

Congrès des Jeunes Chercheurs en Mécanique - Méca-J

Recueil des résumés



25-27 août 2021
En distanciel – France

Du fait de la condition sanitaire, un certain nombre de congrès scientifiques ont été annulés ou reportés. Un groupe de jeunes doctorants, post-doctorants et enseignants-chercheurs en mécanique souhaite initier le Congrès des Jeunes Chercheurs en Mécanique (CJCM), les Méca-J !

L'objectif de ce congrès est de favoriser les échanges entre les jeunes mécaniciens effectuant leurs recherches dans les laboratoires français. Ce congrès comportera des séances d'exposés et de posters vous permettant de présenter vos recherches. Cette première édition se déroulera intégralement en distanciel du 25 au 27 août 2021 dans le cadre de l'*Année de la Mécanique* avec le soutien du GTT AUM / AFM. L'inscription est gratuite et ouverte à toutes celles et tous ceux actuellement en cours de thèse ou en poste d'enseignants chercheurs ou chercheurs depuis moins de 7 ans.

Ce recueil rassemble l'ensemble des communications retenues pour présentation orale et/ou lors de la session poster.



Table des matières

Mécanique des structures	1
Experimental/numerical buckling analysis of thick elasto-visco-plastic hemi-egg shells, Jacquet Nicolas [et al.]	1
Méthode de régularisation évanescente pour un problème inverse en théorie des plaques minces, Boukraa Mohamed [et al.]	3
Modèle de champ de phase unifié pour simuler la rupture intergranulaire et transgranulaire à l'échelle du polycristal, Riad Soukaina [et al.]	4
Étude expérimentale et numérique du comportement d'assemblages collés de composites, Shiri Seddik	5
Etude de nids d'abeille hexagonal ré-entrant dans les dispositifs de retenue routiers, Tondut Jeanne	6
Behaviour of a Kirchhoff rod loaded by a pure moment, Hariz Marwan	7
Mechanical characterization of an engineered origami structure: toward self-actuation of a bistable seamless Kresling tower, Hu Kejun [et al.]	8
Optimisation de la mesure des contraintes résiduelles dans les composites à renforts fibreux : méthode du trou incrémental, Ibrahim Mamane Aboubakar Sedick [et al.]	9
Modèle Cohesive Zone Model-Discrete Element Method pour la rupture quasi-fragile, Sage Margaux	10
Influence du coefficient de frottement sur l'endommagement par fatigue de contact de roulement d'une roue ferroviaire, Nemeyuko Médiateur [et al.]	11
Modélisation et caractérisation de l'endommagement jusqu'à la rupture de l'assemblage structurel soudé par points, Beck Léon [et al.]	12

Étude du comportement mécanique de pièces métalliques fabriquées par procédés DED, Lartigau Julie [et al.]	13
Étude de la tenue en fatigue de pièces réalisées en fabrication additive SLM, assemblées par soudage laser, Abroug Foued	14
Influence de gradient d'humidité sur la charge à la rupture des éléments en bois, Ghanem Nihal [et al.]	15
Modélisation des plaques gonflables en grandes transformations, Lacorre Paul [et al.]	16
Couplage hydroélastique de structures membranaires pressurisées pour l'étude de l'amerrissage d'urgence des hélicoptères, Blanchard Clément	17
Nucléation et propagation de fissure sous choc thermique, Aderkaoui Yassine	18
Optimisation paramétrique d'un matériau homogène équivalent pour le morphing d'un hydrofoil, Spahic Malik	19
Analyse critique des mécanismes de lésions cérébraux sur sujets instrumentés soumis au blast, Elster Natacha [et al.]	20
Controle actif des frequences d'une membrane de tom : implementation experimentale, Wijnand Marc [et al.]	21
Comportement des scellements chimiques d'armatures rapportées pour béton après exposition au feu, Abdelrahman Alhajj Chehade Nagham [et al.]	22
Equation analytique pour déterminer la résistance d'un boulon à tête à la rupture par cône de béton à température ambiante, Robson Miora [et al.]	23
Effet de la rigidité du maintien de la semelle tendue sur le Déversement des Poutres en I, Belaid Toufik [et al.]	24
Mécanique des matériaux	25
Instrumentation de textiles par fibres optiques pour mesure in-situ de frottement, compression, déformation, Bahin Lucas [et al.]	25
Etude du comportement mécanique d'un PPS GF40 en fonction de la température et de l'immersion dans du liquide de refroidissement, Bourgogne Quentin [et al.]	27
Développement et implémentation numérique d'un modèle d'homogénéisation élastoviscoplastique pour des aciers austeno-ferritiques vieillis, Tsekpuia Eyram [et al.]	28

Micromechanics-based elasto-plastic–damage energy formulation for strain gradient solids with granular microstructure, Barchiesi Emilio [et al.]	29
Comportement mécanique de matériaux sandwichs innovants, Salloum Joulia [et al.]	30
Développement et caractérisation d’un composite à base de coproduits de la viticulture pour une application dans le bâtiment, Badouard Céline	31
Identification automatique des défauts du marbre en vue de reconfigurer des machines-outils à commande numérique, Hammouda Mouna [et al.]	32
Constitutive modelling of mechanical behaviour of laser based Powder Bed Fusion melted Inconel 718 superalloy over a wide range of strain rates, Delcuse Laura [et al.]	33
Homogénéisation de milieux fibrés par méthode d’inclusion équivalente, Martin Antoine [et al.]	34
Vers un modèle de croissance pour la colonne scoliotique, Castoldi Natalia M [et al.]	35
Hétérogénéités de déformation dans les polycristaux: caractérisation in-situ par Corrélation d’Images Numériques, Goulmy Jean-Patrick [et al.]	36
Hétérogénéités de déformation dans les polycristaux : simulation en plasticité cristalline, Depriester Dorian [et al.]	37
Caractérisation in operando par tomographie aux rayons X de la zone réelle de contact dans les systèmes tribologiques, Acito Vito [et al.]	38
Couplages chimio-mécaniques dans les solides inélastiques : solutions analytiques et application à l’oxydation, Petrenko Svetlana [et al.]	39
Simulation expérimentale du frottement entre les fils de carbone durant le procédé de tissage 3D, Walther Julie [et al.]	40
caractérisation mécanique des fibres de typha australis, Gaye Aïda	41
Tenseur d’élasticité et surface limite de linéarité d’un matériau architecturé 2D triangulaire, Jeanneau Valentin [et al.]	42
Effect of waste rubber addition on the properties of PA12/C30B blends, Archibong Friday	43
Fatigue des polycristaux :Vers une analyse probabiliste incluant des descripteurs statistiques des microstructures., Echerradi Insaf [et al.]	44

