des opérations d'usinage sont généralement nécessaires après l'étape de mise en forme. Il s'agit principalement d'opérations de détournage, permettant de retirer l'excédent de matière en bord de pièce et d'opérations de perçage, pour la fixation des pièces dans les systèmes [1]. En raison de la nature hétérogène et anisotrope des FRP, l'usinage est régi par des mécanismes de coupe spécifiques qui peuvent conduire à l'apparition de défauts sur les surfaces usinées (arrachement de fibres, étalement de matrice...) ou sur les plis extérieurs des pièces (délamination et fibres non coupées). Il a été montré en coupe orthogonale que ces mécanismes de coupe sont directement liés à l'orientation des fibres dans le matériau [2]. Ce paramètre joue un rôle prépondérant dans l'apparition de délamination et de fibres non coupées sur les couches extérieures des pièces [3] et impacte également l'état de surface après usinage [2]. De plus, l'orientation des fibres a aussi une incidence sur les efforts de coupe et la température pendant usinage [4].

Cette étude vise à caractériser l'influence de l'orientation des fibres sur la qualité de la coupe, les efforts et la température de coupe, pendant le détournage avec un outil multi-dents à taille diamant de composites UD-GFRP (polymères renforcés de fibres de verre unidirectionnelles). La qualité de la coupe est évaluée en termes de défauts sur les plis extérieurs (délamination et fibres non coupées) et d'état de surface après usinage. Les défauts sur les plis extérieurs sont caractérisés quantitativement par méthode optique et traitement numérique d'images. Ce type de méthodes a fait l'objet de plusieurs études récentes [5], [6], mais en détournage, l'essentiel de ces travaux porte sur les composites CFRP (polymères renforcés de fibres de carbone). L'état de surface est caractérisé par des paramètres surfaciques plus adaptés pour les matériaux composites que les paramètres linéiques classiques [1]. La température en un point donné de la surface détournée est déterminée par un pyromètre infrarouge et les efforts pendant usinage sont mesurés dans les trois directions de l'espace. Les premiers résultats montrent que l'orientation de fibres la plus défavorable en termes d'état de surface semble être la plus favorable en termes de température de coupe. De plus, l'évolution de la surface de fibres non coupées en fonction de l'orientation des fibres suit globalement la même tendance que l'effort axial exercé par l'outil sur la pièce usinée.

Mots clefs : détournage, GFRP, orientation des fibres, état de surface, défauts, efforts, température

Références :

- [1] A. Boudelier-Caillaud, « Modélisation et optimisation des opérations de parachèvement de pièces en matériaux composites », Université de Nantes, 2011.
- [2] D. H. Wang, M. Ramulu, et D. Arola, « Orthogonal cutting mechanisms of graphite/epoxy composite. Part I: unidirectional laminate », *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 35, p. 1623-1638, janv. 1995, doi: 10.1016/0890-6955(95)00014-O.
- [3] W. Hintze, D. Hartmann, et C. Schütte, « Occurrence and propagation of delamination during the machining of carbon fibre reinforced plastics (CFRPs) – An experimental study », *Composites Science and Technology*, vol. 71, p. 1719-1726, oct. 2011, doi: 10.1016/j.compscitech.2011.08.002.
- [4] M. H. El-Hofy *et al.*, « Tool Temperature in Slotting of CFRP Composites », *Procedia Manufacturing*, vol. 10, p. 371-381, janv. 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.007.
- [5] F. Wang, J. Yin, Z. Jia, B. Niu, et W. Liu, « A novel approach to evaluate the delamination extent after edge trimming of carbon-fiber-reinforced composites », *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol. 232, n° 14, p. 2523-2532, 2018, doi: 10.1177/0954405417699015.
- [6] M. D. Navarro-Mas, M. D. Meseguer, J. Lluch-Cerezo, et J. A. García-Manrique, « Comparison of Different Parameters to Evaluate Delamination in Edge Trimming of Basalt Fiber Reinforced Plastics (BFRP) », *Materials*, vol. 13, n° 23, 2020, doi: 10.3390/ma13235326.

Numerical and experimental investigation of physical behaviors of polymer materials based on variable order fractional model

Lin Sun ^a, Gang Cheng ^b, Thierry Barrière ^a

a. Univ. Franche-Comté, FEMTO-ST Institute, CNRS/UFC/ENSMM/UTBM, Department of Applied Mechanics, Besançon, 25000, France. e-mail: lin.sun@femto-st.fr (L. Sun), thierry.barriere@univ-fcomte.fr (T. Barrière)

b. INSA Centre Val de Loire, Univ. Tours, Univ. Orléans, LaMé, 41034 Blois, France. e-mail: gang.cheng@insa-cvl.fr

Abstract

As a widely used class of materials, polymers are widely used in many fields, such as medical, aerospace and engineering. They are subjected to complex loading conditions. The properties of polymers are complex and sensitive to pressure, loading rate and temperature [1]. The development of a reliable physics-based constitutive model is of great significance for predicting the mechanical behavior of polymers under different loading conditions, saving cost and time. A number of reliable models have been proposed to characterize the physical behaviors of polymers [2,3]. These constitutive models usually rely on both phenomenological and physical methods. Phenomenological methods typically used constitutive equations originally developed for metals and constructed stress-strain relationships by fitting experimental data. Researchers developed the constitutive models focusing on the macroscopic deformation response of polymers. These models are difficult to provide a reasonable physical explanation for the complex mechanical behaviors of polymers, and usually require a considerable number of parameters to identify.

Fractional calculus has proven to be an effective tool for solving many complex real-world problems [4]. The fractional order is allowed to vary in time or space. Ramirez and Coimbra [5] assumed that the order of the derivative is a measure of the rate of change of disorder within the material. variable order fractional (VOF) viscoelastic constitutive model was developed with fewer parameters than the classical models. These models including VOF derivatives can not only describe viscoelastic behavior well, but also provide an intuitive way to reflect material properties through variable order functions [6,7].

In this research, the establishment process of the VOF constitutive model of polymer with constant strain rate is introduced. The uniaxial compression tests are performed on two polymer materials, polycarbonate and polypropylene. The fractional order model of the materials are experimentally and numerically analyzed. The effects of strain rate, temperature and variable order on the mechanical behavior of materials is investigated. On the basis of the VOF viscoelastic model, the evolution mechanism of model parameters is analyzed. The mechanical behaviors of polymers under complex loading conditions such as cyclic loading and random loading are studied.

Keywords : Polymer, Variable order fractional model, Mechanical tests, Physical behavior, Numerical simulation

References

- [1] C. Yu, G. Kang, K. Chen, A hygro-thermo-mechanical coupled cyclic constitutive model for polymers with considering glass transition, *International Journal of Plasticity* 89 (2017) 29--65.
- [2] N. Billon, New constitutive modeling for time-dependent mechanical behavior of polymers close to glass transition: Fundamentals and experimental validation, *Journal of Applied Polymer Science* 125 (2012) 4390--4401.
- [3] D. Mathiesen, D. Vogtmann, R.B. Dupaix, Characterization and constitutive modeling of stress-relaxation behavior of Poly(methyl methacrylate) (PMMA) across the glass transition temperature, *Mechanics of Materials* 71 (2014) 74--84.
- [4] H. Suna, Y. Zhang, D. Baleanua, W. Chen, Y. Chen, A new collection of real world applications of fractional calculus in science and engineering, *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* 64 (2018) 213--231.
- [5] L.E.S. Ramirez and C.F.M. Coimbra, A variable order constitutive relation for viscoelasticity, *Annalen der Physik*, 16 (2007) 543--552.
- [6] R. Meng, D. Yin, H. Yang, G. Xiang, Parameter study of variable order fractional model for the strain hardening behavior of glassy polymers, *Physica A*, 545 (2020) 123763.
- [7] R. Meng, L. Cao, Q. Zhang, Study on the performance of variable-order fractional viscoelastic models to the order function parameters, *Applied Mathematical Modelling*, 121 (2023) 430--444.

Understanding the influence of microstructural parameters on the behavior of recycled thermoplastic composites : a microstructural investigation and real-time prediction of stiffness properties

S. SEKKAL^a, M. EL FALLAKI IDRISSE^a, F. MERAGHNI^a, G. CHATZIGEORGIOU^a

a. Arts et Métiers Institute of Technology, CNRS, Université de Lorraine, LEM3-UMR7239, 57078 Metz, France. Email : saif_eddine.sekkal@ensam.eu, mohammed.el_fallaki_idrissi@ensam.eu, fodil.meraghni@ensam.eu, georges.chatzigeorgiou@ensam.eu

The increasing need for thermoplastic composite materials has led to a focus on finding environmentally friendly ways to recycle them. Mechanical recycling, which utilizes the melting properties of thermoplastic polymers, has proven to be a great way to enhance the value of recycled composites compared to other methods. However, the performance of recycled composites depends on how they are processed. It is crucial for manufacturers and designers to understand the impact of processing parameters on the materials' behavior under specific loads. However, selecting the optimal combination of these microstructural parameters remains challenging and expensive due to the high costs associated with experimental work. This study aims to investigate the connections between microstructure and properties of mechanically recycled thermoplastic composites, providing a real-time, multi-parametric solution for their stiffness properties. A detailed qualitative and quantitative analysis of the microstructure is conducted using destructive and non-destructive techniques to identify the influencing parameters on the behavior of recycled composites. This information is exploited to develop and validate a multi-scale full-field numerical model through experimental tensile tests [1]. Additionally, the full-field model generates an offline database with varying values of the influential microstructural parameters. Using this database, a multi-parametric solution is derived using variable separation through non-intrusive Proper Generalized Decomposition (PGD) [2]. The model order reduction framework is described in figure 1.

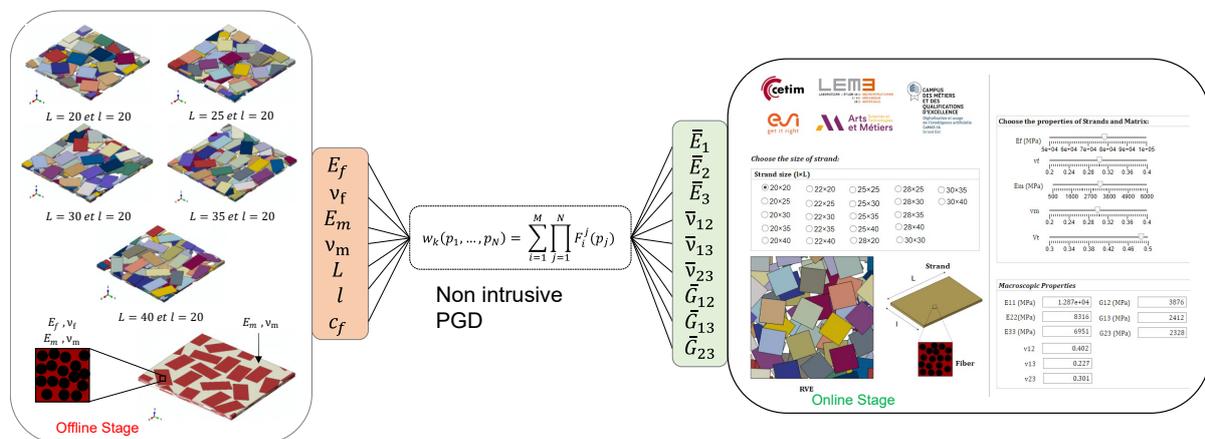


FIGURE 1 – Real-time stiffness prediction framework for recycled thermoplastic composites using non-intrusive Proper Generalized Decomposition

Mots clefs : Recycled composite materials, Multiscale modeling, Non-intrusive PGD

Références

[1] Sekkal, S. E., Meraghni, F., Chatzigeorgiou, G., Peltier, L., & Durand, N. (2023, June 8). *Experimental and multi-scale investigation of the mechanical behavior of mechanically recycled glass fiber reinforced thermoplastic composites* [Manuscript submitted for publication]. *Composites Part B*.

[2] El Fallaki Idrissi, M., Praud, F., Champany, V., Chinesta, F., & Meraghni, F. (2022). *Multiparametric modeling of composite materials based on non-intrusive PGD informed by multiscale analyses : Application for real-time stiffness prediction of woven composites*. *Composite Structures*, 302, 116228. Elsevier.

Caractérisation mécanique des mortiers à base de déchets de verre et de marc de café

G. THIAM^a, N. A. SENE^a, P. BALLAND^b

a. Ecole Supérieure Polytechnique, Corniche Ouest BP : 5085 Dakar-Fann. e-mail : zakhra20@gmail.com, ndeyeawa.sene@esp.sn

b. Université Savoie Mont Blanc, Laboratoire SYMME. e-mail : pascale.balland@univ-smb.fr

Résumé

La croissance régulière de la population et le changement des modes de production et de consommation entraînent de nos jours l'utilisation intensive et abusive des ressources et le rejet important des déchets dans l'environnement [1]. La prise de conscience croissante de la nécessité de réduire les déchets, incite à explorer des méthodes de valorisation. C'est dans ce contexte que leur utilisation dans l'élaboration des matériaux de construction constitue une solution pour préserver l'environnement. D'où l'idée d'incorporer les déchets de verre et le marc de café dans le mortier de ciment. La caractérisation chimique de ces matériaux a montré que les déchets de verre sont composés principalement d'oxyde de silice, de sodium et de calcium tandis que le marc de café est un matériau organique avec la présence de caféine et de protéines. L'objectif de cette étude est de déterminer la résistance à la compression des mortiers obtenus en substituant le ciment par de la poudre de verre de couleur différente (PVB blanche – PVV – verte et PVM – marron) ou du marc de café (MC)

Le mortier est préparé dans un malaxeur et serré dans un moule à l'aide d'un appareil à choc normalisé. Les éprouvettes sont de forme prismatique de dimension (4 x 4 x 16 mm³) et sont testées sous une presse CBR de 50 kN selon la norme 12390-3 [2]. Les résultats obtenus (figure 1), montrent que les performances mécaniques en compression des mortiers à base de poudre de verre sont toutes meilleures que celles du mortier naturel (M0) pour toutes les échéances M10 et M15 à 28 jours. Cela peut s'expliquer par la nature vitreuse et la présence des matières minérales dans les déchets de verre [3]. L'optimum du taux de remplacement du ciment par la poudre de verre semble être de 10 et 15 % et de 2 % par le marc de café (MC2).

Ces résultats montrent un comportement bénéfique grâce à la présence de la poudre de verre et du marc de café sur les caractéristiques mécaniques et physiques des différents mortiers étudiés. Une application prometteuse pour ces déchets qu'il faut encore conforter par des essais complémentaires.

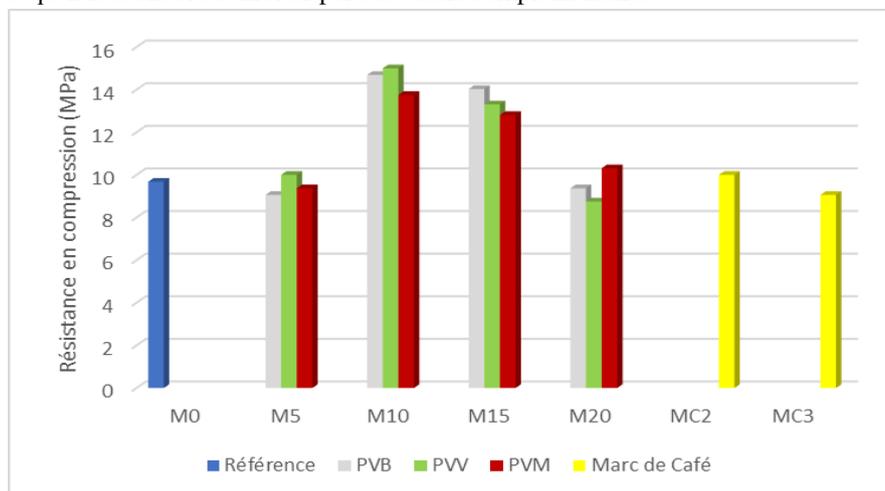


Figure 1. Résistance à la compression des différents mortiers élaborés avec % de substitution du ciment indiqués

Mots clés : déchets de verre, marc de café, mortier, résistance à la compression

Références

- [1] G. M. Ngandziami, "Proposition d'un plan de gestion des déchets applicable dans les pays en développement"
- [2] NF EN 12390-3, 2001, « Essai pour mortier durci. Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes », AFNOR.
- [3] D. Patel, R. P. Tiwari, R. Shrivastava, and R. K. Yadav, "Effective utilization of waste glass powder as the substitution of cement in msaking paste and mortar," *Constr. Build. Mater.*, vol. 199, pp. 406–415, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.12.017.

Application de l'indentation instrumentée à l'identification de paramètres de lois de comportement hyper-élastiques.

H. TOCQUEVILLE^{a*}, J. PEPIN^a, G. LE QUILLIEC^a

a. Univ. Tours, Univ. Orléans, INSA CVL, LaMé, 37200 Tours, France

* hugo.tocqueville@univ-tours.fr

1 Introduction

L'indentation instrumentée représente à ce jour une technique de caractérisation du comportement mécanique local très utilisée. Ses applications, couvrant différentes échelles de la macro-indentation à la nano-indentation ont fait l'objet de nombreuses recherches ces trente dernières années. L'intérêt s'est tout d'abord porté sur les matériaux au comportement élastique ou élasto-plastique tels que les métaux, les verres ou les céramiques permettant d'établir des relations entre les mesures par indentation et les propriétés macroscopiques du matériau étudié [1,2]. Dans le cadre de l'indentation d'élastomères, des verrous expérimentaux sont rencontrés du fait de leur caractère visqueux, de leur élasticité non linéaire (hyper-élasticité), de problèmes d'état de surface, de détection de contact ou encore d'adhésion avec la pointe. Afin de pallier ces difficultés, il devient nécessaire d'introduire un couplage numérique.