Natural densification of moon regolith simulant EAC-1A, Akisheva Yulia [et al.]	45
Modélisation micromécanique à variables internes du comportement viscoélastique linéaire des matériaux hétérogènes, Torres Costa Luan Mayk [et al.]	46
Equilibre d'une goutte métallique liquide déposée sur un support quelconque dans le cadre de la fabrication additive arc-fil métallique, Mang Chetra	47
Modélisation du gonflement par reprise d'eau des enrobés bitumineux, Chen Yu-jiong [et al.]	48
Effet des UVs et de la température sur le polycarbonate, Redjala Sonya	49
Analysis of data from in-situ monitoring of the LPBF additive manufacturing process, Kromer Robin	50
Conception et réalisation de métasurfaces à loi de frottement pilotée, Aymard Antoine	51
De la structure et de la composition des membranes biologique à leur modélisation mécanique., Djibaoui Mohammed Adel	52
Développement et caractérisation d'un composite à base de coproduits de la viticulture pour une application dans le bâtiment, Badouard Céline	53
Rhéologie des pâtes de plâtre armé de fibres, Betene Omgba Achille Désiré [et al.]	54
Formulation d'un modèle Cam-Clay modifié, avec écrouissage déviatorique non linéaire, Bacquaert Goustan	55
Effets de la vitesse et de la température sur le comportement en compression des composites à matrice organique, Montes Alvis Andrea [et al.]	56
Etudes theorique de la faisabilité de la variation de la permittivité d'un matériau sous contrainte mécanique, cas d'un matériau piézoélectrique, Rasoanoavy Faliniaina	57
Extraction et caractérisation de faisceaux de fibres végétales de Rhecktophyllum Camerunense (RC), Betene Omgba Achille Désiré [et al.]	58
Mécanique des fluides	59
Approche numérique et expérimentale de la transition inertielle-visqueuse des écoulements instationnaires, Bougouin Alexis [et al.]	59
Turbulence sans étirement de vorticité, Wu Tong	61

Mass transfer at a wall under acoustically driven flow, El Ghani Nouhayla [et al.]	62
Stability of pulsatile plane channel flow between compliant walls, Lebbal Smail [et al.]	63
Modélisation numérique CFD du comportement thermique cutané humain en Cryothérapie Corps Entier, Elfahem Rim	64
La résolution des équations de Navier-Stokes incompressibles bidimensionnelles en régime permanent par la méthode spectrale, Drissi Mohamed [et al.]	65
Etude expérimentale d'écoulements 3D entraînés par ultrasons avec une méthode lagrangienne de suivi de particules, Vincent Bjarne [et al.]	66
Identification par méthode inverse des coefficients aérodynamiques d'un projectile gyro-stabilisé, Tallec Thomas [et al.]	67
Modeling of Air –Water Flow in a Rock&Roll Flow Loop, Naukanova Madina [et al.]	68
Compressibilité d'un bouchon formé de cellules vivantes (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>) placé sous contraintes fluides, Desclaux TERENCE [et al.]	69
Modèle théorique de courant de densité issu d'un rejet continu sur un plan horizontal dans un milieu ouvert., Haddad Safir [et al.]	70
Écoulement potentiel couplé à une structure flexible: approche linéarisée appliquée au cas d'un dirigeable, Le Mestre Robin [et al.]	71
Le mélangeur chaotique idéal existe-t-il ?, Poumaëre Nelson [et al.]	72
A relevant phase-field-based lattice-Boltzmann method for water-air capillary interfaces, Younes Nabil [et al.]	73
Étude du débit de perte de masse d'une source incendie située en partie haute d'un local, Georges Emeline [et al.]	74
Turbulence inhomogène et isotrope des écoulements incompressibles à densité variable, Reynier Loïc [et al.]	75
Modélisation numérique du malaxage de fluides chargés, Thomas Quentin [et al.]	76
Stabilité temporelle des écoulements non-visqueux cisailés à masse volumique variable: approche théorique, Jacques-Yassine Corentin [et al.]	77

Dynamique de l'écoulement autour d'un cylindre vertical partiellement immergé soumis à l'action d'un courant et/ou de la houle, Ageorges Valentin [et al.]	78
Measuring The Heat Transfer Coefficients In Anisotropic Carbon Fiber Felt, Liu Shaolin [et al.]	80
Interactions fluide-structure proche de la surface libre: application à la récupération d'énergie et aux instabilités, Achour Nabil [et al.]	81
Effet du débit sur le bruit propre d'un étage soufflante/redresseur en régime d'approche, Al Am Jean [et al.]	82
Une méthode de décomposition équilibrée des bassins versants Application à HEC-RAS, Hariri Sleimane [et al.]	83
Étude expérimentale du comportement de particules colloïdales confinées dans une gouttelette microfluidique, Chagot Loïc	84
Modélisations numériques des systèmes d'équilibre de l'oreille interne, Blaise Manon	85
Convection naturelle dans les matériaux à changement de phase, Noel Justine [et al.]	86
Colmatage d'un milieu poreux modèle 2D par une suspension, Soumane Youness [et al.]	87
Analyse et modélisation du moussage par extrusion du polyéthylène basse densité avec de l'isobutane, Sandino Carlos [et al.]	88
Gravitatory settling of inertial particles in turbulent environments, Ferran Amélie [et al.]	89
Simulation of Wood Combustion Using a Detailed Pyrolysis Model Coupled to fireFoam, Scandelli Hermes [et al.]	90
Transitions turbulentes dans les plasmas de fusion, Agoua Wesley [et al.]	91
Interpolation de bases POD par krigeage grassmannien, Mosquera Rolando [et al.]	92
Gestion du maillage de l'interface dans une approche Front-Tracking pour les écoulements diphasiques, Regnault Paul	93
Etude des couplages multiphysiques lors d'une interaction fluide-structure en géométrie tubulaire – Application à la Balistique intérieure, Brateau Marion [et al.]	94

Modélisation numérique de l'interaction fluide/structure dans des milieux poreux, En-nazii Alaa-Eddine	95
Acoustique et vibrations	96
Une formulation bayésienne unifiée pour l'identification de force, Ghibaudo Julian	96
A natural frequency based strategy to identify geometry damage properties using damage library, Dubey Anurag [et al.]	98
Synthèse Sonore des Instruments de Musique du Patrimoine, Van Baarsel Tobias [et al.]	99
Thermique	100
Caractérisation hygro-thermique des éco-matériaux à base de terre crue, Hamrouni Ichrak [et al.]	100
Vibrations Induites par Vortex d'un cylindre : application à l'extraction d'énergie, Schmider Agathe	102
Influence des mesures expérimentales sur la modélisation du changement de phase, Sawadogo Mohamed [et al.]	103
Liste des soutiens	104

Mécanique des structures

Analyse numérique et expérimentale du flambage de coques épaisses au comportement élasto-visco-plastique

N. JACQUET^{ab}, N. TARDIF^b, T. ELGUEDJ^b, C.GARNIER^a

a. Univ Lyon, INSA-Lyon, CNRS UMR5259, LaMCoS, F-69621, France (nicolas.jacquet@insa-lyon.fr)

b. CEA-DES-IRENE-DTN Cadarache F-13108 Saint-Paul-Lez-Durance, France

1 Introduction

Le flambage de structures fines est bien connu pour les matériaux élastiques et élasto-plastiques. Ici, nous considérons des matériaux dont le comportement est dépendant du taux de déformation. Bodner a proposé une méthode permettant d'approximer les valeurs critiques de flambage (contraintes, déformations et temps critiques) (cf. [1]). Il fait l'hypothèse que le taux de déformation est constant lorsque le flambage apparaît. Ceci permet de définir un problème instantané de flambage élasto-plastique. Cette hypothèse est suffisante pour une gamme raisonnable de taux de déformation. Cette approximation permet d'utiliser les outils existants pour faire l'analyse de flambage d'une structure dont le comportement est élasto-visco-plastique.

Ce travail présente une approche numérique/expérimentale permettant d'évaluer la méthode de Bodner sur des demi oeufs soumis à une pression externe.

2 Matériaux et méthodes

Un matériau dont le comportement est élasto-visco-plastique à température ambiante a été choisi (Sn 3.0 Ag 0.5 Cu). Le matériau a été préalablement caractérisé à l'aide d'une méthode inverse (FEMU - finite element model updating).

Des essais de flambage en pression externe sur des structures en demi oeuf ont été réalisés. La déformation de la surface inférieure des demi oeufs a été mesurée à l'aide de moyens optiques (3D - DIC).

En prenant en compte le paradoxe décrit dans [2], un critère de flambage a été développé. Ce paradoxe fait état que pour des structures épaisses la théorie de la déformation corrèle mieux avec les résultats d'essais de flambage que la théorie incrémentale de Mises. Le critère développé ici s'appuie sur la théorie de la déformation et est associé à l'approximation de Bodner [1]

Finalement, les essais de flambage ont été simulés avec pour objectif de comparer les résultats expérimentaux à la modélisation adoptée.

3 Conclusions

Ce travail présente une méthode numérique/expérimentale appliquée à l'étude du flambage de coques épaisses.

La mesure optique de la déformation des éprouvettes de flambage a permis d'extraire les modes de flambage ainsi que les valeurs critiques de flambage.

Le critère développé a pu être évalué avec succès à partir de données expérimentales. En effet, les résultats numériques corrèlent bien avec les résultats expérimentaux, tant sur les valeurs critiques que sur les modes de flambage. Ce critère s'applique à des structures épaisses dont le comportement est élasto-visco-plastique.

Mots clefs : Flambage, bifurcation, élasto-visco-plasticité, FEMU, coques épaisses, essais de flambage

Références

- [1] S.R. Bodner, M. Naveh, A.M. Merzer, Deformation and buckling of axisymmetric viscoplastic shells under thermomechanical loading, *International Journal of Solids and Structures*, 27 (1991) 1915–1924.
- [2] J.W. Hutchinson, B. Budiansky, Analytical and numerical study of the effects of initial imperfections on the inelastic buckling of a cruciform column, *Proc. IUTAM Symposium on Buckling of Structures*, (1976) 98–105.

Méthode de régularisation évanescence pour un problème inverse en théorie des plaques minces

M. BOUKRAA^a, F. DELVARE^b

a. Normandie Univ, UNICAEN, CNRS, LMNO, 14000 Caen, France, mohamed.boukraa@unicaen.fr

b. Normandie Univ, UNICAEN, CNRS, LMNO, 14000 Caen, France, franck.delvare@unicaen.fr

Nous nous intéressons à un problème inverse en théorie des plaques minces élastiques. Il consiste à identifier des conditions aux limites inaccessibles à la mesure à partir des données accessibles sur une autre partie de la frontière. L'équation d'équilibre conduit à une équation régie par l'opérateur bilaplacien à laquelle s'ajoute des conditions aux limites en tout point de la frontière. Ces conditions aux limites portent sur w , $\frac{\partial w}{\partial n}$, le moment \mathcal{M}_n ou l'effort tranchant \mathcal{V}_n . Dans certaines situations, il arrive que nous n'ayons pas accès à des conditions aux limites sur toute la frontière pour que le problème soit bien posé et cela nous ramène à résoudre un problème inverse de type Cauchy pour le bilaplacien :

$$\begin{cases} \Delta^2 w = 0 & \text{dans } \Omega \\ w = \varphi_d & \text{sur } \Gamma_d \\ w' = \psi_d & \text{sur } \Gamma_d \\ \mathcal{M}_n = \mathcal{M}_d & \text{sur } \Gamma_d \\ \mathcal{V}_n = \mathcal{V}_d & \text{sur } \Gamma_d \end{cases} \quad (1)$$

Ce type de problème est considéré comme un problème inverse, ou mal posé en sens d'Hadamard [1], parce que même si une solution existe, elle est instable vis à vis des perturbations sur les données. La résolution nécessite alors l'introduction des techniques de régularisation. Nous utilisons, pour cela, la méthode de régularisation évanescence [2]. Cette technique, qui a déjà été proposée pour les problèmes de Cauchy associés à l'équation de Laplace, à l'élasticité linéaire, l'équation d'Helmholtz, ou à l'opérateur biharmonique [3], consiste à rechercher parmi toutes les solutions de l'équation d'équilibre celle qui s'approche au mieux des données. Pour la mise en œuvre numérique, nous utilisons les éléments finis de type Kirchhoff dédiés à l'approximation de la déformée des plaques minces. Il s'agit des éléments finis à 3 degrés de liberté par nœuds composés par le déplacement vertical w et les rotations dans chaque direction θ_x et θ_y . Des domaines circulaires et rectangulaires ont été traités et deux types de maillages, triangulaire (DKT [4]) et rectangulaire (DKQ [5]), ont été utilisés. Nous présentons par la suite la reconstruction de la solution, sa dérivée normale ainsi que celle des efforts \mathcal{M}_n et \mathcal{V}_n dans la partie inconnue Γ_i de la frontière. Des tests numériques réalisés montrent la précision et la robustesse de la méthode. Les performances de la méthode ont ainsi été étudiées en fonction de la taille de la partie de la frontière où les données sont accessibles, de la position et du nombre de mesures et du niveau de bruit affectant les données.

Mots clés : problème de Cauchy, régularisation, équation biharmonique, méthode des éléments finis, DKQ, DKT, plaques minces de Kirchhoff

Références

- [1] Jacques Hadamard and Philip M. Morse. Lectures on Cauchy's Problem in Linear Partial Differential Equations. *Physics Today*, 6(8) :18–18, 1953. _eprint : <https://doi.org/10.1063/1.3061337>.
- [2] Alain Cimetière, Franck Delvare, and Frédéric Pons. Une méthode inverse à régularisation évanescence. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIB-Mechanics*, 328(9) :639–644, 2000.
- [3] Azariel Paul Eyimi Minto Ebang. *Sur un problème inverse de type Cauchy en théorie des plaques minces élastiques*. PhD thesis, Université de Poitiers, 2011.
- [4] Jean-Louis Batoz, Klaus-JÜRgen Bathe, and Lee-Wing Ho. A study of three-node triangular plate bending elements. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 15(12) :1771–1812, 1980.
- [5] Jean-Louis Batoz and Mabrouk Ben Tahar. Evaluation of a new quadrilateral thin plate bending element. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 18(11) :1655–1677, 1982.

Modèle de champ de phase unifié pour simuler la rupture intergranulaire et transgranulaire à l'échelle du polycristal.

S. RIAD^{a,b}, J. RÉTHORÉ^a, D. BARDEL^b

a. Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM), Centrale Nantes/ Université de Nantes/ CNRS, UMR 6183, 1 rue de la Noë, F-44321 Nantes, France, soukaina.riad@ec-nantes.fr, julien.réthoré@ec-nantes.fr.

b. Framatome, 10 rue Juliette Récamier, 69456 Lyon cedex 06, France, didier.bardel@framatome.com

La méthode des champs de phase est une méthode versatile conçue pour modéliser des systèmes avec des interfaces de discontinuités. Cette méthode consiste à incorporer un champ continu permettant d'effectuer la différenciation entre les phases physiques (fissurée, intacte) d'un système à travers des transitions lisses sur une distance caractéristique l [1]. L'évolution de la fissure est gouvernée par un problème de minimisation d'énergie proposée par Francfort et Marigo [2] pour des ruptures fragiles. L'énergie libre à minimiser est composée de l'énergie élastique et de l'énergie nécessaire pour créer une surface selon le critère de Griffith.