2 Présentation des travaux

C'est dans ce contexte, que les travaux de O. Ezzaamari et al. [3] se sont inscrits. En se basant sur une approche par réduction de modèle, ils mettent en évidence la possibilité d'exploiter l'ensemble de la courbe d'indentation pour identifier des paramètres de lois de comportement hyperélastique. La méthode consiste à réduire la dimensionnalité de courbes d'indentation générées numériquement à partir d'un plan d'expérience faisant varier les paramètres du modèle à identifier. Une interpolation dans l'espace réduit permet de générer une variété de forme, sur laquelle est projeté un point correspondant à une courbe expérimentale (Figure 1a).

Les présents travaux mettent en application la méthode à travers l'étude d'un élastomère au comportement purement hyperélastique (non visqueux à température ambiante). Les essais expérimentaux sont obtenus par indentation instrumentée utilisant un indenteur sphérique. A titre d'exemple, une courbe expérimentale ainsi que la courbe numérique issue de l'identification sont illustrées en Figure 1b. Une étude parallèle des états de déformation induits permet d'établir un comparatif avec des essais macroscopiques homogènes. Par la suite, le caractère visqueux présent à température ambiante pour de nombreux élastomères sera pris en compte par la réalisation d'essais d'indentation dynamiques et de fluage de contact. Ces derniers seront mis en regard d'essais macroscopiques.

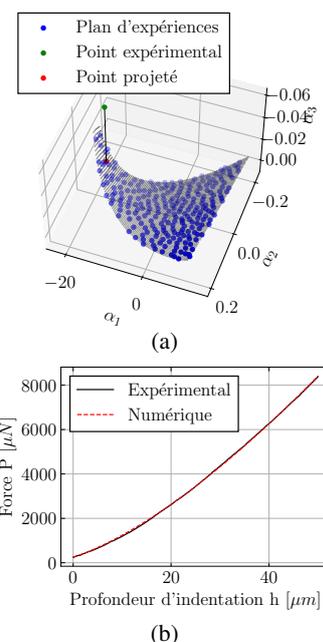


FIGURE 1 — (a) Représentation des courbes d'indentation numériques et expérimentales dans les trois premières dimensions de la base réduite (b) Corrélation après identification par la méthode de réduction de modèle

Mots clefs : Élastomères, Indentation instrumentée, Simulation numérique, Réduction de modèle

Références

- [1] Anthony C. Fischer-Cripps. Nanoindentation. Mechanical Engineering Series. Springer New York, New York, NY, 2011.
- [2] W. C. Oliver et G. M. Pharr. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation : Advances in understanding and refinements to methodology. J. Mater. Res., 19(1) :3–20, 2004.
- [3] O. Ezzaamari et al. : Numerical investigation of the identifiability of elastomer mechanical properties by nano-indentation and shape-manifold approach. Rubber Chem. Technol. , 94(2) :376–392, 2021.

Récupérateur d'Énergie Electromagnétique pour la marche humaine

L. VERZELLESI^{a,b}, M. HAMDAOUI^b, F. MOHRI^b

a. ZhorTech, 7 Place Stanislas 54000 Nancy + l.verzellesi@zhortech.com

b. Université de Lorraine, LEM3 UMR CNRS 7239, 7 Rue Félix Savart, F-57070 METZ, France
mohamed.hamdaoui@univ-lorraine.fr, foudil.mohri@univ-lorraine.fr, louis.verzellesi@univ-lorraine.fr

1 Introduction

D'après M. Geisler [1], la quantité d'énergie disponible lors de la marche permet de collecter des puissances importantes. La récupération d'énergie mécanique lors de la marche humaine, caractérisée par de faibles fréquences, a fait l'objet d'un grand nombre de travaux de recherche [2]. Dans le présent article, nous présentons un récupérateur d'énergie électromagnétique permettant de récupérer l'énergie pendant la phase de balancement du pied [3]. Ce récupérateur est capable de récolter des puissances moyenne et maximale de respectivement 492 microwatts (μW) et 9,32 milliwatts (mW) en vitesse de marche (4km/h). Basé sur les équations de [4], nous avons pu modéliser le récupérateur d'énergie pour construire un modèle numérique. Les puissances électriques générées en sortie du modèle ont pu être comparées à celles issues de la mesure d'un premier prototype caractérisé sur tapis de marche.

2 Récupérateur électromagnétique

Le dispositif, similaire à celui de [5], est constitué d'une bille ferromagnétique (NdFeB) se mouvant dans un tube conducteur en cuivre. Le modèle soumet cette structure à une excitation périodique sinusoïdale reproduisant l'accélération induite par la marche du pied. Une analyse paramétrique a été réalisée pour permettre le dimensionnement d'un prototype (diamètre : 31mm, longueur : 33 mm). Un banc d'essai a été mis en place dans le but d'évaluer ses performances électriques en vitesse de marche et course (tapis Domyos-T540B) à respectivement 4km/h et 10km/h. Ce banc d'essai est également constitué d'un oscilloscope (Tektronix TBS-1064) connecté au prototype via une charge de mesure permettant le relevé de la puissance électrique générée en sortie. Pour chacune des vitesses, nous avons comparé les puissances moyenne et maximale entre le modèle numérique et le prototype réalisé. Les valeurs issues du modèle numérique sont de 428,6 μW et 1,2 mW. Celles issues du prototype de 492 μW et 9,32 mW. Afin d'accroître la cohérence entre les données simulées et expérimentales, notre intention est d'incorporer, au sein du modèle numérique, une modélisation des phénomènes de chocs et de frottements entre l'aimant et les parois du récolteur d'énergie. De plus, il est nécessaire d'améliorer la fonction de simulation de l'accélération du pied de manière à la rendre plus réaliste.

Mots clefs

Récolteur d'énergie ; basses fréquences ; électromagnétique ; marche humaine

Références

- [1] M. Geisler, « Récupération d'énergie mécanique pour vêtements autonomes connectés ».
- [2] M. Cai, Z. Yang, J. Cao, et W.-H. Liao, « Recent Advances in Human Motion Excited Energy Harvesting Systems for Wearables », *Energy Technol.*, vol. 8, n° 10, p. 2000533, oct. 2020, doi: 10.1002/ente.202000533.
- [3] K. Ylli, D. Hoffmann, A. Willmann, P. Becker, B. Folkmer, et Y. Manoli, « Energy harvesting from human motion: exploiting swing and shock excitations », *Smart Mater. Struct.*, vol. 24, n° 2, p. 025029, févr. 2015, doi: 10.1088/0964-1726/24/2/025029.
- [4] G. Donoso, C. L. Ladera, et P. Martín, « Magnetically coupled magnet-spring oscillators », *Eur. J. Phys.*, vol. 31, n° 3, p. 433-452, mai 2010, doi: 10.1088/0143-0807/31/3/002.
- [5] K. Fan, Z. Liu, H. Liu, L. Wang, Y. Zhu, et B. Yu, « Scavenging energy from human walking through a shoe-mounted piezoelectric harvester », *Appl. Phys. Lett.*, vol. 110, n° 14, p. 143902, avr. 2017, doi: 10.1063/1.4979832.

On the Capillary Stress in Unsaturated Granular Assemblies

N. Younes^{a,b,c,*}, O. Millet^a, A. Wautier^b, R. Wan^c, F. Nicot^d, R. Bouchard^a,

a. *LaSIE UMR CNRS 7356, Université de la Rochelle, France. nabil.younes@univ-lr.fr

b. INRAE, Unité de Recherche RECOVER, Aix-en-Provence, France. younes.nabil@inrae.fr

c. Schulich School of Engineering, University of Calgary, Canada. nabil.younes@ucalgary.ca

d. Université Savoie Mont Blanc, ISTERre, Chambéry, France

Abstract

Unsaturated soils are an inherent component in countless geotechnical engineering applications, particularly in the construction of earth dams and dikes. In the *pendular*, *funicular*, and *capillary* regimes, capillary bridges develop between the soil particles, significantly increasing the complexity of partially saturated soils compared to the well-understood dry and fully saturated soils [1, 2].

In this work, we propose a phase-field-based Lattice Boltzmann Method (LBM) model coupled with the Discrete Element Method (DEM) with the purpose of simulating unsaturated media over a large range of degrees of saturation. The formation of capillary bridges between the particles is simulated via an LBM scheme that solves Navier-Stokes and Allen-Cahn equations to address multiphase flow in complex geometries. This method has recently demonstrated its capabilities in handling the merging of capillary bridges, which allows us to model partially saturated media at different regimes, e.g., *pendular*, *funicular*, and *capillary* regimes [3]. As for the motion of the grains, these are computed within DEM based on contact laws [4]. An assembly of several thousands of spherical particles connected by capillary bridges is wetted at increasing degrees of saturation. It is shown that the mean capillary stress p^{cap} increases with the degree of saturation up to a certain threshold beyond which capillarity effects are lost until complete saturation as illustrated in Figure 1. As such, the developed LBM-DEM coupling scheme is found to be a viable tool that can be used to model unsaturated soils at the micro-scale.

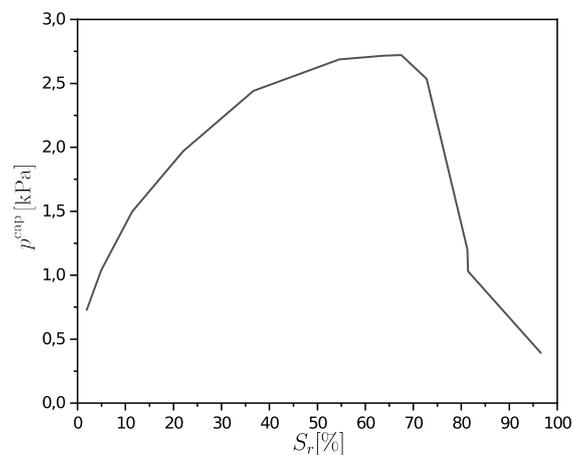


FIGURE 1 – Mean capillary stress p^{cap} [kPa] evolution in terms of degrees of saturation S_r [%].

Keywords : LBM ; Capillary bridges ; GPU ; Unsaturated medias ; Cohesion

Références

- [1] Luc SCHOLTÈS et al. “On the capillary stress tensor in wet granular materials”. *International journal for numerical and analytical methods in geomechanics* 33.10 (2009), p. 1289-1313.
- [2] Jérôme DURIEZ et Richard WAN. “Contact angle mechanical influence in wet granular soils”. *Acta Geotechnica* 12.1 (2017), p. 67-83.
- [3] Nabil YOUNES et al. “Phase-field Lattice Boltzmann model for liquid bridges and coalescence in wet granular media”. *Powder Technology* (2022), p. 117942.
- [4] Václav ŠMILAUER et al. “Yade reference documentation”. *Yade Documentation 3rd ed.* 1 (2021).

Caractérisation de la rupture en mode I des interfaces dans les circuits imprimés

ZIOUANI Charaf-Eddine^a, GIRARD Gautier^a, MERCIER Sébastien^a

a. Université de Lorraine, CNRS, Arts et Métiers, LEM3, 57070, Metz

Charaf-eddine.ziouani@univ-lorraine.fr

Gautier.girard@univ-lorraine.fr

Sebastien.mercier@univ-lorraine.fr

1 Introduction

La tendance à la miniaturisation des dispositifs électroniques pousse les fabricants de cartes de circuits imprimés (PCB) à repousser les limites de leur expertise. Pendant leur utilisation, les PCB sont soumis à des contraintes thermiques dues à la chaleur générée par l'électronique ou l'environnement. Cependant, les PCB sont des assemblages de différents matériaux avec des propriétés mécaniques diverses, notamment au niveau des coefficients d'expansion thermique. Ces différences de comportement des constituants sont à l'origine des contraintes thermiques qui peuvent entraîner parfois la décohésion des couches : entre les substrats isolants ou entre le cuivre et le substrat isolant. La méthode la plus courante pour mesurer l'énergie interfaciale entre le substrat et le cuivre dans les PCB est le test de pelage. Pendant la thèse d'Essossinam Simlissi [1] et les travaux ultérieurs [2], cette méthode a été largement étudiée, et le comportement cohésif de l'interface substrat/cuivre a été caractérisé par le test de pelage. Cependant, il a été démontré que cette méthode est complexe à utiliser si l'on souhaite obtenir une mesure précise du comportement mécanique de l'interface. Dans ce travail, le test DCB (Double Cantilever Beam) a été développé pour étudier, d'abord l'interface substrat/substrat puis l'interface cuivre/substrat. Dans cet exposé, nous nous concentrons sur la rupture de l'interface en mode I, afin de déterminer le G_{Ic} . Un dialogue entre expériences et simulations numériques permet en outre d'estimer la contrainte critique. On discutera aussi dans cet exposé la forme de la loi traction-séparation.

Mots-clés: circuit imprimé (PCB), Modèle de zone cohésive, Double Cantilever Beam, Simulations numériques, Interfaces, loi de traction-séparation

Références :

- [1] E. Simlissi · M. Martiny · S. Mercier · S. Bahi · E. Bodin (2019) Elastic-plastic analysis of the peel test for ductile thin film presenting a saturation of the yield stress. *International Journal of Fracture* 220:1–16
- [2] G. Girard · M. Martiny · S. Mercier (2021) Analysis of the peel test for elastic-plastic film with combined kinematic and isotropic hardening. *International Journal of Fracture*
- [3] H. Bae · M. Kang · K. Woo · I. Kim · K. In (2019) Test and Analysis of Modes I, II and Mixed-Mode I/II Delamination for Carbon/Epoxy Composite Laminates. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences* 20:636–652
- [4] H. Yoshihara · T. Kawamura (2006) Mode I fracture toughness estimation of wood by DCB test *Composites: Part A* 37 2105–2113
- [5] M. F. Kanninen (1973) An augmented double cantilever beam model for studying crack propagation and arrest. *International Journal of Fracture* Vol 9, No 1,

Tomographie et simulation micromécanique pour les matériaux imprimés par le procédé FFF

J. PAUX, G. GINOUX, S. PULICKAN, S. ALLAOUI

Institut de Thermique, Mécanique, Matériaux, Université de Reims Champagne-Ardenne

Email : joseph.paux@univ-reims.fr

Les matériaux polymères fabriqués par dépôt de filaments fondus ou FFF (Fused Filament Fabrication) présentent une mésostructure poreuse et anisotrope (Figure 1). Les variations des conditions d'impression pendant la dépose génèrent des variations de cette mésostructure qui peuvent altérer les propriétés mécaniques des pièces fabriquées.

Pour une impression unidirectionnelle, la plupart des modèles micromécaniques existants se basent sur des mésostructures 2D générées à partir d'une coupe de la mésostructure [1]. Or l'observation détaillée du matériau par tomographie RX montre des variations significatives le long du chemin d'impression [2]. Il est donc nécessaire de considérer des mésostructures 3D issues des résultats de tomographie, ce qui pose le problème de la sélection d'un volume élémentaire à la fois représentatif et de taille raisonnable pour avoir des temps CPU acceptables pour les simulations micromécaniques [3].

Dans ce travail, on propose une méthode d'analyse numérique des matériaux imprimés par FFF basée sur des résultats de tomographie. Cette méthode repose sur trois étapes :

- Post-traitement des résultats de tomographie et sélection de Volumes Élémentaires Représentatifs (VER). Les différentes irrégularités de la mésostructure (exemple en Figure 1) sont analysées de manière à fournir une base de donnée de mésostructures typiques.
- Mise en place de simulations micromécaniques par la méthode FFT [4]. Cette méthode présente l'avantage d'utiliser des VER voxelisés, ce qui permet d'utiliser directement les résultats de tomographie et d'éviter la difficulté du maillage de la mésostructure.
- Analyse de l'influence de la mésostructure sur les propriétés élastiques macroscopiques du matériau imprimé et sur les concentrations de contraintes dans la mésostructure.

Cette méthode permet de comprendre et de prédire l'influence des variations de la mésostructure induite par les conditions d'impression sur les propriétés élastiques du matériau imprimé et sur sa résistance.

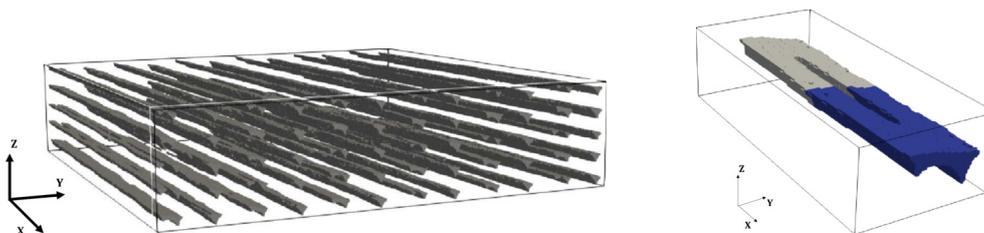


FIGURE 1 – Porosité dans la mésostructure d'un matériau imprimé, à gauche vue globale, à droite zoom sur une irrégularité.

Mots clefs : Procédé FFF, Tomographie RX, Mésostructure, Homogénéisation numérique, méthode FFT

Références

- [1] Anoop M.S. et Senthil P., *Homogenisation of elastic properties in FDM components using microscale RVE numerical analysis*, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 41, 2019, 1-16.
- [2] Ginoux G., Paux J. et Allaoui S., *New preparation method of microstructurally and mechanically standardized PETG specimens by material extrusion additive manufacturing and machining*, Additive Manufacturing, 66, 2023, 103471.
- [3] Biswas P., Guessasma S. et Li J., *Numerical prediction of orthotropic elastic properties of 3D-printed materials using micro-CT and representative volume element*, Acta Mechanica, 231(2), 2020, 503-516.
- [4] Moulinec H. et Suquet P., *A numerical method for computing the overall response of nonlinear composites with complex microstructure*, Computer methods in applied mechanics and engineering, 157(1-2), 1998, 69-94.