Cette étude se focalise sur la simulation de la fissuration à l'échelle du polycristal. De nombreuses études ont abordé ce problème en combinant des modèles cohésifs aux joints de grains et des modèles d'endommagement pour le bulk [3]. Dans cette contribution, une nouvelle formulation du champ de phase est proposée [4]. La rupture est considérée comme anisotrope à l'intérieur du grain ; des directions préférentielles de rupture sont définies en fonction de l'orientation du grain. Chacune de ces directions est associée à un champ d'endommagement. Un champ d'endommagement supplémentaire est dédié aux joints de grains. L'énergie de rupture attribuée à la densité d'énergie de surface de ce champ est considérée comme variable en fonction de la distance aux joints de grains. Les joints de grains sont donc considérés comme une interface épaisse dont l'épaisseur est supérieure au paramètre de longueur interne associé à l'énergie de surface des joints de grains. De plus, la valeur de l'énergie de rupture aux joints de grains est fixée en fonction de la désorientation locale Fig.1.

Cette étude vise à démontrer la capacité de la formulation proposée à modéliser la compétition et les interactions entre les fissurations intergranulaires et transgranulaires en fonction des propriétés de la microstructure, des grains et des joints de grains.

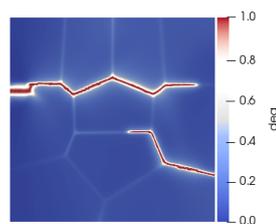


FIGURE 1 – Propagation des fissures dans un polycristal de 10 grains avec une variation spatiale de l'énergie de fissuration

Mots clefs : Champs de phase, polycristal, fissuration intergranulaire, fissuration transgranulaire.

Références

- [1] B. Bourdin, C.J. Larsen, C. Richardson A time-discrete model for dynamic fracture based on crack regularization, *Int J Fract* (2011) 168 :133–143.
- [2] G.A. Francfort, J.J. Marigo, Revisiting brittle fractures as an energy minimization problem, *J Mech Phys Solids*, (1998) 46 :1319–1342.
- [3] T.T. Nguyen, J. Réthoré, M.-C. Baietto, Phase field modelling of anisotropic crack propagation, *Eur. J. Mech. –Asolids*, (2017) 65, 279-288.
- [4] S. Riad, D. Bardel, J. Réthoré, Unified phase field model to simulate both intergranular and transgranular failure in polycrystalline aggregates, *Finite Elements in Analysis and Design*, 194 (2021) 103555.

Étude expérimentale et numérique du comportement d'assemblages collés de composites

S. SHIRI

ENIBizerte, LR-MAI-ENIT, 1002 Tunis- Tunisie, seddik.shiri@enib.u-carthage.tn

1 Introduction

L'étude du comportement des assemblages, notamment par collage, comprenant des matériaux composites est d'une grande importance car l'utilisation de ce type d'assemblages s'est considérablement développée ces dernières années afin de répondre à l'exigence d'alléger le poids dans les secteurs du transport pour réduire la consommation d'énergie. Une étude expérimentale sera proposée pour la caractérisation du comportement d'une colle dans un assemblage de composites sous diverses sollicitations. Un modèle numérique couplé à cette étude expérimentale est développé afin d'apporter quelques éléments de réponse sur l'explication physique de la création du dommage dans l'assemblage collé. Cet outil numérique peut être utilisé pour proposer une configuration optimisée d'assemblage et prédire le comportement réel d'une structure industrielle particulièrement complexe.

2 Étude expérimentale

Afin d'étudier le comportement mécanique d'assemblage par collage de composites, deux dispositifs expérimentaux ont été utilisés: l'essai à simple recouvrement et un dispositif de type Arcan multiaxial pour des éprouvettes sollicitées sous chargement multiaxial. L'assemblage étudié est composé de substrats en matériau composite à renfort tissé en fibres de verre à résine thermoplastique polyamide 6-6 et d'un adhésif polyuréthane mono-composant à comportement hyper-élastique [1].

3 Étude numérique

Pour l'essai à simple recouvrement, une éprouvette composée de deux surfaces superposées jointes par un adhésif est soumise à un essai de résistance en traction-cisaillement. L'essai deux consiste à un système orientable type ARCAN avec une géométrie d'éprouvette type KS2 soumis à un chargement multiaxial. La figure 1 montre les répartitions des contraintes de Von Mises dans l'adhésif (rupture cohésive) et le composite pour les deux essais. La figure 2 montre une comparaison des courbes force-déplacement: expérimentales et numériques des deux essais. Les modèles numériques reproduisent correctement les résultats expérimentaux.

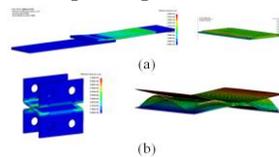


Figure1 : Contraintes de Von Mises : (a) Essai à simple recouvrement. (b) Chargement multiaxial sur éprouvettes KS2.

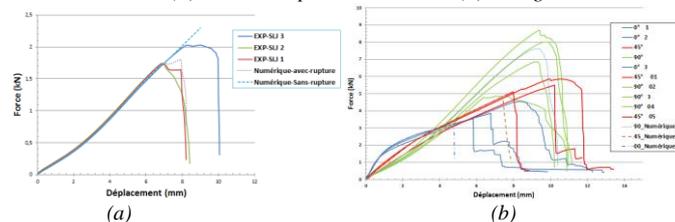


Figure2 : Courbes force-déplacement: (a) Essai à simple recouvrement. (b) Chargement multiaxial sur éprouvettes KS2.

4 Conclusion

Les essais permettent d'analyser le comportement mécanique des assemblages collés avec composites. Les modèles numériques reproduisent correctement les résultats expérimentaux et permettent de progresser vers l'optimisation de la technique d'assemblage.

Mots clefs: Matériaux composites, Assemblage collé, Modélisation numérique.

Références

[1] N. Argoud ,J. Rousseau , B. Piezel ,A. Chettah , T. Cadu , A. Fiore , S. Fontaine. Multi-Axial Testing of Thick Adhesive Bonded Joints of Fibre Reinforced Thermoplastic Poly-mers. International Journal of Adhesion and Adhesives (2018); 84: 37- 47.

Etude de nids d'abeille hexagonal ré-entrant dans les dispositifs de retenue routiers

J. TONDUT^a, N. DI CESARE^b, S. RONEL^c

a. Univ. Claude Bernard Lyon 1, Univ. Eiffel, LBMC UMR_T 9406, F69622, Lyon, France,
jeanne.tondut@univ-lyon1.fr

b. Université Bretagne Sud, IRDL, UMR CNRS 6027, 56100 Lorient, France, noelie.di-cesare@univ-ubs.fr

c. Univ. Claude Bernard Lyon 1, Univ. Eiffel, LBMC UMR_T 9406, F69622, Lyon, France,
sylvie.ronel@univ-lyon1.fr

1 Introduction

Un choc entre un véhicule et un obstacle fixe sur le bord de la chaussée mène à des accidents graves, qui sont lourds de conséquences. En effet, les obstacles ont une grande rigidité face à celle des véhicules. Des dispositifs de retenue ainsi que des atténuateurs de chocs bordent donc les routes [1, 2]. La plupart de ces dispositifs sont constitués de structures en nid d'abeille qui présentent des capacités d'absorption très intéressantes lorsqu'elles se déforment sous l'effet du choc. En fonction de leurs lieux d'installation, ces structures sont orientées différemment. Aux abords des gares de péages, ces nids d'abeilles se déforment hors du plan alors qu'aux bifurcations d'autoroutes elles sont soumises à des efforts dans le plan.