Mécanique des structures

Calcium-Silicate Based-Mineral Foam as Crushable Core in a Sacrificial Cladding

A. Aminou^{*a,b}, M. Ben Rhouma^{a,b}, B. Belkassem^a, L. Pyl^b and D. Lecompte^a

a. Royal Military Academy of Brussels, Military and Protective Engineering Department, Avenue de la Renaissance 30, 1000 Brussels, Belgium

*email: aldjabaraminou@hotmail.com

b. Vrije Universiteit Brussel, Mechanics of Materials and Constructions Department, Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium

1 Introduction and methodology

Cellular materials, such as aluminum foam, have emerged as highly efficient energy absorbers, making them promising candidates for crushable cores in sacrificial cladding (SC) used for blast mitigation [1]. This paper aims to provide valuable insights into the blast mitigation of calcium-silicate based-mineral foam as crushable core in a SC [2]. The experimental setup used for this study consists of a rigid steel frame measuring 1000 mm × 1000 mm × 15 mm, with a square cavity of 300 mm × 300 mm at its center. A 2mm-thick aluminum plate, representing the structure to be protected, is clamped within the frame. The blast load is generated by detonating 20 g of C4 explosive at a distance of 250 mm from the center of the plate. Two synchronized high-speed cameras in a stereoscopic configuration are used to capture the dynamic response of the aluminum plate at a frame rate of 20000 frames per second. The main focus of the study is to assess the deformation attenuation capacity of the mineral foam by comparing the out-of-plane displacement (OPD) of the thin aluminum plate with and without the protective mineral foam. Two foam configurations are considered, differing in thickness: 60 mm and 120 mm.

2 Results and conclusion

Figure 1 shows the OPD profiles of the backplate with and without the protective foam. The results demonstrate that adding the foam significantly reduces the OPD of the aluminum plate by a factor of at least two. Therefore, the mineral foam-based SC is effective in mitigating blast loads and protecting the underlying structure.

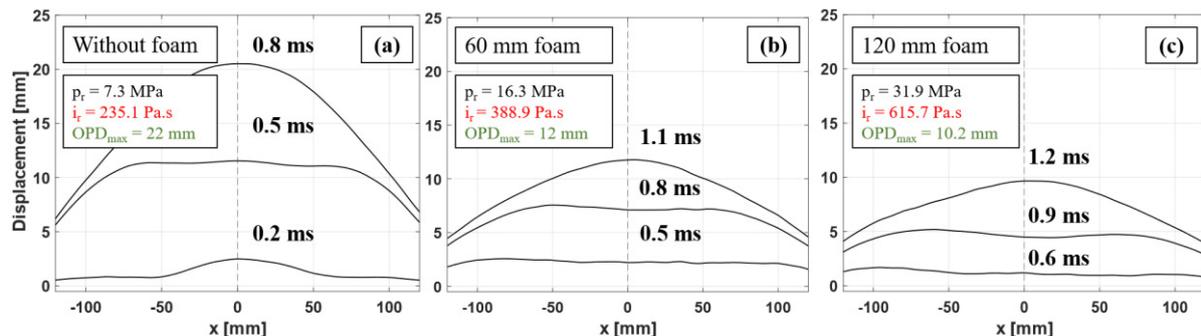


Figure 1: Out-of-plane displacement profiles of the backplate along x-axis (a) without foam; (b) with 60 mm thick foam layer and (c) with 120 mm thick foam layer

Keywords : Blast protection, sacrificial cladding, mineral foam, thin aluminum plate

References

- [1] Y. Sun and Q. M. Li, "Dynamic compressive behaviour of cellular materials: A review of the phenomenon, mechanism and modelling", *Int J Impact Eng.*, vol. 112, pp. 74-115, Feb. 2018, doi:10.1016/j.ijimpeng.2017.10.006.
- [2] A. Aminou, B. Belkassem, O. Atoui, D. Lecompte and L. Pyl, "Numerical modeling of brittle mineral foam in a sacrificial cladding under blast loading", in *Congrès Français de Mécanique*, 2022, pp. 4540-4550

Réponse de structures architecturées en acier inoxydable 316L obtenues par LMD-P

C. BUROS^a, J. LARTIGAU^a, P. VIOT^b

a. Univ. Bordeaux, ESTIA Institute of Technology, F-64210 Bidart, France, camille.buros@estia.fr

b. Arts et Métiers, I2M, F-33405 Talence, France, philippe.viot@ensam.eu

Par leur capacité à absorber de l'énergie lors d'un choc, les structures architecturées sont particulièrement répandues pour des applications de protection de biens et de personnes. Une protection efficace est garantie lorsque l'énergie absorbée est maximisée pour un effort d'impact minimisé. Les matériaux architecturés peuvent subir de grandes déformations pour une contrainte modérée, ce qui fait d'eux d'excellents candidats [1]. L'émergence des technologies de fabrication additive (FA) a rendue possible la conception et la réalisation de nouvelles géométries d'architecture pour ces matériaux, dans le but d'optimiser la structure selon l'application finale. L'arrangement des cellules constituant le matériau architecturé peut être modifié pour atteindre une réponse mécanique cible [2]. Néanmoins, pour optimiser la réponse mécanique de ces structures, leur comportement en compression doit être compris et les modèles numériques doivent être validés.

Cette étude s'intéresse à la réponse mécanique et à la microstructure de structures périodiques en acier inoxydable 316L obtenues par la technologie de projection de poudre (LMD-P). L'approche développée consiste à étudier la réponse de structures architecturées sous sollicitations en compression, en prenant en compte la stratégie d'impression 3D et la morphologie de l'architecture réalisée. Des simulations numériques en éléments finis à l'aide du code Ansys sont effectuées afin d'étudier la réponse des structures.

Pour cette première phase de l'étude, une campagne expérimentale d'essais en traction sur des échantillons normés est menée. Les résultats de cette campagne d'essais permettent d'identifier une loi de comportement du matériau constitutif. En deuxième phase de l'étude, des structures tubulaires en 316L de différentes hauteurs sont fabriqués par LMD-P. Des essais de compression quasi-statiques sont réalisés sur une machine ZWICK Roell 250kN afin d'obtenir la réponse d'une structure représentative de la cellule du matériau architecturé. Les résultats mettent en évidence des pics de force compris entre 32 kN et 36 kN pour de faibles déplacements (1,5 mm). Les tubes présentent un mode d'écrasement stable axisymétrique caractérisé par la formation de plis progressifs. Des simulations numériques d'essai en compression uni-axiale quasi-statique des structures tubulaires sont effectuées. La vitesse de déformation étant de l'ordre des $0,006 \text{ s}^{-1}$, la loi de Johnson-Cook est implémentée dans le modèle numérique.

En dernière phase de l'étude, des structures architecturées simplifiées sont fabriquées par LMD-P. Des cylindres de diamètres 25 mm et de hauteur 28 mm avec un motif tri-hexagonal sont fabriqués. Des tests en compression quasi-statiques sont menés sur une machine ZWICK Roell 250kN à une vitesse de déformation de $0,006 \text{ s}^{-1}$. Les résultats obtenus sous sollicitations uniaxiales mettent en évidence une réponse typique des matériaux architecturés, décomposée en trois phases : une phase élastique, une phase plateau et une phase de densification [3]. L'influence des scénarii de fabrication sur la robustesse du modèle numérique est caractérisée à travers des simulations des structures tri-hexagonales en implémentant la loi de comportement Johnson-Cook.

Les microstructures des échantillons fabriqués par LMD-P sont analysées lors des différentes phases de l'étude à travers des observations au microscope optique (MO) ainsi qu'au microscope électronique à balayage (MEB). Les ruptures de faciès en traction, les porosités, les différentes morphologies et tailles des grains, ainsi que les phases de grains sont ainsi étudiés. Cette étude présente les moyens expérimentaux et numériques développés ainsi que les résultats des essais obtenus aux échelles macroscopiques et microscopiques.

Mots clefs : fabrication additive métallique, structures tubulaires, structures architecturées, propriétés mécaniques

Références

- [1] T. Tancogne-Dejean, D. Mohr, Stiffness and specific energy absorption of additively-manufactured metallic BBC metamaterials composed of tapered beams, *Mechanical Sciences* 141 (2018) 101-116
- [2] C. Pan et al., Design and Optimization of Lattices Structures : A Review, *Applied Sciences* 10 (2020) 6374
- [3] Y. Sun, Q.M. Li, Dynamic compressive behaviour of cellular materials: A Review of phenomenon mechanism and modelling, *Impact Engineering* 112 (2018) 74-115.

Blast Performance of Reinforced Concrete Columns Under a Close-in Explosion: A Numerical Study

M. BEN RHOUMA^{*a,b}, A. AMINOUC^{a,b}, A. MAAZOUN^c, B. BELKASSEM^a, T. TYSMANS^b and D. LECOMPTE^a

- a. Royal Military Academy of Brussels, Military and Protective Engineering Department, Avenue de la Renaissance 30, 1000 Brussels, Belgium
*Email: Mohamed.BenRhouma@mil.be
- b. Vrije Universiteit Brussel, Mechanics of Materials and Constructions Department, Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium
- c. Military Academy of Fondouk Jedid, Civil Engineering Department, 8021 Nabeul, Tunisia

1 Introduction and methodology

Explosive incidents, whether accidental or intentional, can have devastating effects on buildings, leading to extensive damage and posing a significant risk to human life. Among the severe consequences of explosions occurring in close proximity to structures is the progressive collapse of targeted buildings. This destructive phenomenon occurs when critical structural elements, such as reinforced concrete columns (RCC), fail under blast loading. In light of these challenges, this paper aims to develop a comprehensive physics-based finite element model utilizing the explicit LS-DYNA software to simulate the response of RCC subjected to blast loading. The Load Blast Enhanced (LBE) method is used in this study. The Karagozian & Case Concrete (KCC) constitutive model is chosen for its suitability in capturing the behavior of concrete under extreme dynamic loading conditions. The numerical model is validated in terms of mid-span lateral displacement (LD) with experimental data [1 – 2]. Then a parametric study is performed based on the charge mass (M), stand-off distance (R), and column cross-section.

2 Results and conclusion

Table 1 shows the LD for different scaled-distance when considering square and circular cross-section columns. The numerical results quantitatively proved that the circular RC columns exhibit enhanced resistance compared to square companions under a close-in blast event. Reducing the blast-induced LD is feasible by increasing the scaled distance for both square and equivalent circular columns.

M (kg)	R (m)	Z (m/kg ^{1/3})	LD – Square RCC (mm)	LD – Circular RCC (mm)
30	1.55	0.5	35.1	20
	1.86	0.6	21.8	13.9
	2.18	0.7	17.2	10.1
	2.49	0.8	14.7	8.5
	2.8	0.9	10.6	6.3

Table 1: Summary of the mid-span lateral displacement as a function of the scaled distance for square and circular RCC

Keywords: RC column, Blast loading, Numerical modeling, LS-DYNA

References

- [1] Woodson SC, Baylot JT. Structural Collapse: Quarter-Scale Model Experiments 1999:176.
[2] Chen L, Hu Y, Ren H, Xiang H, Zhai C, Fang Q. Performances of the RC column under close-in explosion induced by the double-end-initiation explosive cylinder. Int J Impact Eng 2019;132. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2019.103326>

Modèle numérique de l'articulation radio-carpienne pour l'étude d'implant de resurfaçage du radius

S. BERTHE^a, M. BILASSE^{a,b}, N. BAHLOULI^a, P. LIVERNEAUX^{a,c}

a. ICube CNRS UMR7357, Université de Strasbourg, France

b. ICAM, Site de Strasbourg, France

c. Département de chirurgie de la main, HUS, France

1 Introduction

Dans un contexte où les prothèses de poignet présentent un faible taux de survie, 75% à 5 ans [1] contre 87,7% à 15 ans [2] pour la hanche, nous proposons un modèle numérique permettant d'évaluer ces dispositifs médicaux. L'étude s'appuie sur le scanner d'un avant-bras et sur la prothèse Prosthelast®. Cette dernière est commercialisée depuis moins de 10 ans. Il est donc encore trop tôt pour juger de son taux de survie. Cependant, les radiographies réalisées 3 à 6 mois après l'opération révèlent une bonne ostéo-intégration de la prothèse observable par la formation d'un cal osseux dans la partie distale du radius. Ce phénomène s'expliquerait par la présence de microdéformations à l'interface entre l'os et la prothèse bénéfique pour la croissance osseuse. Nous proposons donc un modèle numérique d'une articulation radio-carpienne saine puis opérée avec la prothèse Prosthelast®. Le calcul a été réalisé sur le logiciel de calcul élément fini Abaqus/CAE. Un encastrement est simulé dans la partie proximale du radius et un chargement de 350N est appliqué au niveau des os du carpe. Cet effort reproduit un appui de 25N pour une main en position neutre [4].

2 Principaux résultats

Une étude réalisée sur la prothèse Maestro® [4] montrait une diminution drastique des déformations dans la partie distale du radius. Il s'agirait d'un critère important dans l'échec des prothèses. Notre modèle numérique quant à lui met en évidence au contraire un niveau des déformations constants dans cette zone. Le niveau de contrainte est évalué et pourra servir de référence pour la conception de nouveaux modèles de prothèse.

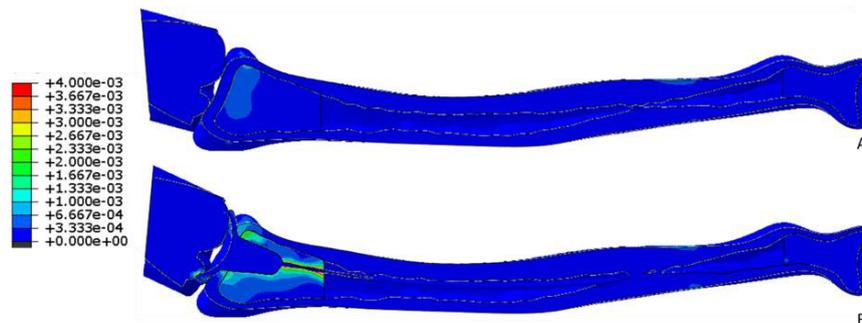


Figure : Champs de déformation dans le radius sans implant (A), et avec implant (B)

Mots clefs : Modèle éléments finis, arthroplastie, iso-élastique

Références

- [1] A. Rothwell, P. Devane, S. Young, D. Muir, A. Oakley, H. Griffin, P. Larmer, A. Pettett, T. Hobbs, NZJR 17 year report, 2016
- [2] C. M. Ward, T. Kuhl & B. D. Adams, Five to ten-year outcomes of the universal total wrist arthroplasty in patients with rheumatoid arthritis. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 2011
- [3] S. Ichihara, J. Hidalgo Díaz, J. Peterson, S. Facca, F. Bodin., & P. Liverneaux, Distal Radius Isoelastic Resurfacing Prosthesis: A Preliminary Report. *Journal of Wrist Surgery*, 2016
- [4] A. Completo, J. Pereira, A. Nascimento, F. Almeida, Strain shielding in distal radius after wrist arthroplasty with a current generation implant: An in vitro analysis, *Journal of Biomechanics*, 2017

"Full-Waveform Inversion" pour l'imagerie de l'interface béton-roche : Application aux barrages poids

L. Audibert^{a, b}, M. Bonazzoli^a, M.A. Boukraa^{a, b}, H. Haddar^a, D. Vautrin^b

a. IDEFIX, INRIA, ENSTA Paris, Institut Polytechnique de Paris, France, mohamed.boukraa@inria.fr

b. EDF R&D, PRISME, bâtiment U, 6 quai Watier, BP 49, 78401 Chatou Cedex, France

Ce travail porte sur l'imagerie de l'interface entre le béton d'un barrage poids et la roche sur laquelle il est construit, en utilisant des méthodes non destructives. Il s'agit d'un projet collaboratif entre l'équipe projet IDEFIX de l'INRIA et EDF R&D, dans le cadre de la reconnaissance d'ouvrages, visant à apporter une meilleure compréhension du comportement mécanique du barrage pour les ingénieurs en génie hydraulique.

L'objectif de ce travail est de résoudre un problème inverse en utilisant des techniques de type "Full-Waveform Inversion" [1, 2] à partir de mesures d'ondes simulées par la méthode des éléments finis. Les simulations numériques permettront également de mener des études paramétriques et de sensibilité, ainsi que de préparer des campagnes de mesure optimisées.

Le problème est résolu en utilisant une méthode d'inversion basée sur l'optimisation, où l'objectif est de reconstruire la forme inaccessible à partir des mesures collectées sur la paroi du barrage. Dans cette approche, le gradient de la fonction coût est calculé à l'aide du problème adjoint et des résultats sur la dérivée de forme.

De plus, afin de modéliser numériquement le milieu de propagation des ondes, nous introduisons des conditions de rayonnement dans la roche et dans l'eau pour simuler la dispersion des ondes à l'infini en utilisant la technique des PML (Perfectly Matched Layers).

Nous présentons les résultats de reconstruction obtenus à partir de mesures d'ondes élastiques provenant d'une source positionnée sur la paroi du barrage, ainsi que des mesures d'ondes acoustiques lorsque la source se trouve dans l'eau. Ces résultats sont analysés en fonction de la position et du nombre de capteurs, de la fréquence de propagation des ondes, ainsi que des connaissances préalables sur le milieu de propagation telles que la forme du barrage et les propriétés des matériaux.

Mots clefs : Full-Waveform Inversion (FWI), problème inverse, imagerie sismique, optimisation de forme, ondes non-destructives

Références

- [1] Lailly, P, The Seismic Inverse Problem as a Sequence of before Stack Migrations, Bednar, J.B., Robinson, E. and Weglein, A., Eds., Conference on Inverse Scattering—Theory and Application, SIAM, Philadelphia, 1983, 206-220.
- [2] Tarantola, A, Inversion of seismic reflection data in the acoustic approximation. Geophysics, 1984, 49(8) :1259–1266.

Implicit Asymptotic Numerical Method and explicit time integration method for nonlinear dynamic buckling of thin structures

Anh-Khoa Chau^{*a}, Michaël Brun^{*b}, Pascal Ventura^{*c}

^{*}Université de Lorraine, Arts et Métiers Paris Tech, CNRS, LEM3, Metz F-57000, France

a. anh-khoa.chau@univ-lorraine.fr

b. michael.brun@univ-lorraine.fr

c. pascal.ventura@univ-lorraine.fr

Abstract

In the present study, two implementations for geometrically nonlinear shell dynamics will be presented: First, the Asymptotic Numerical Method (ANM) using Newmark implicit time integration scheme; Second, the Selective Mass Scaling (SMS) strategy in order to increase the critical time step associated with the explicit Central Difference (CD) scheme. The 7-parameter shell formulation based on the Enhanced Assumed Strain (EAS) is adopted in this study enabling us to deal with nonlinear dynamic buckling [1]. The ANM was first proposed for the nonlinear quasi-static buckling problem using shell elements in [2], and was then extended to non-linear dynamics in [3].

For the implicit ANM, the procedure of Homotopy-Perturbation-time discretization (HPt) will be presented. The homotopy and perturbation techniques are employed first in order to transform the original nonlinear problem into a set of linear problems characterized by the same tangent operator. Each linear problem is discretized in time using the unconditionally stable Newmark implicit time integration scheme. The algorithm of adaptive ANM order is also introduced to improve the efficiency of the method. In addition, the size of the time step is controlled by checking the value of the homotopy parameter over the time step.

For the explicit CD simulation, it is well known that the time step needs to be smaller than the critical one which is proportional to the smallest dimension of the shell elements and thus becomes very small for thin structures. Therefore, the SMS technique was applied to increase the critical time step for solid-shell elements (6-parameter shell formulation) [4]. In this work, we exploit the idea of scaling the masses associated with the degrees of freedom of the director of the shell (transverse shear, thickness change) so that the associated high eigenfrequencies can be reduced without affecting the low and medium eigenfrequencies governing the dynamic response of the shell structure. The lumping of the mass matrix is also carried out by changing the degrees of freedom from the shell element to the hexahedral element.

In order to investigate the performance and robustness of the implicit ANM-HPt and the explicit CD-SMS approaches, two academic examples are considered: The snap-through problem of a cylindrical shell subjected to a localized force and the toss-rule problem characterized by large displacements and rotations of the thin structure. The time-history displacement, the energy balance, the conservation of linear and angular momentum as well the computation time are scrutinized in order to compare the pros and cons of the two implementations for dynamic buckling problems.

Keywords: Asymptotic Numerical Method, Thin structure, Structural dynamics, Time integration

References

- [1] N. Butcher, R. Ramm, D. Roehl. Three-dimensional extension of non-linear shell formulation based on the enhanced assumed strain concept. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol.37:2551-2568, 1994.
- [2] H. Zahrouni, B. Cochelin, M. Potier-Ferry. Computing finite rotations of shells by an asymptotic-numerical method. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol.175:71-85, 1999.
- [3] Bruno Cochelin, Christophe Compain. An Asymptotic Numerical Method for non-linear transient dynamics. *Revue européenne des éléments finis*, volume 9 – n°1 1-2-3/2000.
- [4] G. Cocchetti, M. Pagani, U. Perego. Selective mass scaling and critical time-step estimate for explicit dynamics analyses with solid-shell elements. *Computers and Structures*, vol.127:39-52, 2013.

Métamodèle à double-processus de réduction pour approximer la dynamique non-linéaire de stratifiés avec incertitude multiparamétrique

K. CHIKHAOUI^a, V. COUILLARD^a, J.-M. CADOU^a

a. Institut de Recherche Dupuy de Lôme, CNRS UMR 6027, IRDL, F-56100 Lorient, France

1 Introduction

Les processus de fabrication des composites impliquent nécessairement une marge de variabilité des paramètres (e.g. géométriques, mécaniques, de chargement), ce qui entraîne une prédiction inexacte de leur dynamique lorsqu'ils sont considérés avec des hypothèses exactes. Le calcul en temps réel de telles structures confronte les ingénieurs à plusieurs défis : modèle éléments finis, dimension de l'espace des paramètres, niveau d'incertitude, non-linéarités, etc. Pour garantir la précision tout en maîtrisant le temps de calcul, un métamodèle à double-processus de réduction est proposé, réduisant à la fois la phase hors-ligne d'acquisition et de gestion des données et la phase en ligne d'interpolation des données et de calcul en temps réel. La première phase devient progressivement l'une des parties les plus critiques des modèles à base de données. Pour surmonter ce problème, des solutions sont calculées grâce à la méthode du chaos polynomial basée sur la régression [1], pour un plan d'expériences judicieusement choisi. À partir de ces solutions un ensemble de bases réduites est construit à l'aide de la décomposition orthogonale propre (POD). Dans la phase en ligne, les bases POD sont interpolées sur un manifold de Grassmann en utilisant la pondération inverse à la distance (IDW-G) [2] pour un ensemble de valeurs non-échantillonnées des paramètres incertains (i.e. épaisseur du pli et orientation des fibres) choisis de manière aléatoire. Le métamodèle à double-processus proposé permet d'approximer avec précision la dynamique non-linéaire d'une plaque stratifiée avec un temps de calcul considérablement réduit par rapport à la résolution en ligne d'un modèle haute-fidélité basé sur un échantillonnage statistique de données hors-ligne. Ce métamodèle permet de réduire à la fois les phases hors-ligne et en ligne, ce qui met en évidence son originalité.

2 Étude numérique

Pour un chaos polynomial d'ordre quatre, la POD génère quinze sous-espaces de faible dimension qui reproduisent de manière cohérente la dynamique non-linéaire d'une plaque stratifiée dont l'épaisseur et l'orientation des fibres sur deux plis sont incertaines. Le temps de calcul hors-ligne est réduit de plus de 95 % par rapport à un échantillonnage statistique par Hypercube Latin. L'interpolation IDW-G permet de réduire le temps de calcul en ligne de 75% avec une erreur de moins de 1% pour un niveau de dispersion élevé de 20%, figure 1.

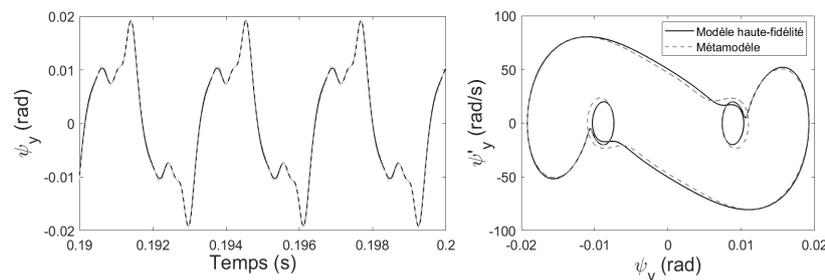


Figure 1 : Solution non-linéaire en régime permanent approximée par le métamodèle proposé comparée à la solution haute-fidélité

Mots clefs : Chaos Polynomial, Manifold de Grassmann, Incertitude multiparamétrique, Non-linéarité

Références

- [1] D. Xiu, G.E. Karniadakis, The Wiener-Askey polynomial chaos for stochastic differential equations, Journal on Scientific Computing 24(2) (2002) 619-644. <https://doi.org/10.1137/S1064827501387826>
- [2] R. Mosquera, A. Hamdouni, A.E. Hamidi, C. Allery, POD basis interpolation via IDW on Grassmann manifolds, Discrete & Continuous Dynamical Systems 12(6) (2019) 1743. <https://doi.org/10.3934/dcdss.2019115>

Multi-axial random fatigue : uniaxial equivalent testing procedure for life assessment

Luca Campello^{a,b}, Raffaella Sesana^b, Roger Serra^a

a. Mechanical Laboratory Gabriel Lamé, INSA Centre Val de Loire luca.campello@insa-cvl.fr

b. Mechanical and Aerospace Departments (DIMEAS), Polytechnic of Turin luca.campello@polito.it

...

1 Objective of presentation

On real environment, many mechanical components are subjected to random vibrations load, most of which are multi-axial. In order to estimate the damage and the fatigue life, in literature, many methods are presented. They are based on three different approaches : critical planes, where the most damaged plane is identified, the second invariant of the stress and Equivalent Von Mises Stress [1][2][3]. Once the damage has been computed, one of the most difficult tasks is to validate the system. To mitigate the testing limitations military and commercial Standards propose sequential uni-axial excitation but it leads to an excessive conservatism in terms of stress level which actually the component undergoes. Another solution is to load the system in three orthogonal axes with the use of three different uni-directional exciters [4] [5]. The objective of this study is to develop an equivalent Single Axis random fatigue life estimation model able to estimate the life of MA loaded random fatigue systems.

The study will be conducted using, as system for the testing part, a sheet specimen with two notches clamped in one edge at the top of an electrodynamic shaker. Three different materials will be used for the specimens : AISI 304 stainless steel, 2024 T3 Aluminium alloy and 2195. Our goal is to have a coupled bending torsion random loading and to analyse which mode contributes mostly to the fatigue failure of the specimen. Unfortunately, with this configuration the modal participation factors of the torsion load (third mode of vibration) result to be neglectable in relation to those of the bending modes (first and second modes of vibrations). Therefore, in order to have a torsional mode with a state of stress comparable to that on second flexional mode, it has been added a T-shape support at free tips of the specimen.

Before starting the testing campaign, tensile test and constant amplitude fatigue test need to be performed with the aim of obtaining the material parameters like Young's Module, sigma fatigue limit and Basquin's exponent.

On the same time, numerical simulation will be conducted with the purpose of estimating the dynamic behaviour of the system and the torsion-bending participation factors, defining a suitable frequency range for the fatigue analysis and predicting the fatigue life of the specimen. Once the numerical simulation has been completed, a testing campaign to calibrate and validate the numerical simulation will be carried out. At the end, the fracture surface of all the specimens will be analysed with SEM and a damage and fatigue life model will be proposed.

Mots clefs : Random Vibration, Electrodynamic Shaker, Multi-axial Fatigue, Fatigue Damage model

Références

- [1] A. Niesłony, Comparison of some selected multi-axial fatigue failure criteria dedicated for spectral method. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 2010, 48, 233-254.
- [2] A. Carpintieri, A. Spagnoli and S. Vantadori, A review of multi-axial fatigue criteria for random variable amplitude loads, *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures* 2017, 40, 1007–1036.
- [3] C. Braccresi, F. Cianetti, G. Lori, D. Pioli, Random multi-axial fatigue : A comparative analysis among selected frequency and time domain fatigue evaluation methods, *International Journal of Fatigue*, 2015, 107-118.
- [4] J.M.E. Marques, D. Benasciutti, A. Niesłony, J. Slavič, An Overview of Fatigue Testing Systems for Metals under Uniaxial and Multi-axial Random Loadings. *Metals* 2021, 11, 447.
- [5] E. Habtour, W. Skip Connon, Michael Pohland, Samuel Stanton, Mark Paulus, Abhijit Dasgupta. Review of Response and Damage of Linear and Nonlinear Systems under Multi-axial Vibration. *Shock and Vibration*. 2014.

Comparison of two fractional methods in the dynamic analysis of polymer beam

R. DANG^a, G. CHENG^a, R. SERRA^a

a. Institut National des Sciences Appliquées Centre Val de Loire, Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé EA 7494, 3 Rue de la Chocolaterie, 41000 Blois, France.

rongqi.dang@insa-cvl.fr, gang.cheng@insa-cvl.fr, roger.serra@insa-cvl.fr

Abstract

Euler-Bernoulli beams are widely used in civil and mechanical engineering for the design of bridge, building and aerospace structures [1]. The mechanical behavior of polymer involves viscosity and elasticity. It is of great significance to compare two fractional models for the dynamic analysis of polymer beam. The final objective of this research is to apply the fractional models to identify the mechanical properties and apply them to dynamic analysis under various loading conditions.

Fractional models can be used to describe the complex behavior of the materials. They exhibit higher accuracy to describe the viscoelasticity of polymers than integer models [2]. The mechanical tests are used as experimental technique to measure the viscoelasticity of materials at different temperatures [3]. In this research, thermoplastic polymer is identified using two fractional models. The fitting parameters are characterised by using the least square method. The numerical algorithm is proposed to solve the governing equation of these Euler-Bernoulli beams. Displacement function is approximated by the proposed algorithm to reduce the governing equation in matrix form. The first results show that the proposed numerical methods not only possessed a small amount of calculation but also a wider application range. Under different loading and boundary conditions, the displacements of the beam are obtained and compared with some actual or simulated results. The algorithm is proved to be effective in the dynamic analysis of polymer beam.

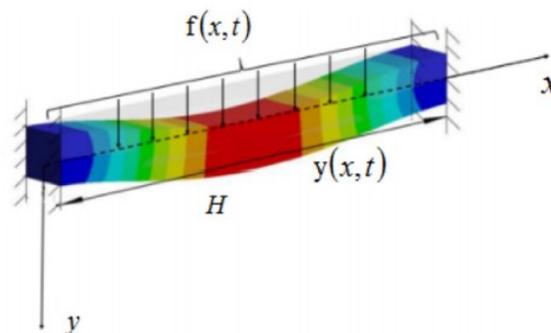


FIGURE 1 – Example of polymer beam deformation with fractional model [4].

Keywords : Polymer beam ; Fractional models ; Parameter fitting ; Numerical algorithm ; Dynamic analysis

References

- [1] G. Dadoulis, G. Manolis, Dynamic response of a damaged bridge model traversed by a heavy point mass, *Journal of Sound and Vibration*, 551 (2022) 117613.
- [2] J. Ribeiro, J. Castro, M. Meggiolaro, Modeling concrete and polymer creep using fractional calculus, *Journal of Materials Research and Technology*, 12 (2021) 1184–1193.
- [3] E. Pierro, G. Carbone, A new technique for the characterization of viscoelastic materials : Theory, experiments and comparison with DMA, *Journal of Sound and Vibration*, 515 (2021) 116462.
- [4] J. Cao, Y. Chen, Y. Wang, et al, Shifted Legendre polynomials algorithm used for the dynamic analysis of PMMA viscoelastic beam with an improved fractional model, 141 (2020) 110342.

Modélisation dynamique d'une presse à vis de forgeage : dissociation machine et outils

C. DURAND^a, H. SONG^a, R. BIGOT^a

a. Arts et Metiers Institute of Technology, Université de Lorraine, LCFC, HESAM Université, F-57070 Metz, France, heyu.song@ensam.eu, camille.durand@ensam.eu, regis.bigot@ensam.eu

1 Introduction

Les modèles masses-ressorts-amortisseurs ont été développés pour représenter le comportement dynamique de machines de forge pilotées en énergie, comme les marteaux pilons ou les presses à vis [1,2,3]. Mais jusqu'à maintenant, la plupart de ces modèles décrivent un système de production complet incluant la machine et ses outils. Si bien que, si la même machine est utilisée mais avec des outils différents, le modèle entier doit être redéfini. Ces travaux proposent une première étape vers la dissociation du modèle des outils de celui de la machine dans le cadre d'un modèle dynamique d'une presse à vis. Des frappes à vide, sans lopins, ont été réalisées sur une presse à vis avec deux configurations outils différentes. Les signaux de l'effort et de l'accélération [4] du coulisseau ainsi que leur transformée de Fourier respectives ont été comparés pour ces deux configurations. Un modèle à deux degrés de liberté a été identifié, avec un premier mode lié au comportement de la machine et un second mode lié au comportement des outils. Les paramètres des masses, ressorts et amortisseurs ont été identifiés pour les deux configurations outillage et de plus grandes variations ont été observées pour les paramètres liés au second mode. Confirmant ainsi, la possibilité de dissocier le modèle de la presse, de celui des outils.

2 La presse à vis, ses outillages, son instrumentation et sa modélisation

Sur la presse à vis étudiée, une Lasco SPR 400 de la plateforme Vulcain de Metz, un outillage modulaire permettant plusieurs configurations ainsi qu'une instrumentation du procédé, est monté et cela permet la détermination du modèle dynamique du système de production (Figure 1).