2 Étude de structures en nid d'abeille hexagonal ré-entrant

Un type de nouveaux matériaux, dits architecturés, semble très prometteur dans l'absorption d'énergie : il s'agit des matériaux auxétiques [3, 4]. Ces matériaux sont en réalité des structures qui présentent un coefficient de Poisson apparent négatif. Un exemple d'auxétique performant dans l'absorption d'énergie est le nid d'abeille hexagonal ré-entrant lorsqu'il est sollicité dans le plan. Cette structure peut être entièrement décrite à l'aide des quatre paramètres : t l'épaisseur, l la longueur de l'arête oblique, h la longueur de l'arête horizontale et θ l'angle entre ces deux arêtes. Un modèle numérique en éléments finis (EF) est construit à l'aide du logiciel LS-DYNA, et permet de calculer la capacité des structures hexagonales ré-entrantes à absorber l'énergie d'un choc lorsqu'elles sont soumises à un impact d'une vitesse de 90km/h. Cette vitesse d'impact correspond à l'une des vitesses testée dans la norme EN1317-3 [5]. Une analyse de sensibilité, basée sur la méthode de Morris [6], est menée sur ce modèle EF. Cette étude permet (i) d'identifier des interactions entre les variables géométriques et (ii) d'affirmer que l'optimisation de telles structures présente des caractères multi-modaux et non-linéaires forts. Ainsi on montre que des méthodes sophistiquées d'optimisation devront être mises en place pour trouver des formes optimales de nid d'abeille performantes dans le contexte de la sécurité routière.

Mots clefs : Structures en nid d'abeille ; Impact ; Analyse de sensibilité

Références

- [1] Crash Cushion | Road Barrier - SMA 110W, Mechanics & Industry, 2021, <https://www.smaroadsafety.com/en/gamma/view/14/110w>.
- [2] Crash Cushion | Road Barrier - SMA 50P, Mechanics & Industry, 2021, <https://www.smaroadsafety.com/en/gamma/view/8/50p>.
- [3] G. Imbalzano et al., Blast resistance of auxetic and honeycomb sandwich panels : Comparisons and parametric designs, in : Composite Structures, 183, pp. 242-261, 2018.
- [4] O. Duncan et al., Review of auxetic materials for sports applications : Expanding options in comfort and protection, in Applied Sciences, 8, n°6, p. 941, 2018.
- [5] European Standard EN1317-3, Road restraint systems - Part 3 : Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for crash cushions, 2010.
- [6] M. D. Morris, Factorial sampling plans for preliminary computational experiments, in : Technometrics, 33, n°2, pp. 161-174, 1991.

Behaviour of a Kirchhoff rod loaded by a pure moment

M. Hariz^a, L. Le Marrec^b, J. Lerbet^c

a. Univ Rennes, CNRS, IRMAR - UMR 6625, F-35000 Rennes, France
marwan.hariz94@gmail.com

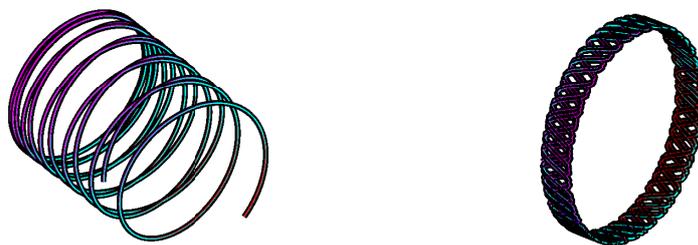
b. Univ Rennes, CNRS, IRMAR - UMR 6625, F-35000 Rennes, France
loic.lemarrec@univ-rennes1.fr

c. Université Paris-Saclay, CNRS, Univ Evry, Laboratoire de Mathématiques et Modélisation d'Evry, 91037, Evry-Courcouronnes, France.
jlerbet@gmail.com

Bending of a Kirchhoff rod loaded by pure moment is derived using Cosserat formulation by the mean of a material curve and a moving director frame. Equilibrium relations are derived in a dimensionless form. Linear stress-strain relation is adopted with large strain and large displacement. Two invariants dictate the existence of the solutions : the moment M and the energy per unit length μ . Bending is controlled by these two invariants along with the material g and the cross section geometry e .

Explicit solutions for different regimes are presented in terms of Jacobian elliptic functions and different rod patterns are observed depending on the geometry of the cross section and the ratio $\eta := \frac{M}{\mu}$ without any dependence on rod length.

This approach may lead to a better understanding of helical shapes such as DNA structures and may be applied to study the geometry of knots and ribbons.



Mots clefs : Kirchhoff rod, Ribbons, Helical shapes.

Références

- [1] Le Marrec, L., Lerbet, J. and Rakotomanana, L.R., 2018. Vibration of a Timoshenko beam supporting arbitrary large pre-deformation. *Acta Mechanica*, 229(1), pp.109-132.
- [2] Nizette, M. and Goriely, A., 1999. Towards a classification of Euler–Kirchhoff filaments. *Journal of mathematical physics*, 40(6), pp.2830-2866.
- [3] Dias, M.A. and Audoly, B., 2016. “Wunderlich, Meet Kirchhoff” : a general and unified description of elastic ribbons and thin rods. In *The Mechanics of Ribbons and Möbius Bands* (pp. 49-66). Springer, Dordrecht.

Mechanical characterization of an engineered origami structure : toward self-actuation of a bistable seamless Kresling tower

Kejun Hu^a, Kanty Rabenorosa^b, Morvan Ouisse^c

a. Université Bourgogne Franche-Comté, CNRS kejun.hu@femto-st.fr

b. Université Bourgogne Franche-Comté, CNRS rkanty@femto-st.fr

c. Université Bourgogne Franche-Comté, CNRS morvan.ouisse@femto-st.fr

Abstract

Origami inspired robot is a local motion machine whose morphology and operations are created by self-folding. The origami panel's bending, stretching, and shearing provide tunable stiffness and additional degrees of freedom to the robot body. Especially, structures inspired by 'Kresling tower' that exhibit a translation-rotation coupled motion with a hysteretic & bistable behavior earned attention in the last decades. These structures can provide local motion and multistability. Most of the current research work on this topic are usually performed using paper, which is easy to be folded but exhibit very weak properties in term of shear stress, and can be easily teared. In this work, an experimental investigation on an engineered structure to be used as part of the robot body is presented. More specifically, the study aims at characterizing the necessary torque for self shape-morphing of a Kresling pattern-based seamless origami structure in polypropylene (PP).

To this end, two types of tests are cyclically performed : compression-tensile load under free torque conditions (C-T, 50 cycles) and vice versa (C-AC, 300 cycles). A training of the structure is required before reaching a stabilized structure's behavior. The PP-based seamless Kresling tower unit exhibits a hysteretic behavior that is combined by a mono-stable and a bi-stable behavior. The structure provides a coupling between translation and rotation in a quasi-linear manner. The experimental setup provides very repeatable results and the torque required for the folding of the structure are found. On-going work is focused on the design of a SMA-based actuation of the bistable seamless Kresling tower.