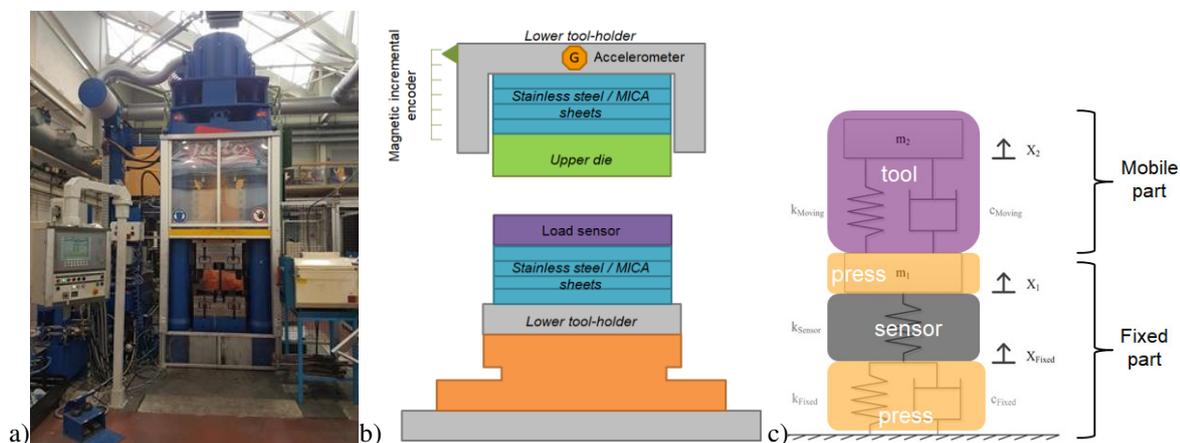


FIGURE 1 – a) la presse à vis étudiée, b) l'outillage et les capteurs associés c) la modélisation dynamique de la machine et des outils

Mots clefs : modèle dynamique, presse à vis, forge, identification paramétrique

Références

- [1] S. Tobias (1985) Survey of the development of Petro-Forge forming machines. *Int J Mach Tool Des Res* 25: pp.105–197
- [2] S. Vajpayee, M.M. Sadek, S.A. Tobias (1979) The efficiency and clash load of impact forming machines to the second order of approximation. *Int J Mach Tool Des Res* 19: pp. 237–252.
- [3] J.F. Mull, C. Durand, C. Baudouin, & R. Bigot (2020). A new tailored solution to predict blow efficiency and energy consumption of hammer-forging machines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 111(7), pp. 1941-1954.
- [4] C. Durand, L. Freund, C. Baudouin, R. Bigot, & J.D. Guérin, (2021). Comparison of different sensor technologies to monitor a forging process. 24th Int. Conf. on Material Forming ESAFORM (2021), Liège, Belgium

Impact du tranchage adaptatif sur les erreurs dimensionnelles de la FDM

A. ELAYEB^a, A. KORBI^b, F. ZEMZEMI^a, B. LOUHICHI^a

a. Université de Sousse, École Nationale d'Ingénieurs de Sousse, Laboratoire de la Mécanique de Sousse (LMS, ENISo), 4023 Sousse, Tunisie. elayebahmed@gmail.com, fzemzemi@gmail.com, borhen.louhichi@etsmtl.ca

b. Université de Monastir, École Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Laboratoire de Génie Mécanique (LGM, ENIM), 5019 Monastir, Tunisie. anis.korbii@gmail.com

1 Introduction

Bien que la fabrication soustractive ait toujours été la technique la plus utilisée dans de nombreux domaines de production, la fabrication additive est devenue une technique de production à la mode en raison de ses avantages en termes de coûts au cours des deux dernières décennies. Cependant, la fabrication additive présente certaines limites en ce qui concerne l'approche conventionnelle du tolérancement, la précision et les aspects qualitatifs, en particulier pour l'échelle dimensionnelle inférieure au millimètre. Ces aspects impliquent l'impact de nombreux paramètres définis au cours des étapes de production, tels que l'orientation d'impression, le type de matériau, la méthode d'impression et l'épaisseur de la couche. Par ailleurs, l'étape de "préparation à l'impression" [1] peut avoir une influence importante sur l'amélioration de la qualité de la pièce. Dans ce contexte, l'objectif de notre travail est de proposer une méthode de tranchage adaptée aux caractéristiques des pièces telles que les trous et les poches, et capable de réduire les erreurs dimensionnelles [2] dans les zones de contour des caractéristiques. Ensuite, la méthode de découpage proposée est développée dans un algorithme Matlab. Enfin, une étude de cas portant sur deux pièces différentes est présentée pour évaluer la solution proposée.

2 L'approche proposée

Au vu des résultats obtenus, on constate une différence de 0,2 mm entre les dimensions données par le programme et les dimensions du tranchage standard. L'erreur dimensionnelle est minimisée de plus de 50% dans l'un des cas étudiés. On peut donc conclure à l'efficacité de la méthode développée. Puisque, en plus de pouvoir changer l'épaisseur du tranchage, elle nous donne la position du début ou de la fin de la caractéristique. En d'autres termes, elle nous donne l'emplacement du début ou de la fin de cette fonctionnalité et nous permet également d'optimiser l'étape d'impression des différentes couches. Cela peut conduire à minimiser la plage de tolérances de la caractéristique souhaitée. Cela permet donc de mieux contrôler les coûts et d'améliorer le fonctionnement et l'assemblabilité des pièces.

Au cours de nos travaux, nous nous sommes concentrés sur les pièces comportant des éléments fonctionnels ou des caractéristiques. Nous avons rencontré des difficultés dans la programmation du code de découpage pour les pièces à caractéristiques multiples. Cela pourrait faire l'objet de travaux futurs afin d'améliorer le tolérancement dimensionnel et géométrique des pièces dont la forme est considérée comme complexe.

Mots clefs : Fabrication additive, Conception, Tranchage adaptatif, Algorithme, Erreurs dimensionnelles

Références

- [1] I. J. Solomon, P. Sevvel and J. Gunasekaran, A review on the various processing parameters in FDM, *Materials Today* 37 (2021) 509-514
- [2] M. Kumke, M., Watschke, H. and Vietor, T. A new methodological framework for design for additive manufacturing. *Virtual and Physical Prototyping* (2016) 3-19.
- [3] C. Moroni G, Petró S and Tolio T, Early cost estimation for tolerance verification. *CIRP60 Ann* (2011) 195-198.

Control of a Robotic filament winding application

A. A. EZZAT, G. BARBIER, G. L'HOSTIS

Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles (LPMT), Université de Haute-Alsace
11 rue Alfred Werner - 68093 Mulhouse Cedex.

ahmed-adel.ezzat@uha.fr gerald.barbier@uha.fr gildas.lhostis@uha.fr

Composite manufacturing, like any manufacturing process, can have its challenges and potential problems. One of these problems is the time so we are directed to quick composite manufacturing which refers to techniques and approaches that can expedite the process of manufacturing composite materials. This can include the use of automated manufacturing systems, so we are developing a filament winding device with robot that refers to the use of robotic systems in the filament winding process.

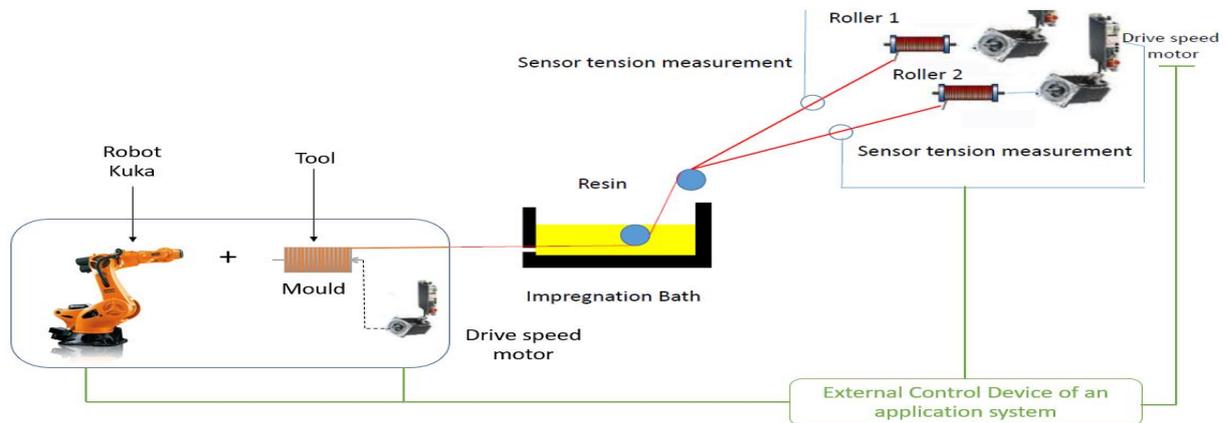


Figure 1 Robotic Filament Winding application schema

The proposed control system focuses on achieving accurate and consistent placement of the filament during the winding process of carbon fiber. In this system, the fiber is extracted from the roller with a servo motor and passes through resin to have some treatment and finally its wound through the mould which is mounted on a robot (figure 1). A command algorithm, developed outside the robot control box, ensures the process control of the application. A motion and logic controller (Master device) is used to coordinate robot movements and various motorized axis (slave devices), by signal exchanges on canopen field network. The path taken by the carbon fibers from the rollers to the mould is adjusted by the same controller, according to the impregnation time in the bath and fiber tensions. The control tension fiber is ensured by feedback of tension measurement (analog tension sensor is used) and a control loop. A PID corrector is integrated in the control algorithm developed in the controller programming software. This research is helping to advance the field of filament winding applications by taking advantage of the capabilities of 6-axis robots, combined with the use of external devices.

The authors demonstrate the importance of developing a control system adapted to this type of application and its specific features, based on hardware technologies used in modern industry. The approach proposed offers a promising way of improving manufacturing processes, enabling high-quality composite structures to be produced efficiently and effectively.

Keywords: filament winding, automation, 6-axis robot , motion control, filament tension control.

References

- [1] I.Balbzioui, B. Hasiaoui, G. Barbier, G. L'hostis, F. Laurent, A. Ibrahim, and B. Durand, A Combination of UV Curing Technology with ATL Process, HAL open science, 2017.
- [2] Ma Quanjin, M.R.M. Rejab, M.S. Idris, N.M. Kumar, M.N.M. Merzuki, Robotic Filament Winding Technique (RFWT) in Industrial Application: A Review of State of the Art and Future Perspectives, international research journal of engineering and technology, 2018.

Identification de densité de probabilité à partir de donnée à partir de réseaux de neurones à entropie maximale

G. Levillain^a, P. Beaurepaire^a, V. Barra^b

- a. Université Clermont Auvergne, Clermont Auvergne INP, CNRS, Institut Pascal, F-63000 Clermont-Ferrand, France {guillaume.levillain,pierre.beaurepaire}@sigma-clermont.fr
 b. Université Clermont-Auvergne, CNRS, Mines de Saint-Etienne, Clermont-Auvergne-INP, LIMOS, 63000, Clermont-Ferrand, France vincent.barra@clermont-auvergne-inp.fr

1 Résumé

Lorsque l'on possède un très grand échantillon de données univariées issues d'un processus stochastique, l'identification de la distribution de ces données est souvent estimée triviale. Soit une loi simple permet de caractériser les données, soit le théorème centrale limite garantit que la distribution sera gaussienne. Dans les deux cas, une simple identification de loi et d'estimateurs par tests statistiques sont supposés suffisants.

Or dans la pratique, il arrive que les lois ainsi identifiées ne passent même pas un test d'adéquation entre les données, et la loi identifiée sur ces mêmes données. Dans la réalité, certains processus ne sont pas des générateurs aléatoires parfaits, et ne valident pas les conditions nécessaires au théorème central limite pour s'appliquer.

Pour pallier à ce problème, une multitude de travaux [1, 2, 3, 4] existent pour contruire des lois qui décrivent ces données. Cependant, la plupart de ceux-ci éprouvent des difficultés à identifier des lois aux formes atypiques (par exemple les lois multimodales). Ceux de Novi Invertari [3] partent du fait qu'une variable aléatoire (VA) est uniquement caractérisée par une séquence infinie de moments fractionnels finis (X VA, $\{E[X^{\alpha_j}]\}_{j=1}^{\infty}$ avec $\alpha_j \in [0, \alpha^*]$, $\alpha^* > 0$), et à en utiliser seulement quelques-uns pour décrire la distribution. Ils utilisent ensuite le principe de maximum d'entropie [5], qui affirme que la distribution la plus parcimonieuse pour une VA est celle qui maximise l'entropie.

L'innovation de notre approche consiste alors à remplacer les moments fractionnaires par un réseau de neurones, et à l'entraîner de manière non-supervisée pour qu'il génère des estimateurs les plus pertinents possible pour décrire la distribution du jeu de données, nous permettant ensuite d'appliquer le principe de maximum d'entropie. On formule alors le problème sous la forme des distributions de maximum d'entropie avec contraintes mesurées :

$$p(x) = \exp\left(-\sum_{j=0}^n \lambda_j f_j(x)\right)$$

avec $f_0(x) = 1$ et λ_0 calculé pour assurer que la densité de probabilité s'intègre à 1. L'ensemble des réalisations des fonctions $\{f_j(x)\}_{j=1}^n$ est ainsi implémenté comme la dernière couche d'un réseau de neurones, et ce réseau est alors optimisé en maximisant l'entropie de la densité de probabilité estimée. Cette approche simple est imparfaite et ne garantit pas l'identification correcte de la densité de probabilité. Notre travail se situe trouve alors dans l'optimisation la qualité des estimateurs générés, au sens de la justesse de l'identification, et ce de manière fiable. Des premiers résultats sur des données synthétiques relativement simples (mixture de lois générées) permettent d'apprécier la pertinence de l'approche proposée.

Références

- [1] Crespo & al. On the quantification of aleatory and epistemic uncertainty using Sliced-Normal distributions. *Systems & Control Letters*
- [2] Magdon-Ismail & al. Density estimation and random variate generation using multilayer networks. *Transactions On Neural Networks*
- [3] Novi Inverardi & al. Tagliani Maximum Entropy Density Estimation from Fractional Moments. *Communications In Statistics - Theory And Methods*
- [4] Di Paola & al. Riesz fractional integrals and complex fractional moments for the probabilistic characterization of random variables. *Probabilistic Engineering Mechanics*
- [5] E.T. Jaynes, Information Theory & Statistical Mechanics *The Physical Review*

Étude de l'influence de la convection sur les tests de qualification pour les circuits imprimés

P. PERIN^a, G. GIRARD^a, M. MARTINY^a, S. MERCIER^a

a. Université de Lorraine -CNRS - Arts et Métiers ParisTech, Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux, 7 rue Felix Savart, 57070 Metz, France
paul.perin@univ-lorraine.fr

Un circuit imprimé (PCB) est un assemblage de plusieurs matériaux (diélectriques ou conducteurs) présentant des coefficients d'expansion thermique souvent très différents. A cause de cela des contraintes apparaissent en son sein lorsqu'il subit un chargement en température. Ces contraintes peuvent entraîner de la déformation plastique dans les pistes de cuivre et conduire à une rupture par fatigue oligocyclique lors d'un chargement thermique cyclique [1]. Elle peuvent également causer la délamination des différentes couches du PCB [2]. Pour que la conception du PCB soit valide celui-ci doit subir de nombreux tests électriques et thermomécaniques. Dans ce travail, deux tests thermomécaniques sont considérés : le cyclage thermique [-55°C/125°C] et le solder float test (ou floating). Lors de ces deux tests, le PCB est chauffé par convection, avec l'air dans le premier cas, et avec un bain d'étain liquide dans le second.

Le test de floating consiste à déposer le PCB sur un bain d'étain à 288°C 3 fois de suite, pendant trente secondes. Afin de modéliser le solder float test et d'étudier les contraintes qu'il engendre, il est nécessaire de connaître le coefficient de convection à l'interface PCB/étain liquide. Ce dernier a déjà été estimé [3]. Dans notre étude, nous avons mené une campagne d'essais qui a permis de le mesurer dans le cas de convection libre sur une surface horizontale. A la suite, l'essai de floating a été modélisé et on montre alors que la température du PCB y est très hétérogène.

On rappelle que pour modéliser le cyclage thermique, il est couramment admis qu'un modèle éléments finis à la température uniforme convient. Ce n'est donc pas le cas du solder float test. Modéliser la convection ayant lieu lors de celui-ci a en effet permis de mettre en évidence une nouvelle cause aux contraintes thermiques. Lorsque les transferts thermiques sont pris en compte, la grande différence de conductivité thermique entre les matériaux peut en effet induire des contraintes allant jusqu'à plastifier le cuivre présent dans le circuit. La nature des échange et la vitesse de ceux-ci sont donc à prendre en compte lors des essais de qualification.

Mots clefs : Circuits Imprimés. Modèle Éléments Finis. Convection. Plasticité.

Références

- [1] Salahouelhadj, A., Martiny, M., Mercier, S., Bodin, L., Manteigas, D., and Stephan, B. Reliability of thermally stressed rigid-flex printed circuit boards for High Density Interconnect applications. *Microelectronics Reliability*, 54.1 (2014) : 204-213.
- [2] Sood, B., Sanapala, R., Das, D., Pecht, M., Huang, C. Y., and Tsai, M. Y. Comparison of printed circuit board property variations in response to simulated lead-free soldering. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, 33.2 (2010) : 98-111.
- [3] Wolff, F., Beckermann, C., and R. Viskanta. Natural convection of liquid metals in vertical cavities. *Experimental Thermal and Fluid Science* 1.1 (1988) : 83-91.

Process Characteristics and Performance Assessment of Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM-CMT) Under Uncertainties

Shyam PULICKAN^a, Pascal LAFON^a, Laurent LANGLOIS^b

a. LASMIS, Université de Technologie de Troyes, Troyes | e-mail : shyam_george.pulickan@utt.fr

b. LCFC, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Metz

Additive Manufacturing (AM), have been in the forefront of Industry 4.0, owing to its capability to fabricate intricate parts which would be otherwise complicated with conventional processes. Therefore, significant amount of recent interest and investment have opened ways for several new AM technologies, but without fundamental design guidelines. The processes are controlled by several input parameters, and the uncertainties in these input parameters, give rise to unexpected variations restricting the efficient prediction of the geometry and properties of final parts [3]. Often, the design criteria are evaluated using expensive numerical simulations, which are not capable of accurately predicting the product/process behaviour. Therefore, the present study, employs a statistical approach, based on observations, to quantify the uncertainties in the input parameters in an effort to propagate these uncertainties to the part geometry, aiding in predicting the final geometry.

In the process of WAAM-CMT, the principal input parameters are the Wire Feed Rate (V_{feed}) & the Travel Speed (V_T) using previous researches and experiences [1, 3]. To address the repeatability of the process and the effect of uncertainty in the input parameters, on the geometry of fabricated parts, a batch of 40 beads with different set of input parameters has been fabricated. The part geometry (Height & Width) is measured and linked with the variation in the input parameters during the fabrication to understand how the uncertainties affect the part.

The statistical analysis have shown that the uncertainties are large enough such that the process can be deemed not-repeatable as the measures are dispersed more than the significance value of 5% used in ANOVA test. Nevertheless the variation is such that the V_{feed} & V_T can be represented using a Gaussian probability density function, parameterized by Mean (μ) and Standard-Deviation (σ) (verified by χ^2 - Goodness of Fit test) [2]. This parametric method enables to propagate the uncertainties through the existing model [1], and predict the end geometry using a pre-determined algebraic function, in order to verify the potential of the model to replace experiments. Thus an observation based model, which takes into account the unprecedented variation of the input parameters enables the user to have a better prediction of the final geometry, and a multivariate model capturing all the variations in all the beads could help in understanding the variation in the repeatability of the process.

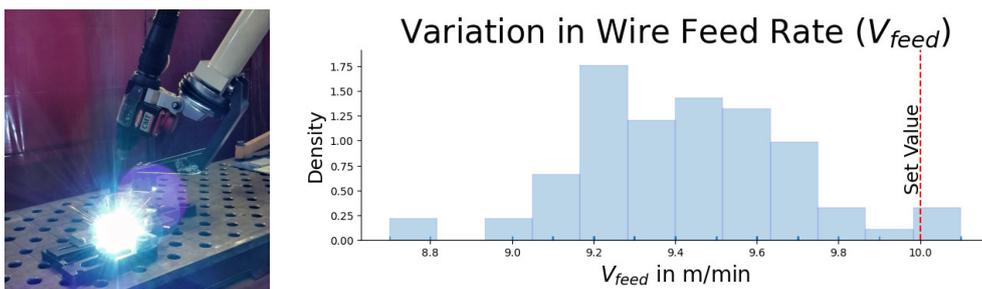


FIGURE 1 – (a) WAAM-CMT Process (b) Variation found in the Wire Feed Rate during the fabrication from the set value

Mots clefs : WAAM-CMT , Uncertainty Propagation, Univariate & Multivariate Modelling.

Références

- [1] Zeya Wang, Robotisation de la fabrication additive par procédé arc-fil : Identification et amélioration de la commande. Thèse. Université de Lorraine. 2022
- [2] Sheldon M. Ross, Goodness of fit tests and categorical data analysis, *Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists* (2009) pp :485-516.
- [3] Chuanchu Su and Xizhang Chen, Effect of depositing torch angle on the first layer of wire arc additive manufacture using cold metal transfer (CMT), *Industrial Robot : the international journal of robotics research and application* 46.2 (Mar. 2019), pp. 259–266

Modélisation de la raideur d'un flexible

P.-L. SCHAEFER^a, T. FORMOSA^b

a. ArianeGroup, JTLM1, Forêt de Vernon, 27207 Vernon, France, pierre-loup.schaefer@ariane.group

b. ArianeGroup, JTLM1, Forêt de Vernon, 27207 Vernon, France

1 Introduction

Les flexibles font partie des éléments assurant la circulation des ergols dans les composants d'un moteur fusée à propulsion liquide. Ils sont composés d'un tube formé de plusieurs convolutions, appelé onduleux, entouré d'une ou plusieurs couches de tresses métalliques. La tresse permet la reprise des efforts longitudinaux dus à la pression des ergols circulant dans l'onduleux. Une caractérisation adéquate des flexibles en raideur est nécessaire pour obtenir des résultats représentatifs des comportements statique et dynamique du moteur.

2 Méthodologie

Plusieurs approches de modélisation de tresse se basent sur l'homogénéisation locale d'un brin de tresse pour exprimer une matrice de raideur équivalente [1]. Le travail réalisé vise à développer un modèle de raideur de tresse basé sur l'homogénéisation globale du brin de tresse. La modélisation complète du brin de tresse permet la prise en compte de l'effet non-linéaire du nombre de tour que fait un brin autour du flexible sur la raideur de celui-ci. La prise en compte de ce phénomène est particulièrement importante vis à vis de l'objectif d'étudier le comportement des flexibles courts. La modélisation du brin repose sur une formulation de la théorie des poutres [2] et permet d'exprimer la configuration déformée du brin en fonction du type de sollicitation que subit le flexible (traction ou flexion). La raideur de la tresse est obtenue par approche énergétique en exprimant l'énergie de déformation du brin complet, puis l'énergie de déformation de la tresse par homogénéisation. La création du modèle a été faite en Python avec le package de calcul formel Sympy [3]. En spécifiant les sollicitations on obtient alors en sortie directement les formules analytiques de raideur la tresse. En comparant les valeurs de raideurs données par cette modélisation avec les données d'essais de caractérisation mécaniques de flexibles, on s'aperçoit que la raideur axiale donnée par le modèle est entre 60% et 140% supérieur à la raideur axiale mesurée expérimentalement. Le phénomène identifié comme cause principale de cette surévaluation est le contact radial entre les brins, non pris en compte dans la version actuelle du modèle, et qui amène de la souplesse. Une piste d'amélioration du modèle a été identifiée, elle est basée sur l'intégration d'un modèle de contact provenant de la théorie de Hertz et est en cours d'intégration.

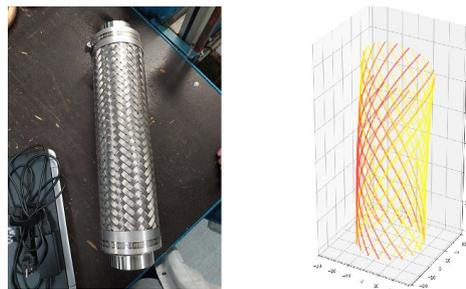


FIGURE 1 – Flexible et modélisation des brins de la tresse

Mots clefs : tresse, théorie des poutres, modélisation analytique, raideur, contact

Ce travail de recherche a été co-financé par le CNES et ArianeGroup. Ne pas diffuser en dehors de France.

Références

- [1] H. Hachemi, H. Kebir, J.M. Roelandt, E. Wintrebart, A study of the braided corrugated hoses : Behavior and life estimation, *Materials & Design*, Volume 32, Issue 4, 2011, Pages 1957-1966, ISSN 0261-3069,
- [2] J.C. Simo, A finite strain beam formulation. The three-dimensional dynamic problem. Part I, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Volume 49, Issue 1, 1985, Pages 55-70, ISSN 0045-7825.
- [3] Meurer A et al. (2017) Sympy : symbolic computing in Python. **PeerJ Computer Science* 3 :e103*

Soudage FSW pour alliage d'aluminium 6061-T6 avec outil sans pion

K. MUSTAPHA^a, B. ABDESSAMAD^b

a. UNIV SIDI BEL ABBES + mustapha_kaid@yahoo.fr

b. UNIV SIDI BEL ABBES + abdouda2002@gmail.com

Résumé:

Le soudage par friction malaxage (FSW) est une nouvelle méthode de soudage à l'état solide, créée et brevetée par «The Welding Institute» (TWI) en 1991. Les premières applications de FSW ont été faites dans des fabrications en aluminium. La qualité de la soudure est excellente, sans aucune des porosités pouvant être générées lors du soudage par fusion [1], et les propriétés mécaniques sont au moins aussi bonnes que celles optimales obtenues par soudage par fusion. Le procédé est écologique, car il ne dégage aucune fumée ni éclaboussure, et il n'y a pas d'éblouissement d'arc ni de rayon laser réfléchi avec lequel lutter. Un autre avantage majeur réside dans le fait que, en évitant la création d'un pool fondu qui se rétracte de manière significative lors de la solidification, la distorsion après le soudage et les contraintes résiduelles sont faibles. Dans ce travail, nous étudions le soudage FSW sans pion sur l'alliage 6061-O pour différents paramètres. Des caractérisations mécaniques seront consacrées. Un point clé de cette partie sera la maîtrise les paramètres de soudage mis en jeu. Il s'agira tout d'abord : D'étudier l'influence des paramètres de soudages sur les propriétés mécaniques ensuite [5],[6], réaliser une étude du flux de chaleurs au cours de soudage pour les différents paramètres. Ainsi, l'étude de profil de la micro dureté après le soudage, pour les différents paramètres, a été consacrée.

Mots clefs : soudage FSW, l'alliage 6061- T6, paramètres de soudage, flux de chaleurs, la micro dureté.

Références

- [1] Kaid, M, Zemri M, Brahami A, Zahaf S. Effect of friction stir welding (FSW) parameters on the peak temperature and the residual stresses of aluminum alloy 6061- T6: Numerical modelisation. *Int. J. Interact. Des. Manuf* 2019; 13: 797–807.
- [2] A. Fehrenbacher, J.R. Schmale, M.R. Zinn, F.E. Pfefferkorn, Measurement of Tool-Workpiece Interface Temperature Distribution in Friction Stir Welding, *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 136(2) (2014).
- [3] A. Fehrenbacher, N.A. Duffie, N.J. Ferrier, F.E. Pfefferkorn, M.R. Zinn, Toward Automation of Friction Stir Welding Through Temperature Measurement and Closed-Loop Control, *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 133(5) (2011).

Thermique

Etude du transfert de chaleur d'un échangeur à bout hémisphérique enterré

Dhahri Imen^a, Lotfi Ammar^b

a. Laboratoire de Modélisation Mathématique et Numérique dans les Sciences de l'Ingénieur, Université de Tunis El Manar. Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis. imendh@gmail.com

b. Laboratoire de Modélisation Mathématique et Numérique dans les Sciences de l'Ingénieur, Université de Tunis El Manar. Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis. lotfi.ammar.la@gmail.com

...

1 Introduction :

Le problème de la convection forcée dans les tubes horizontaux ou la géométrie annulaire cylindrique a reçu une attention considérable dans ces dernières années en raison de son importance dans de nombreuses applications industrielles, en particulier dans la production de l'énergie (centrale nucléaire ...) et dans les installations climatiques (bâtiments, serres ...). Les dispositifs de transfert de chaleurs classiques doivent être largement améliorés pour répondre à ce besoin, en modifiant la structure, les propriétés et les conditions thermiques de la surface de l'échangeur.

La géométrie complexe des échangeurs de chaleur est développée dans les dernières années dans le domaine de la géothermie et le domaine de la récupération de l'énergie solaire (collecteur solaire à tubes sous vide).

Mnassri [1] a développé un code de calcul basé sur un modèle de couplage entre la méthode des éléments finis à la frontière (BEM) et la méthode de volumes finis (FVM) pour résoudre le problème du transfert de chaleur d'un écoulement laminaire à l'intérieur d'un échangeur constitué de deux tubes coaxiaux placés dans un bain de sable fin et sec. Cette méthode a été développée pour valider une étude expérimentale de **Desmons [2]** dans les mêmes conditions.

Badar [3] a développé un modèle numérique stationnaire unidimensionnel pour étudier la performance thermique d'un type particulier de collecteur solaire sous vide avec tuyauterie coaxiale. Cette structure coaxiale à un inconvénient unique, le transfert de chaleur interne à l'intérieur de la canalisation concentrique entraîne une diminution de l'efficacité à des débits réduits dans cette structure coaxiale. Les résultats de la modélisation sont comparables aux observations expérimentales.

Dans ce contexte, nous avons peu à peu été amenés à étudier les conditions aux limites imposées sur la paroi de l'échangeur, soit la température constante (problème de Dirichlet) développée par **Padet [4]** et c'est la base de cette étude et qui n'a pas trouvé beaucoup d'intérêt dans la littérature à cause de sa complexité et qui est un peu plus laborieuse par rapport à la condition du flux de chaleur constant (problème de Newman).

Dans la présente étude, nous avons utilisé la simulation numérique comme outils de résolution, l'écoulement considéré est stationnaire, incompressible, dont la paroi est maintenue à une température constante. L'objectif de ce travail est de traiter ces conditions dans une géométrie complexe composée de deux tubes cylindriques coaxiaux à bout sphérique, une procédure de simulation numérique en utilisant le module **CFX** du code **ANSYS** qui nous a donné la distribution de la température et de la vitesse en fonction des différents paramètres tels que le coefficient de transfert de chaleur, le nombre de Reynolds, la température d'entrée, la géométrie et la condition thermique imposée telle que la température.

Mots clefs : La distribution de température, l'échangeur de chaleur, la convection forcée, la production d'énergie, les conditions thermiques.

Référence :

[1] T. Mnassri, Ben Younes R., Raddaoui M. and Elouragini S., Simulation of convective heat-transfer coefficient in a buried exchanger, American Journal of Applied Sciences. Vol.5, N°8, pp.927-933, 2008.

[2] J. Y. Desmons et R. Ben Younis. Prédiction à long terme de la réponse d'un stockage de chaleur sensible dans le sol. Int. J. Heat Mass Transfer. Vol 40. No. 13, pp. 3119-3134. 1997

[3] A.W.Badar, R. Buchholz, F. Ziegler. Single and two-phase flow modeling and analysis of a coaxial vacuum tube solar collector. Solar Energy 86 (2012) 175-189.

[4] Jacques Padet . Principe des transferts convectifs. Seconde édition révisée 2010.

Caractérisation des MCP microencapsulés en suspension

M. LEROY, C. METIVIER, N. LOUVET, Y. JANNOT

Université de Lorraine, CNRS, LEMTA, F-54000 Nancy, France, maxime.leroy@univ-lorraine.fr,
christel.metivier@univ-lorraine.fr, nicolas.louvet@univ-lorraine.fr, yves.jannot@univ-lorraine.fr

Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons aux matériaux à changement de phase (MCP). Ces matériaux apportent un élément de réponse aux problématiques actuelles de stockage/déstockage de l'énergie. En effet, durant la transition de phase du MCP, la chaleur latente que celui-ci absorbe ou relâche est nettement plus importante que la chaleur sensible. Cependant, le taux de transfert de cette énergie est limité, étant donné que les MCP sont caractérisés par une faible conductivité thermique (0.1-0.4 W/(m.K)) [1]. Pour pallier ce problème, une solution est d'augmenter la surface d'échange de chaleur pour un volume de MCP donné, via la division et l'encapsulation de celui-ci. Une manière d'utiliser les particules ainsi obtenues est de les placer en suspension dans un fluide caloporteur, permettant alors la mise en écoulement du système. Les suspensions de MCP encapsulés bénéficient d'un regain d'intérêt ces dernières années [2], nécessitant une caractérisation poussée de leur propriétés thermophysiques. Nous proposons une caractérisation complète des propriétés thermophysiques à l'échelle macroscopique d'une suspension aqueuse de MCP microencapsulés (MCPm). Ces travaux portent dans un premier temps sur une étude via calorimétrie des propriétés thermiques du MCP seul et de la suspension de MCPm. Les expérimentations ont permis la détermination précise des températures qui sont associées au changement de phase du matériau. Nos résultats soulignent le rôle déterminant et initiateur de la membrane sur le processus de cristallisation du MCP, cette dernière favorise la nucléation hétérogène du matériau [3], provoquant l'élargissement de la plage de température de solidification. En outre, nous vérifions comme attendu que la mise en suspension des MCPm dans une phase aqueuse permet une nette augmentation de la capacité thermique, comparativement au MCP pur. Par ailleurs, nous avons mené une étude densimétrique qui a également permis de mettre en évidence le changement de phase du matériau, grâce à la variation abrupte de densité de la suspension observée durant celui-ci. Cette variation, à intervalle de température équivalent, s'avère environ treize fois moins importante lors des mesures effectuées en dehors de la plage de température de transition de phase. Finalement, la rhéologie de la suspension a été étudiée. Nous observons un caractère rhéofluidifiant de la suspension d'autant plus marqué que la concentration en particules augmente. Indépendamment de cette concentration, il semble que l'état physique (solide/liquide) du PCM présent dans la suspension n'ait pas un rôle prépondérant sur la viscosité du matériau.

Mots clefs : matériaux à changement de phase, chaleur latente, transition énergétique, encapsulation, suspension

Références

- [1] P. Cheng et al., Different dimensional nanoadditives for thermal conductivity enhancement of phase change materials : Fundamentals and applications, *Nano Energy*, 2021.
- [2] M. Jurkowska et al., Review on properties of microencapsulated phase change materials slurries (mPCMS), *Applied Thermal Engineering*, 2015.
- [3] B.Xie et al., Crystallization Behaviors of n-Octadecane in Confined Space : Crossover of Rotator Phase from Transient to Metastable Induced by Surface Freezing, *J. Phys.*, 2008.

Caractérisation numérique de l'apport convectif de la MQL (*Minimum Quantity Lubrification*) en usinage

A. NAJEM^a, G. ALTMEYER^a, A. DUCHOSAL^a

^aUniv. Tours, Univ. Orléans, INSA CVL, LaMé, France, adam.najem@univ-tours.fr,
guillaume.altmeyer@univ-tours.fr, arnaud.duchosal@univ-tours.fr

1 Introduction

L'usinage joue un rôle important dans l'industrie, notamment l'industrie automobile [1]. Durant le processus, l'énergie thermique est libérée dans les zones de contact outil-matière, au niveau de la genèse du copeau (déformation plastique et arrachement de matière), au niveau de l'interface outil-copeau et outil-pièce usinée (frottement). Bien que la majorité de la chaleur soit évacuée par le copeau, le flux thermique entrant dans la pièce influence ses propriétés et sa tenue mécanique. Afin de s'affranchir de ces contraintes thermiques qui ont un effet néfaste sur la durée de vie de l'outil, des méthodes de lubrification et de refroidissement de la zone de coupe, de la pièce et de l'outil sont appliquées. L'émulsion (un mélange d'huile et d'eau) est communément utilisée afin de réduire les effets de friction et augmenter la durée de vie de l'outil, mais elle présente des inconvénients économiques, sanitaires et environnementaux. Récemment, des travaux ont été menés afin de limiter la quantité de lubrifiants utilisés dans l'usinage [2]. Une approche prometteuse est la quantité minimale de lubrification (MQL) qui consiste à lubrifier la zone de coupe par pulvérisation d'un brouillard d'huile à l'aide d'air comprimé. Son utilisation se répand actuellement dans les industries mécaniques [3]. Des études expérimentales ont préconisé l'utilisation de la MQL et ont souligné ses avantages économique (réduction du coût de production), mécanique (état de surface de la pièce et sa tenue mécanique) et écologique [4] pour certaines applications. Bien que des études expérimentales semblent indiquer que la MQL ne joue pas un rôle convectif important, une investigation numérique est nécessaire pour comprendre complètement le comportement thermique lors de l'usinage. Dans cette étude, nous proposons une approche numérique visant à simuler l'évolution de la température de l'outil de coupe en fraiseage, en se focalisant sur les aspects de lubrification et de convection de la MQL.