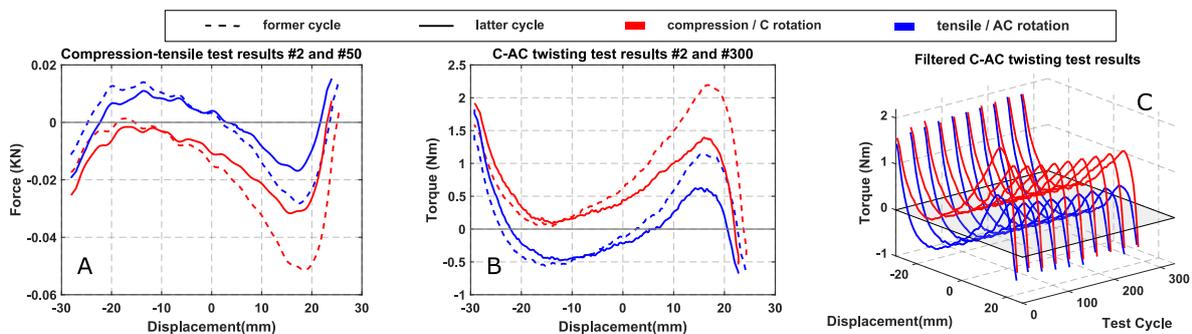


FIGURE 1 – Mechanical responses for two types of tests : A) C-T test for 50 cycles B) & C) C-AC test for 300 cycles

Mots clefs : characterization, non-rigid origami, shape-morphing, actuation

Références

- [1] Benouhiba, Amine, Origami-based active structures for tunable Helmholtz resonators and soft robotics. Thèse, Université Bourgogne Franche-Comté, 2020.
- [2] Novelino, Larissa and Ze, Qiji and Wu, Shuai and Paulino, Glaucio and Zhao, Ruike, Untethered control of functional origami microrobots with distributed actuation, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 09 (2020) 117.
- [3] Nigamaa Nayakanti and Sameh H. Tawfik and A. John Hart, Twist-coupled Kirigami cells and mechanisms, Extreme Mechanics Letters, 21 (2018) 17–24.

Optimisation de la mesure des contraintes résiduelles dans les composites à renforts fibreux : méthode du trou incrémental

Aboubakar Sédick IBRAHIM MAMANE^a, Sylvain GILJEAN^a, Marie-José PAC^a, Gildas L'HOSTIS^a

a. Université de Haute Alsace, Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles (LPMT-UR 4365), 11 rue Alfred Werner 68093 Mulhouse Cedex, aboubakar-sedick.ibrahim-mamane@uha.fr

1 Introduction

Les composites sont connus pour leurs bonnes propriétés spécifiques et sont de plus en plus utilisés, notamment pour alléger la structure des moyens de transport à émission de CO₂. Cependant, ils sont le siège de contraintes résiduelles élevées de par leur hétérogénéité et leur procédé de fabrication. Ces contraintes résiduelles sont souvent néfastes et peuvent générer des distorsions géométriques, le flambage des fibres voire des microfissurations précoces [1]. Le travail présenté est une contribution à l'amélioration de la méthode du trou incrémental qui permet de calculer les contraintes résiduelles dans les matériaux composites stratifiés [2]. Cette optimisation de la méthode est importante pour établir une corrélation précise entre les paramètres de mise en œuvre de divers types de composites et leurs contraintes résiduelles afin d'améliorer les procédés de fabrication.

2 Démarche

Nous avons développé les outils numériques et expérimentaux nécessaires au calcul des contraintes résiduelles $\{\sigma\}$ par la méthode du trou incrémental. Ces outils se composent d'un dispositif expérimental (Figure 1) permettant de mesurer les déformations de relaxation à chaque incrément de perçage $\{\varepsilon\}$ et d'un modèle éléments finis paramétrable calculant des coefficients de calibration $[C]$ vérifiant $\{\varepsilon\} = \{\sigma\}[C]$.

Nous avons également mis en place une méthode basée sur un couplage numérique-expérimental pour corriger les coefficients de calibration en cas d'erreurs expérimentales telles que le décentrement du trou, les imprécisions sur les incréments ou le décalage angulaire des jauges. Une série de campagnes expérimentales est actuellement en cours pour valider le calcul des coefficients de calibration et la méthode de correction numérique afin d'étudier l'influence des paramètres de mise en œuvre sur les contraintes résiduelles dans les composites.

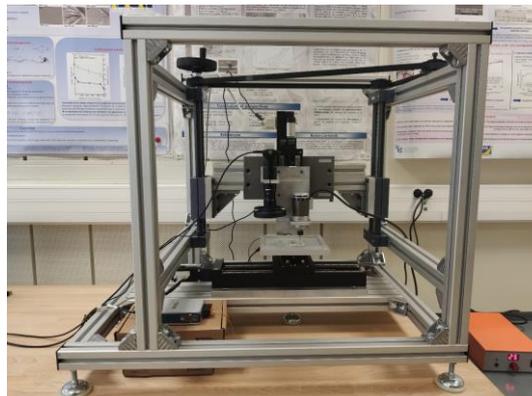


Figure 1 : Dispositif de mesure des déformations de relaxation par perçage incrémental

Mots clefs : composites stratifiés, contraintes résiduelles, méthode du trou incrémental, simulation par éléments finis.

Références :

- [1] L. S. Penn, R. C. T. Chou, A. S. D. Wang, et W. K. Binienda, « The Effect of Matrix Shrinkage on Damage Accumulation in Composites », J. Compos. Mater., août 1988, doi: 10.1177/002199838902300603.
- [2] S. Akbari, F. Taheri-Behrooz, et M. M. Shokrieh, « Characterization of residual stresses in a thin-walled filament wound carbon/epoxy ring using incremental hole drilling method », Compos. Sci. Technol., vol. 94, p. 8-15, avr. 2014, doi: 10.1016/j.compscitech.2014.01.008.

Modèle Cohesive Zone Model-Discrete Element Method pour la rupture quasi-fragile

M. SAGE^a, J. GIRARDOT^b, J.-B. KOPP^b, S. MOREL^a

- a. Université de Bordeaux, CNRS, Institut de mécanique et d'ingénierie (I2M) margaux.sage@u-bordeaux.fr; stephane.morel@u-bordeaux.fr
- b. Arts et Métiers, CNRS, Institut de mécanique et d'ingénierie (I2M) Jeremie.GIRARDOT@ensam.eu; Jean-Benoit.KOPP@ensam.eu

1 Résumé

De par son caractère naturellement discontinu, l'utilisation de la méthode aux éléments discrets (DEM) s'est, au fil du temps, démocratisée dans le cadre de la modélisation des problèmes de rupture. En effet, cette méthode consiste en un ensemble de particules, appelées éléments discrets, reliées par des liens (ressorts, poutres). La rupture apparaît alors comme la coupure successive de multiples liens entre éléments discrets. Cependant, la simulation des phénomènes de rupture via la méthode des éléments discrets nécessite actuellement le recours à des critères locaux [1] appliqués à une échelle microscopique et est donc coûteuse en terme de temps de calcul.

Le travail proposé ici est le développement d'un nouveau type de lien endommageable entre éléments discrets afin de pouvoir se placer à une échelle de simulation mésoscopique. La variable d'endommagement est définie au sein de chaque poutre de Euler-Bernoulli du système et est pilotée par l'énergie cohésive du matériau étudié. L'avantage majeur de ce pilotage énergétique de l'endommagement est de pouvoir introduire directement les paramètres matériaux obtenus expérimentalement dans la simulation.