2 Modèle numérique

Afin de déterminer les apports de la MQL, des essais de fraisage ont été réalisés. Les efforts de coupes et la température de l'outil ont été mesurés par le biais d'une table dynamométrique et un thermocouple situé sur l'assise de la plaquette. Un modèle numérique thermique (Volume finis, transitoire implicite) a été développé afin de s'affranchir des limitations expérimentales et prendre en compte le rôle convectif de la MQL, quantifié par un coefficient de convection forcé. Une géométrie complète de l'outil de coupe a été considérée pour modéliser toutes les zones de déformations, y compris la troisième souvent omise des calculs [5]. Les charges thermiques ont été simulées en introduisant des sources de chaleurs spatio-temporelles cyclique pour reproduire l'aspect intermittent du fraisage. Ces sources de chaleurs évoluent en fonction des efforts de coupes pour reproduire l'influence de l'usure de l'outil. La température de l'outil simulé est en étroite corrélation avec les mesures expérimentales. Les résultats montrent que la MQL se limite à la réduction des efforts de frottement par lubrification mais n'a pas d'apport important sur le refroidissement par convection.

Mots clefs : Simulation numérique – Usinage – Température – Lubrification- MQL

Références

- [1] A.K. Sharma, A. K. Tiwari, A. R. Dixit, Effects of Minimum Quantity Lubrication (MQL) in machining processes using conventional and nanofluid based cutting fluids: A comprehensive review, *Journal of Cleaner Production* 127 (2016) 1-18
- [2] A. Duchosal, S. Werda, R. Serra, C. Courbon, R. Leroy, Experimental method to analyze the oil mist impingement over an insert used in MQL milling process, *Measurement* 86 (2016) 283-292
- [3] A. Duchosal, R. Serra, R. Leroy, C. Louste, Numerical steady state prediction of spitting effect for different internal canalization geometries used in MQL machining strategy, *Journal of Manufacturing Processes*, 20 (2015) 149-161
- [4] S. Werda, A. Duchosal, G. Le Quilliec, A. Morandau, R. Leroy, Effect of minimum quantity lubrication strategies on tribological study of simulated machining operation, *Mechanics & Industry* 20, (2019)
- [5] S. Al Sofyani, I. Marinescu, Analytical modeling of the thermal aspects of metalworking fluids in the milling process, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 92, (2017)

Comparaison entre le béton, le sable, l'argile, l'eau et la paraffine comme matériaux de stockage de chaleur pour le Chauffe-eau solaire

Walid ZAAFOURI^a, Romdhane BEN SLAMA^b

^aUnité de recherche : Energie, Eau, Environnement et Procédés, Ecole national d'ingénieurs de Gabès (ENIG), Université de Gabès, Tunisie

^bInstitut supérieur des sciences appliqués et de technologie de Gabès (ISSAT), Université de Gabès, Tunisie

^aWalid ZAAFOURI. E-mail : Walidzaafouri9@gmail.com

^bRomdhane BEN SLAMA. E-mail : romdhaneb.slama@gmail.com

Résumé

L'énergie solaire, bien que renouvelable, présente encore un handicap de stockage de chaleur, particulièrement pour les chauffe-eaux solaires à stockage intégré. En effet, ces derniers présentent un refroidissement nocturne important. La nature du matériau de stockage peut influencer la durée de vie des ballons de stockage, la quantité de chaleur stockée et sa vitesse de restitution. Nous comparons ici cinq matériaux pour le stockage de la chaleur qui sont le sable, le béton, l'argile, Matériaux de Changent Phase (MCP) et l'eau comme élément de référence pour les comparaisons. Quant au MCP utilisé ici, il s'agit de paraffine vendue dans le commerce, bien que d'autres matériaux admettent une enthalpie de fusion plus élevée. Si lors du chauffage diurne, le MCP n'atteint pas les températures les plus élevées, c'est parce que l'énergie solaire reçue est utilisée pour son changement d'état. Cependant, d'un point de vue quantité de chaleur emmagasinée, le MCP est le meilleur vu de sa chaleur latente élevée. Également pour le refroidissement nocturne, le MCP maintient la température élevée.

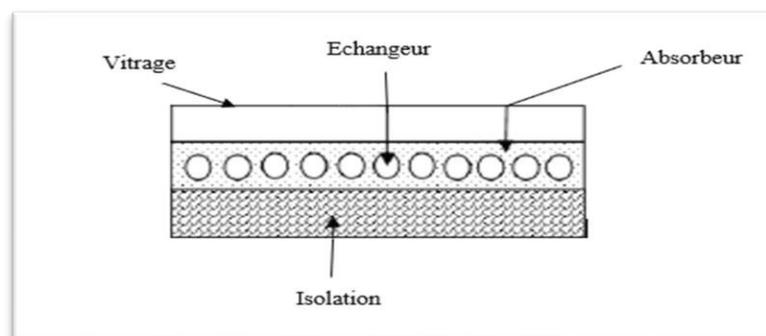


Figure 1. Schéma d'un chauffe-eau solaire à accumulation intégré

Mots-clés : Eau Chaude, Energie Solaire, Collecteur de Stockage Intégré, Matériaux de Stockage, Béton, Sable, Argile, Paraffine

Références

- [1] Borello D. and all. Experimental and computational investigation of a new solar integrated collector storage
- [2] Souliotis M. and al. Heat retaining integrated collector storage solar water heater with asymmetric CPC reflector. *Solar Energy* 85 (2011) 2474-2487.
- [3] Smyth M., Eames P.C., Norton B. Integrated collector storage solar water heaters. *Renewable and sustainable energy reviews* 10 (2006), 503-538.
- [4] K.S. Reddy Thermal modeling of PCM-Based solar Integrated Collector Storage Water Heating System. *Journal of Solar Energy Engineering* 129(4).

Poster

Integrating Design of Experiments (DoE) with Contextual Database (CDB) to Solve Inventive Problems. Application on Lattice structures

Mohamed ABDELLATIF^{a,b,*}, Hicham CHIBANE^b, Sébastien DUBOIS^b, Roland DE GUIO^b

a. Université de strasbourg, CSIP, ICube, UMR-CNRS 7357, 67084 Strasbourg Cedex, France

b. INSA de Strasbourg, 24 Boulevard de la victoire, 67084 Strasbourg Cedex, France

* Mohamed.abdellatif@insa-strasbourg.fr

Abstract

Many inventive design problem-solving methods have been developed during the last few decades, either based on Design of Experiments (DoE) [1] [2], or not based on it [3]. However, recent literature reviews have paid less attention to providing a complete representation of design parameters that are used in planning the DoE. To address this problem, we introduce a method to integrate a contextual database (CDB) with the inventive design process. This method is based on collecting data and information from different sources, such as scientific databases, expert interviews, and simulation reports from Computer-Aided Design (CAD) and Finite Element Modeling (FEM) software. The applicability of this method is tested through its application to the lattice structure. The figure 1 shows the process of changing the model from existing traditional cellular forms, e.g., Octet-truss, to a new model which is responding to a specific industrial mechanical problem, e.g., energy absorber, thanks to applying our proposed method.

This study aims to present a DoE-based inventive design method that provides a comprehensive representation of design parameters used in planning the DoE. The proposed method seeks to determine the value of integrating a new contextual database of lattice structures in the mechanical field for solving inventive design problems. The developed method is illustrated as an inventive process for designing new products based on lattice structures, using energy absorption as a case study. As a future work, the optimization-invention loop should be implemented once again to achieve ideality and fulfill the complete set of design objectives without any compromises.

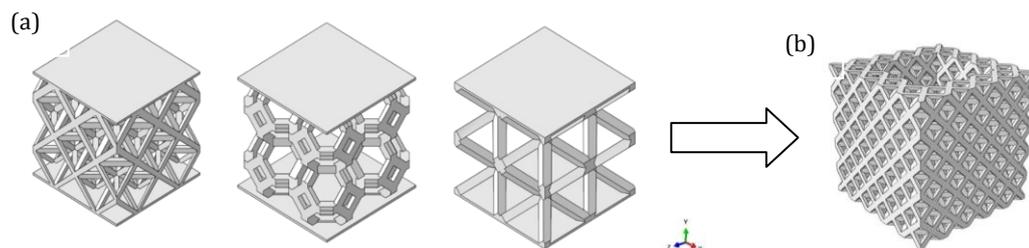


Figure 1 : The process of changing the model, (a) the existing model (cellular forms from left to right are: octet-truss, kelvin, BCCz), (b) the new model

Keywords : Design of Experiments, Contextual Database, Lattice structure, Optimization, Invention

Références

- [1] Chibane, H., Dubois, S. and De Guio, R., 2021. Innovation beyond optimization: Application to cutting tool design. *Computers & Industrial Engineering*, 154, p.107139.
- [2] Edouard, Rémi, Hicham Chibane, and Denis Cavallucci. "New characterizing method of a 3D parametric lattice structure." *FME Transactions* 49.4 (2021): 894-895.
- [3] Hanifi, Masih, Hicham Chibane, Remy Houssin, Denis Cavallucci, and Mohamed Abdellatif. "Prioritizing the initial problem choice in the inventive design process: Proposal of an FMEA-AHP-based method." (2022).

Comportement thermomécanique des composites à matrice acrylique /fibres de lin nanochargées : approche expérimentale et numérique

D. KOUMBA MENDOUE^a, R. MATADI BOUMBIMBA^a, A. BENELFELLAH^b

a. Université de Lorraine, Laboratoire d'étude des microstructures et de mécanique des matériaux (LEM3, F-57000 Metz, France)

E-mail : djamy.koumba-mendoue@univ-lorraine.fr, rodrigue.matadi-boumbimba@univ-lorraine.fr

b. Laboratoire de mécanique Gabriel Lamé (LAME), institut polytechnique des sciences avancées (IPSA)

E-mail : abdelkibir.benelfellah@ipsa.fr

Résumé

De nos jours, les composites à base de résines thermoplastiques représentent 37% du marché mondial contre 63% pour les composites à matrices thermodurcissables. Certaines de ces résines, telle que l'ELIUM acrylique, possèdent de bonnes propriétés mécaniques, ont la particularité de polymériser à température ambiante et peuvent être recyclables. Cependant leurs propriétés mécaniques bien que conséquentes, paraissent encore insuffisantes pour certaines applications pour lesquelles une résistance accrue est nécessaire. En combinant une résine thermoplastique avec des fibres naturelles telles que les fibres de Lin, on obtient un composite présentant des propriétés mécaniques proches de celles d'un composite à base de résine thermodurcissable, en plus de garder un caractère recyclable. L'ajout de nanoparticules dans les composites à base de fibres de lin peut conduire à l'amélioration de leurs propriétés mécaniques, thermiques, électriques et peut réduire considérablement leur caractère hydrophile. Ce projet a pour objectif le développement d'un matériau composite aux propriétés améliorées par l'addition de nanotubes de carbone dans une matrice de résine Elium acrylique. L'étude vise à évaluer d'une part le comportement thermomécanique et électrique du mélange résine Elium/nanotubes de carbone, et d'autre part, celui du composite Elium/fibres de lin nano-chargées. Dans un premier temps nous avons évalué les propriétés élastiques, dynamiques ainsi que thermiques de la résine chargée à différents taux en NTC. Composites élaborés à l'aide du procédé par couler de résine. Les résultats obtenus feront l'objet de cette communication par un poster.

Mots clefs : Fibres de lin, nanotubes de carbone multiparois, résine Elium acrylique, comportement thermomécanique, nano-composite

Références

[1] Chilali, A.; Zouari, W.; Assarar, M.; Kebir, H.; Ayad, R. Effect of water ageing on the load-unload cyclic behaviour of flax fibre-reinforced thermoplastic and thermosetting composites. *Compos. Struct.*, 2018, 183, 309–319.

[2] ABIDA, M. Comportement hygroscopique et couplage hygromécanique dans les composites lin / époxy: approche expérimentale multi-échelle et modélisation. 2018, 176.

[3]Nayak, R.K.; Mahato, K.K.; Ray, B.C. Water Absorption Behavior, Mechanical and Thermal Properties of Nano TiO₂ Enhanced Glass Fiber Reinforced Polymer Composites. *Compos. Part Appl. Sci. Manuf.*, 2016, 90, 736–747

Réparation expérimentale et numérique par collage de patches externes double recouvrement d'un composite stratifié tissé fibres de verre/Elium® acrylique (E190/GF) avec une résine réparatrice Elium® E351 EOT

N. KOUMBA^{a,b}, R. MATADI BOUMBIMBA^b, N. BONFOH^a, F. EBA^b

a. Université de Lorraine, CNRS, Arts et Métiers ParisTech, LEM3, F-57000 Metz, France

b. Laboratoire Pluridisciplinaire de Sciences, Ecole Normale Supérieure (ENS-GABON), BP 17009, Libreville, Gabon

Résumé

Dans l'objectif de procéder au remplacement des composites thermodurcissables moins respectueuses de l'environnement, une résine thermoplastique liquide, Elium® acrylique polymérisant à température ambiante a été développée par le Groupe ARKEMA [1]. Les composites à matrice Elium® acrylique sont destinées aux applications automobiles, nautiques et éoliens [2]. Ils vont progressivement être introduits dans l'industrie automobile pour la tenue structurale des véhicules. Toutefois, lors de leur utilisation les stratifiés tissés sont susceptibles de développer des endommagements statiques aux différentes échelles du matériau. Au niveau industriel en fonction de la criticité du dommage, des réparations physico-chimiques comme le collage ou le soudage offrent une efficacité structurelle élevée pour prolonger la durée de vie des structures dégradées à faible coût et restituer les propriétés mécaniques en résistance et rigidité [3]. Dans cette étude expérimentale et numérique des stratifiés tissés E190/GF sollicités en traction uni-axiale, on démontre la pertinence et l'efficacité de la réparation par collage sous vide des E190/GF percé d'entailles circulaires avec une résine réparatrice E351-EOT. Les taux moyens de récupération de la charge étaient significatifs pour E190/GF_D10R ("7,9%", 3,55%, "13%"), E190/GF_D20R ("23%", "18%", "3,32%"), E190/GF_D30R ("7,2%", "9,36%", "32,37%") pour des taux de déformation de "0,001", "0,01", et "0,05 s⁻¹" respectivement. De plus, des modèles éléments finis combinant critères de Hashin et Modèle de Zone Cohésive (MZC) ont été mis à contribution pour modéliser les endommagements intra et inter-laminaires des composites tissés E190/GF sous un déplacement imposé. Ces critères de ruine sont implantés dans le code de calcul ABAQUS.

Mots clefs : Stratifié tissé ; Réparation par collage ; Elium® acrylique ; Endommagements ; Eléments finis.

Références

- [1] G. Kinvi-Dossou *et al.*, « Innovative acrylic thermoplastic composites versus conventional composites: Improving the impact performances », *Composite Structures*, vol. 217, p. 1- 13, juin 2019, doi: 10.1016/j.compstruct.2019.02.090.
- [2] W. Obande *et al.*, « Thermal reshaping as a route for reuse of end-of-life glass fibre-reinforced acrylic composites », *Composites Part B: Engineering*, vol. 257, p. 110662, mai 2023, doi: 10.1016/j.compositesb.2023.110662.
- [3] F. L. Matthews, P. F. Kilty, et E. W. Godwin, « A review of the strength of joints in fibre-reinforced plastics. Part 2. Adhesively bonded joints », *Composites*, vol. 13, n° 1, p. 29- 37, janv. 1982, doi: 10.1016/0010-4361(82)90168-9.

Geometrical, Flexural and Vibrational Characterization of Saxophone Reeds

A. Sashi Kiran MADUGULA^a, B. Fabrice SILVA^a, C. Christophe VERGEZ^a, D. Aurelien

MAUREL-PANTEL^a, E. Guilherme MACHADO ^a, F. Maxime CARRON^b, G. Madeline ROSENZWEIG^b

a. Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, LMA UMR 7031, Marseille, France + (10)

b. Syos, Paris, France (10)

1 Introduction

The sound production by the saxophone, a single-reed wind instrument relies mainly on the control of the vibration of a plate by the player's lower lip and the air blown into the instrument. This vibrating plate is securely attached to the mouthpiece and is known as a reed. It is one of the principal components responsible for generating notes played by musicians. Traditionally, saxophone reeds are made from natural cane, particularly *Arundo-Donax*. However, these reeds may have certain disadvantages such as limited durability and anisotropy [1]. To address these inconsistencies, synthetic reeds have emerged as an alternative.

In this study, we have investigated eight different reeds, including both synthetic and natural ones and, compared their design, material and vibroacoustic properties. We employed microtomography to capture the 3D view of each reed and redesigned it using CAD software. A bending test was conducted to test the property of the reed material. Finally, vibroacoustic tests were performed to effectively analyze the dynamic properties of the reeds, and modal analyses were carried out to identify the vibrational modes and their corresponding damping factors. Ultimately, these reeds were compared based on their respective design, rigidity, and vibroacoustic properties. The long-term aim of this study is to facilitate the fabrication of reeds aiming to aide musicians in customizing their reeds that can align with their specific needs.

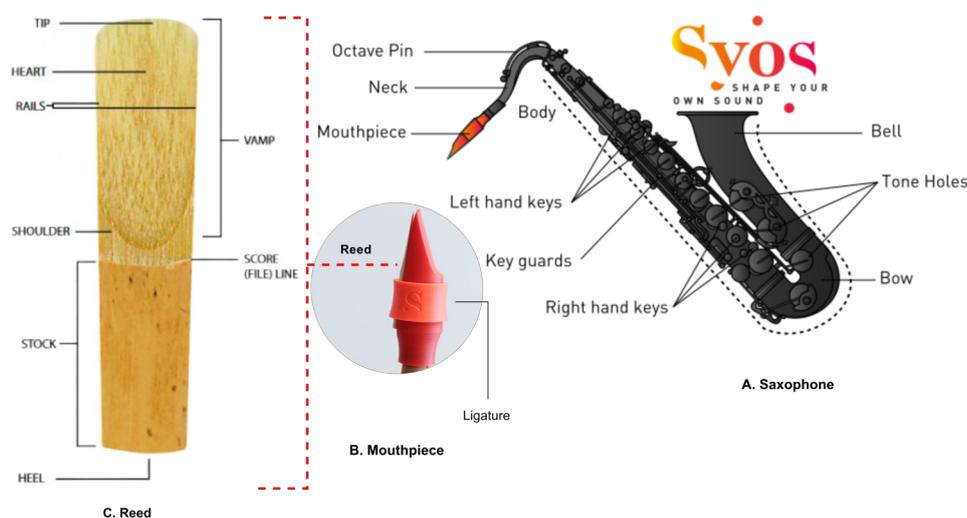


FIGURE 1 – Saxophone anatomy

Key words : Vibration, Dynamic, Rigidity test, Modal Analysis, Micro-tomography (micro CT), Acoustic, Reeds

Références

- [1] Bucur, Voichita, Traditional and new materials for the reeds of woodwind musical instruments, Wood Science and Technology, 2019-09, 10.1007/s00226-019-01117-9.