Pour cela, la loi d'évolution de l'endommagement s'inspire du modèle de zones cohésives (CZM). De plus, les liens composant le réseau étant orientés dans de nombreuses directions, une loi tenant compte de la mixité présente dans les poutres apparaît nécessaire. Un modèle de zones cohésives mixte de forme exponentielle est ici considéré [2]. Toutefois, les modèles CZM bien connus et utilisés avec la méthode aux éléments finis ne peuvent être élargis à la méthode aux éléments discrets sans modification au préalable. Tout d'abord, les tenseurs de contraintes et déformations n'existant pas en DEM, les lois CZM doivent être réécrites en terme de déplacements. Ensuite, les lois CZM mixtes sont habituellement définies à partir de deux modes purs, le premier correspondant à une rupture de mode I pur et le second à une rupture de mode II pur. Ces modes conventionnels ne peuvent être définis dans le cas de nos poutres de Euler-Bernoulli. En conséquence, les deux modes purs dans notre loi CZM-DEM sont un mode I semblable au mode conventionnel de rupture, et un pseudo-mode II différent du mode II conventionnel. Ainsi, les contributions des efforts de traction dans nos poutres sont associées à une rupture de mode I et l'ensemble des autres sollicitations (efforts de cisaillement, moments de flexion et de torsion) est attribué à une rupture de pseudo mode II.

Dans le but d'éprouver notre modèle de poutre endommageable, les essais du benchmark Carpiuc [3] sont étudiés. En particulier, deux essais sont reproduits. Le premier essai consiste en un chargement complexe appliqué sur une éprouvette entaillée. Un tel essai permet la propagation d'une première fissure au niveau de l'entaille, suivie, lors des variations de chargement, à l'amorçage d'une fissure secondaire naissant de la première.

Le second essai est réalisé sur une éprouvette double entaille. L'apparition successive de deux fissures interrompues, se situant respectivement au niveau de chaque entaille, puis la propagation d'une unique fissure jusqu'à rupture totale de l'éprouvette sont observées.

La réalisation de ces tests permet de confronter notre modèle à des chargements complexes ainsi qu'à des chemins de fissuration non triviaux.

Mots clefs : Rupture quasi-fragile, endommagement, méthode aux éléments discrets, critère énergétique

Références

- [1] D. André, M. Jebahi, I. Iordanoff, J. luc Charles, J. Néauport, Using the discrete element method to simulate brittle fracture in the indentation of a silica glass with a blunt indenter, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 265 (2013) 136–147.
- [2] V. Venzal, S. Morel, T. Parent, F. Dubois, Frictional cohesive zone model for quasi-brittle fracture: Mixed-mode and coupling between cohesive and frictional behaviors, *International Journal of Solids and Structures* 198 (2020) 17–30.
- [3] A. Carpiuc-Prisacari, C. Jailin, M. Poncelet, K. Kazymyrenko, H. Leclerc, 725F. Hild, Experimental database of mixed-mode crack propagation tests performed on mortar specimens with a hexapod and full-field measurements. part ii: interactive loading, *Cement and Concrete Research* 125 (2019) 105867.

Influence du coefficient de frottement sur l'endommagement par fatigue de contact de roulement d'une roue ferroviaire

N. Médiateur^a, Z. Abderrahim^b, M. Norman^c

- a. LEM3 – UMR CNRS 7239 – Université de Lorraine – France + mediateur.nemeyuko@univ-lorraine.fr
- b. LEM3 – UMR CNRS 7239 – Université de Lorraine – France + abderrahim.zeghloul@univ-lorraine.fr
- c. LEM3 – UMR CNRS 7239 – Université de Lorraine – France + norman.mathieu@univ-lorraine.fr

...

Résumé

La fatigue de contact de roulement (FCR) peut être décrite comme un phénomène d'endommagement très localisé pouvant survenir dans une roue ferroviaire soumise à des charges cycliques multiaxiales non-proportionnelles. Dans ce cas, les fissures sont amorcées à la surface ou à quelques millimètres sous la surface. Les fissures amorcées en surface sont causées par une charge tangentielle cyclique répétée du contact roue-rail qui entraîne une déformation plastique accumulée du matériau de surface. Ce contact peut se situer soit entre le boudin de roue et le congé de roulement de rail pour les valeurs faibles du coefficient de frottement pendant la phase de traction, soit entre la bande de roulement de roue et le champignon de rail pour les valeurs élevées du coefficient de frottement pendant la phase de freinage. Le rendement énergétique élevé du transport ferroviaire est rendu possible par les pertes favorablement faibles dans le contact de roulement entre les surfaces dures de la roue et du rail, qui ne se rencontrent que dans une très petite zone de contact de forme relativement elliptique.

Une section bidimensionnelle d'une roue ferroviaire sans défauts a été modélisée à l'aide d'un logiciel de calcul Abaqus. Le modèle de matériau élastoplastique avec une loi de comportement combinant l'écrouissage isotrope et l'écrouissage cinématique non-linéaire proposée par Lemaitre et Chaboche a été adopté [1]. Les changements aléatoires de l'état de contrainte et de déformation conduisent à un comportement en fatigue multiaxiale [2]. L'endommagement de la roue est donc obtenu en calculant la valeur du paramètre de fatigue, FP, dans différents plans du matériau en utilisant l'approche de fatigue multiaxiale de Jiang-Sehitoglu [3]. Le modèle de prédiction de la durée de vie en fatigue à l'amorçage de fissures dans la roue est basé sur une combinaison entre la relation de Smith-Watson-Topper et du paramètre de fatigue de Jiang-Sehitoglu [4]. Le paramètre de fatigue maximum correspond au plan critique où s'initient les fissures de fatigue.

Le diagramme d'accommodation [5] a été construit et a permis de localiser l'endommagement dans la roue pour une valeur de charge et de coefficient de frottement donnée et de délimiter la zone d'effet de rochet où la roue peut se rompre en fatigue oligocyclique ou par accumulation de la déformation plastique. Dans cette zone, l'endommagement se situe en surface ou sous la surface de contact.

Mots clés : fatigue de contact de roulement, paramètre de Jiang-Sehitoglu, modélisation par éléments finis, fatigue multiaxiale, chargement non-proportionnel, écrouissage isotrope et cinématique non-linéaire, plan critique et durée de vie.