Commission Égalité Hommes-Femmes de l'AFM : **la place des femmes dans le domaine de la mécanique en France** **Actions de soutien**

R. MASSION^a, Y. GOURINAT^b,

- a. LEM3 Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux, Université de Lorraine, CNRS UMR 7239, Arts et Métiers ParisTech, 7 rue Félix Savart, 57070 Metz, France, roxane.massion@univ-lorraine.fr
- b. Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace, 10 avenue Édouard Belin, 31055 Toulouse cedex 4 CNRS UMR 5312 Institut Clément Ader yves.gourinat@isae-superaero.fr

1 Présentation de la commission

Cette commission, mise en place en août 2021, a pour but de promouvoir la place des femmes dans le domaine de la mécanique en France. Que ce soit dans la recherche tant académique qu'au sein des entreprises, les femmes sont minoritaires et ce phénomène est encore plus marqué en sciences pour l'ingénieur, où elles représentent 19% des enseignantes-chercheuses [1] et seulement 13% des chercheuses en entreprise [2].

Le travail de notre commission consiste à mener un certain nombre d'actions pour promouvoir une dynamique d'égalité afin de corriger les facteurs à l'origine des inégalités Hommes/Femmes dans les métiers de la mécanique comme par exemple des actions pédagogiques, des actions de documentations et d'informations, des actions de soutien et lors d'événements labellisés Association Française de Mécanique comme le Congrès Français de Mécanique. Une session dédiée à notre commission a d'ailleurs eu lieu lors du CFM à Nantes en 2022.

2 Groupe de travail : Action de soutien

Ce groupe de travail s'est réuni à plusieurs reprises pour répondre aux questions :

- Comment créer un lieu de paroles pour permettre l'expression des souffrances liées au fait d'être une femme dans un milieu masculin ?
- Comment motiver des femmes à se proposer aux élections / postes à responsabilités ?
- Comment aider les femmes à accepter de faire partie des jurys lorsqu'elles sont sollicitées ?
- Identifier et détecter les conditions de développement des discriminations, chercher à y remédier.
- Mettre en place un mentorat pour aider les femmes en début de carrière qui ressentiraient le besoin d'être accompagnées par une personne plus expérimentée et bienveillante en dehors de leur cercle proche.

Des pistes de réponses et de réflexions seront discutées lors de cette présentation, comme par exemple la mise en place concrète d'un rituel autour du café permettant les ouvertures et la libération de la parole. Ces actions contribueront à la lutte contre toutes les discriminations et auto-censures, sans aucune exclusions.

Mots clefs : Commission Égalité Hommes/Femmes, actions de soutien

Références

- [1] Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation - Vers l'égalité Femmes-Hommes ? Chiffres Clés 2019
[2] Note d'information et recherche n°16-05 – Les chercheurs en entreprise en 2013 - Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

The optimum helical coil structure for heat transfer improvement in the cylindrical tank

Sami Missaoui, Romdhane Ben Slama, Bechir Chaouachi

Energy, Water, Environment and Processes (LR18ES35)-ENIG

E-mail: Missaouisami1988@gmail.com

1 Abstract

This study examines the thermal properties of several designs of helically coiled tube heat exchangers. Three different coil configurations—constant diameter, variable pitch, and variable diameter—are tested and numerically examined. In order to choose the best coil structure to improve the heat transfer process between the helical condenser coil and water in the tank, a numerical investigation using CFD was conducted to examine the impact of various helical condenser coil structure designs on the operating performance of the domestic refrigerator for water heating.

The two-dimensional Axisymmetric model [1–4] is used to complete the numerical investigation, and experimental data from helical condenser coils with constant diameter are used to validate the results. The water temperatures calculated numerically for condenser coils with constant diameter correlate well with experimental values. Results are compared, and they show that the variable pitch coil had a higher heat transfer coefficient than both the constant diameter and variable diameter coils. The results also demonstrated that the novel arrangements have a higher total heat transfer coefficient than the previous two structure designs.

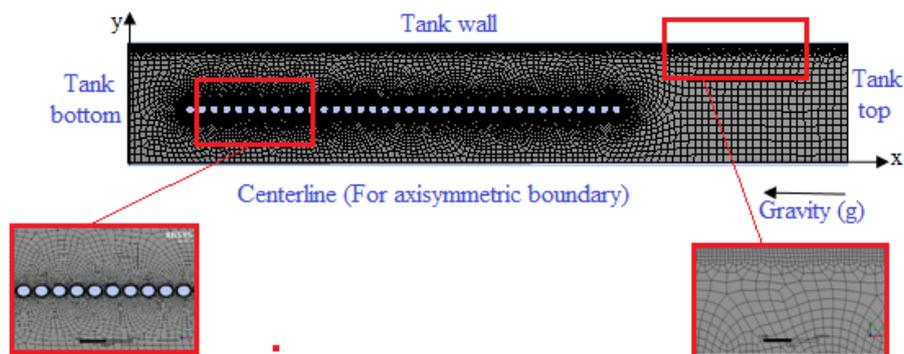


Figure: Graphical Abstract

Key words: Helical heat exchanger design, Geometrical effect, Heat transfer enhancement, Experiments, Numerical modeling, coupled model.

References

- [1] Missaoui S., Driss Z., Slama R.B., Chaouachi B., Experimental and numerical analysis of a helical coil heat exchanger for domestic refrigerator and water heating. *Int. J. Refrig.* 133 (2022) 276–288.
- [2] Ye Q., Li S., Investigation on the performance and optimization of heat pump water heater with wrap-around condenser coil. *Int J Heat Mass Transfer* 143 (2019) 118556.
- [3] Missaoui S., Driss Z., Slama R.B., Chaouachi B., Numerical analysis of the heat pump water heater with immersed helically coiled tubes. *J Energy Storage* 39 (2021) 102547.
- [4] Dai N., Li S., Simulation and performance analysis on condenser coil in household heat pump water heater. *Sustain Cities Soc* 36 (2018) 176–184.

Piezoelectric modeling taking into account temperature effect

P. C. Ramamisoa, F. Faliniaina

Universite de Tananarive, BP 566, ESPA

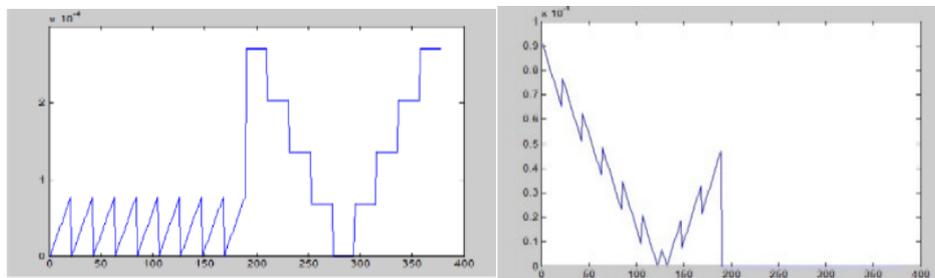
...

1 Introduction

Piezoelectric investigation using finite element method constitute our last stage. Developed program enabled us induced strain field of composite substrate under external electric field or mechanical stress load. In this work we are focused on the behavior of piezoelectric coupling with temperature. Physical observation shown the strong change of electrical polarization with increased external heat source applied of complex composite system. Mathematical finite element model taking into account thermal piezoelectric physical coupling given in the next equation; detailed in (2) was then performed and specific algorithm for matrix assembling was also established. Finally, new electric field induced by external load under thermal condition can be deduced by the use of specific program.

$$\begin{bmatrix} [M_{uu}] & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{\ddot{u}\} \\ \{\ddot{\varphi}^F\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K_{uu}] & [K_{u\varphi}^{FF}] \\ [K_{\varphi u}^{FF}] & [K_{\varphi\varphi}^{FF}] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{u\} \\ \{\varphi^F\} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \{F(t)\} - [K_{u\varphi}^{FA}]\{\varphi^A\} - [K_{u\theta}]\{\theta\} \\ \{Q^F(t)\} - [K_{\varphi\varphi}^{FA}]\{\varphi^A\} - [K_{\varphi\theta}]\{\theta\} \end{Bmatrix}$$

Constitutive equation for piezoelectric phenomenon taking into account thermal K_{uu} , $K_{u\theta}$, $K_{u\varphi}$, $K_{\varphi\theta}$ mean respectively elasticity, elastothermic, piezoelectricity, pyroelectricity stiffness matrix. u, φ, θ mean respectively strain, electric field, temperature



Strain induced (left) and electric field induced (right) taking into account elastothermic; piezoelectric, pyroelectric physical coupling; under strain and thermal external loads

Keywords : Pyroelectricity, Piezoelectricity, Finite Element Method

References

[1] <<Modeling of Magnetodielectric Effects in Magnetostrictive/Piezoelectric Multi-layers Using a Multiphysics Simulator >>, F. Rasoanoavy, V. Laur, R. Smaali, P. Queffelec, Comsol conference, 2010, Paris

[2] <<Finite Element Analysis of Active and Sensory Thermopiezoelectric Composite Materials>> Ho-Jun Lee, Glenn Research Center, Cleveland, Ohio, NASA/TM-2001-210892.

Elaboration et caractérisation d'un matériau à gradient de fonction (FGM)

B. SAIDANI^a, J. ZGHAL^a, I. BRUANT^a, D. BREGIROUX^b, J. PETIT^a, J. CEDELLE^a, G. CHEVALLIER^c

a. Laboratoire Energétique Mécanique Electromagnétisme (LEME) b.saidani@parisnanterre.fr
jzghal@parisnanterre.fr ibruant@parisnanterre.fr johann.petit@parisnanterre.fr jcedelle@parisnanterre.fr

b. Sorbonne Université, CNRS, Chimie de la Matière Condensée de Paris, LCMCP, F-75005 Paris,
France, damien.bregiroux@sorbonne-universite.fr

a. Franche-Comté Electronics Mechanics Thermal Science and Optics – Sciences and Technologies (FEMTO-ST) gael.chevallier@femto-st.fr

Au cours des dernières années, une nouvelle catégorie de matériaux composites appelés FGM (Functionally Graded Materials) a été développée, initialement pour résoudre des problèmes thermiques [1]. Ces matériaux se distinguent par le fait qu'ils présentent des propriétés qui évoluent de manière continue le long d'une ou plusieurs directions. Cette caractéristique découle de l'association de deux matériaux distincts, chacun ayant des propriétés structurales et fonctionnelles spécifiques, et d'une transition progressive entre les deux. Ces propriétés sont régies par la loi d'homogénéisation suivante :

$$P(z) = (P_m - P_c)(V_m(z))^k + P_c \quad \text{avec : } V_m(z) = \frac{z}{h}, \quad z \in [0, h]$$

où P_m et P_c sont les propriétés des deux matériaux, k l'indice de fraction dépendant de la propriété considérée.

Plus récemment, ces matériaux ont été étendus aux matériaux piézoélectriques, formant les FGPM (Functionally Graded Piezoelectric Materials). Les travaux effectués au LEME ont montré l'intérêt de ces matériaux en contrôle actif de vibrations [2, 3]. Cependant, il y a encore des lacunes dans la modélisation de la variation des propriétés mécaniques et piézoélectriques du FGPM en fonction de la composition et de la microstructure, ainsi que dans la fabrication des FGPM.

L'objectif de notre étude consiste donc à fabriquer et caractériser un FGPM. Pour ce faire, la première étape consiste à élaborer un FGM, suivi d'une polarisation pour obtenir un FGPM.

Afin de mener à bien cette étude, nous avons élaboré un FGM de Ni-BaTiO₃ en utilisant la méthode de frittage Spark Plasma Sintering (SPS). Ce matériau est composé de cinq couches, avec une variation progressive de la teneur en Ni de 0% à 100%. Pour estimer la variation des propriétés mécaniques dans l'épaisseur du FGM, 5 mélanges homogènes (100% BaTiO₃, 75% BaTiO₃ - 25% Ni, 50% BaTiO₃ - 50% Ni, 25% BaTiO₃ - 75% Ni et 100% Ni) ont été frittés. Dans le but d'observer l'impact de la polarisation sur leurs propriétés (dans le cadre de travaux futurs), des tests non destructifs sont réalisés dans ce travail. La densité, la dureté Vickers, le module de Young et le coefficient de Poisson ont été mesurés. Les résultats de chaque monolithique nous permettent d'identifier la loi de puissance qui régit la variation de chaque propriété dans l'épaisseur du FGM.

Mots clefs : Matériaux FGM, caractérisation mécanique, loi de puissance, Spark Plasma Sintering (SPS)

Références

- [1] I. Elishakoff, D. Pentaras, and C. Gentilini, Mechanics of functionally graded material structures. 2015.
- [2] J. Maruani, Contrôle actif des vibrations de structures élastiques FGPM, Thèse, Université Paris Nanterre, 2019.
- [3] J. Maruani, I. Bruant, F. Pablo, and L. Gallimard, Active vibration control of a smart functionally graded piezoelectric material plate using an adaptive fuzzy controller strategy, J. Intell. Mater. Syst. Struct., vol. 30, no. 14, pp. 2065–2078, Aug. 2019.

Vers le pilotage en temps réel d'un processus de forgeage : développement d'un modèle de substitution pour une opération de forgeage multi-coups.

D. URIBE^a, C. DURAND^a, C. BAUDOIN^a, R. BIGOT^a

a. Arts et Metiers Institute of Technology, Université de Lorraine, LCFC, HESAM Université, F-57070 Metz, France, [david_santiago.uribe_espitia@ensam.eu](mailto: david_santiago.uribe_espitia@ensam.eu), [camille.durand@ensam.eu](mailto: camille.durand@ensam.eu)

1 Introduction

Les simulations numériques jouent un rôle crucial dans la conception des procédés de forgeage en aidant à déterminer les variables de pilotage et à évaluer les capacités des opérations. Cependant, elles ignorent les variabilités présentes sur les procédés réel. Ainsi, les variables définies pour le pilotage sont basées sur des conditions nominales et ne sont pas ajustées pour chaque pièce produite. Cela soulève des interrogations sur l'adaptabilité et l'optimisation des paramètres de pilotage pour prendre en compte chaque situation réelle.

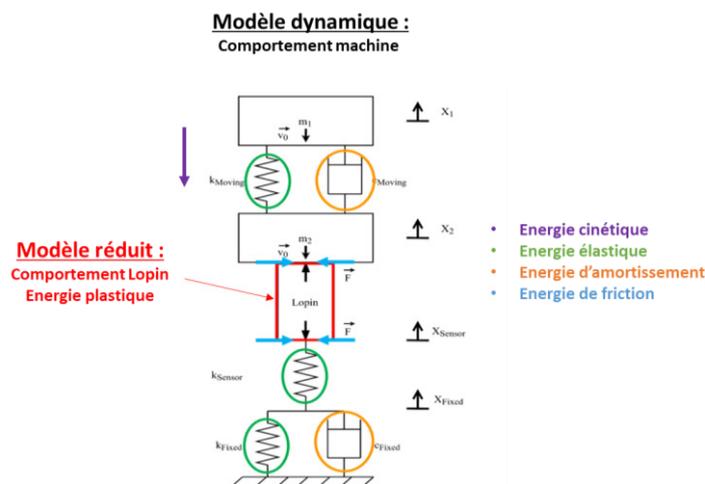


Figure 1 : Couplage du modèle réduit axé sur les données (lopin) et modèle dynamique (presse)

La méthodologie proposée dans cette étude concerne le processus de refoulement d'un lopin cylindrique de cuivre à froid sous une presse à vis (machine pilotée en énergie). Dans cette approche, un couplage est réalisé entre un modèle réduit basé sur les données, entraîné à partir de simulations par éléments finis, et un modèle masse-ressort-amortisseur qui représente la dynamique de la machine. Le modèle réduit prédit le comportement de l'effort en fonction du déplacement pour le lopin. Ce comportement est utilisé par le modèle dynamique, qui simule l'interaction entre le lopin et la machine pour un nombre spécifié de coups. Cette interaction génère une courbe corrigée effort-déplacement, à partir de laquelle les hauteurs intermédiaires et les charges maximales pour chaque coup peuvent être extraites, ainsi que l'efficacité des coups et la répartition de l'énergie. La prédiction des hauteurs intermédiaires et de l'efficacité des coups permet de piloter l'opération de forgeage sous presse à vis en déterminant le point de consigne énergétique nécessaire pour obtenir la pièce finale souhaitée.

Mots clefs : Forgeage, modèle réduit, modèle dynamique machine, pilotage, temps réel

Références

- [1] J.-F. Mull, C. Durand, C. Baudouin, and R. Bigot, "A new tailored solution to predict blow efficiency and energy consumption of hammer-forging machines," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 111, no. 7–8, pp. 1941–1954, Dec. 2020, doi:10.1007/s00170-020-06237-2.
- [2] C. Durand, R. Bigot, and C. Baudouin, "Contribution to characterization of metal forming machines: application to screw presses," *Procedia Manuf.*, vol. 15, pp. 1024–1032, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.07.391.
- [3] R. Bigot, S. Leleu, and P. Martin, "Forming Machine Qualification by Analysis of Manufactured Parts Geometry: Application to Aluminium Forming Process," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 21, no. 7, pp. 476–482, May 2003, doi: 10.1007/s001700300056

Liste des soutiens