Références

- [1] J.L. Chaboche, J. Lemaitre, Mechanics of solid materials, Cambridge University Press (1990) 198-240
- [2] S. Lucas, Multiaxial notch fatigue, Elsevier (2009)
- [3] Y. Jiang, H. Sehitoglu, A model for rolling contact failure, Elsevier 224 1 (1999) 38-49
- [4] M. Abbadi, S. Belouettar, P. Muzzo, P. Kremer, O. Oussouaddi, A. Zeghloul, On low cycle fatigue life of nickel-based superalloy valve membranes under non-proportional cyclic loading, International Journal of Fatigue, Elsevier 30 7 (2008) 1160-1168
- [5] R. Lewis, U. Olofsson, Wheel-rail interface handbook, Elsevier (2009) 223-230

Modélisation et caractérisation de l'endommagement jusqu'à la rupture de l'assemblage structurel soudé par points

L. BECK^{a,b}, Y. LI^b, H. NACEUR^c, D. COUTELLIER^c, A. RUF^a

a. Mercedes-Benz AG, RD/KSB, 71059 Sindelfingen, Germany, leon.beck@daimler.com,

andreas.ruf@daimler.com

b. MATIM, Université de Reims Champagne-Ardenne, UFR Sciences, Campus Moulin de la Housse, 51100

Reims, France, yuming.li@univ-reims.fr

c. Laboratoire LAMIH UMR 8201, Université Polytechnique Hauts-de-France, Valenciennes, 59313, France,

hakim.naceur@insa-hdf.fr, daniel.coutellier@uphf.fr

1 Introduction

L'objectif de la recherche est la caractérisation et l'identification des paramètres d'endommagement jusqu'à rupture d'assemblages de structures coques soudées par points. Les travaux sont réalisés en collaboration avec l'entreprise Mercedes-Benz AG située à Sindelfingen en Allemagne, au sein du département RD/KSB. (Karosserie Steifigkeit Betriebsfestigkeit). Le soudage par points est l'un des procédés d'assemblages les plus utilisés lors de l'assemblage d'une caisse en blanc. Il est facile à automatiser, le principe de fonctionnement et la résistance mécanique sont en général maîtrisés. Le département conçoit des véhicules pour durer dans le temps. Le but de la thèse est de modéliser un point de soudure respectant certains critères dont une indépendance de maillage, un domaine de rupture ciblé, un assemblage de 2 ou 3 tôles possibles. Un modèle numérique existe déjà pour modéliser les points de soudures mais il demande beaucoup de temps de mise en œuvre, notamment à cause de sa dépendance en maillage. Le modèle à développer doit donc être peu sensible au maillage avec une taille de maille cohérente avec les critères de modélisation de l'entreprise tout en satisfaisant les contraintes de la simulation numérique pour une bonne représentation de l'état de déformation et de contraintes. Au-delà de l'aspect numérique, il existe plusieurs types de combinaisons de tôles possibles dans un véhicule. Le terme combinaison ici définit la différence de matériaux ainsi que l'épaisseur des tôles. Le modèle doit notamment prendre ces combinaisons en considération pour s'adapter au mieux au futur véhicule. Le travail réalisé prendra appui dans un premier temps sur les modèles existant dans le domaine des modèles de fatigue ainsi que les modèles utilisés par le département Crash de Mercedes-Benz AG. Pour ce dernier de nombreuses recherches ont déjà été menées pour satisfaire les attentes de ce département. Notamment avec une modélisation détaillée des essais expérimentaux (1) et des modèles macroscopique (2). Pour ce dernier, il en résulte le choix d'un élément Hexaèdre pour modéliser le point de soudure avec le matériau MAT_100_Daimler. Le matériau est composé d'un élément connecteur équivalent pour simuler la rupture du point de soudure. Un travail dit théorique a été effectué pour comprendre la formulation d'un élément Hexaèdre dans le domaine de la simulation numérique. L'aspect de fatigue n'est pas étudié par le département Crash, alors que c'est l'un des points clé du département KSB. A cet effet, une étude bibliographique a été réalisée pour recenser toutes les possibilités déjà établies pour modéliser un point de soudure, pour créer une nouvelle modélisation qui sera adaptée au besoin de l'entreprise. Il en résulte plusieurs modélisations qui pourraient correspondre aux attentes de la problématique. Afin de quantifier les résultats des différents modèles avec différents types de maillages, des tests expérimentaux ont été pris comme référence. Il s'agit d'un test de type pelage et d'un test de type cisaillement. Les deux tôles sont assemblées avec un point de soudure. La base de données des différents tests ne correspond plus à la combinaison des tôles des futurs véhicules, c'est pour cela que d'autres tests vont être réalisés durant la thèse. Lors de la réalisation des essais, des écarts peuvent venir de la mise en œuvre (3), c'est pour cela que l'élaboration de l'assemblage se fera selon les normes établies par Mercedes-Benz AG, avec l'objectif de développer une bonne cohérence entre les modèles de comportement d'un point de soudure tant en fatigue qu'en crash.

Mots clefs : Point de soudure, Simulation, Endommagement, Maillage incompatible, Quasi-statique

Références

[1] E. Lamouroux, D. Coutellier and F. Seeger Detailed model of spot-welded joints to simulate the dynamical failure of car assemblies in Industrial Simulation Conference' 2007 – Eurosis Edts Jaap Ottjes & Hans Veeke pp119-128

[2] F. Seeger, M. Feucht, Th. Frank, B. Keding. *An Investigation on Spot Weld Modelling for Crash Simulation with LS-DYNA*. 2005.

[3] A. S. Baskoro, R. Trianda, J. Istiyanto, S. Supriyadi, Danardono A. Sumarsono, G. Kiswanto. *Effects of Welding Time and Welding Current to Weld Nugget and Shear Load on Electrical Resistance Spot Welding of Cold Rolled Sheet for Body*. 2014.

Étude du comportement mécanique de pièces métalliques fabriquées par procédés DED

J. LARTIGAU^a, S. MILHOMME^a, L. TERRENOIR^a

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

L'avènement de la fabrication additive a ouvert la porte à des concepts qui étaient auparavant inenvisageables. Néanmoins, de tels procédés ont encore du mal à trouver leurs places en entreprise.

La présente contribution propose une présentation de trois projets de thèse menés à ESTIA sur la thématique de recherche « interactions procédés / matériaux ». Ils visent à apporter des éléments de réponse à la question de recherche : « comment maîtriser les procédés de fabrication additive pour s'assurer de produire des pièces mécaniquement performantes ? ». Ces travaux s'attachent aux problématiques de fabrication et de comportement mécanique de pièces métalliques, à volumes pleins et architecturés, obtenues via procédés DED. Approches expérimentale et numérique sont couplées, afin de s'assurer de la validité des modèles développés.

Les paramètres de fabrication (paramètres de pilotage de la machine, orientation de la construction...) jouent un rôle clé sur les caractéristiques des matériaux obtenus et doivent être pris en compte afin de contribuer à la maîtrise de ces procédés [1]. En effet, ces technologies peuvent introduire de nombreux défauts (porosités, présence de poudre non fondue...) qu'il convient de maîtriser pour atteindre des performances mécaniques intéressantes pour un donneur d'ordre. Dans ce cadre, les travaux de S. Milhomme visent à étudier l'influence de divers paramètres de fabrication sur le comportement mécanique et la microstructure de pièces en TA6V. Une importante étude paramétrique a permis de cartographier le procédé DED laser-poudre avec la mise en évidence des zones fonctionnelles [2]. Les résultats obtenus lors des campagnes d'essais révèlent l'influence des procédés de fabrication (DED laser-poudre et SLM), des états de surface (brut et usiné), des post-traitements (CIC et détentionnement) ou encore de la direction de fabrication sur le comportement en fatigue et en traction du TA6V. Enfin, un modèle de prédiction de la résistance en fatigue est développé.

La fabrication additive permet également la conception de pièces à volumes architecturés, intéressantes pour assurer la fonction d'absorbeur d'énergie [3]. Les travaux de recherche proposés visent à développer une méthodologie d'étude du comportement des matériaux architecturés sous sollicitations complexes en prenant en compte la stratégie d'impression DED et la morphologie de l'architecture réalisée. L'objectif est de comprendre et de modéliser le comportement de ce matériau architecturé sous des sollicitations complexes, notamment dynamiques.

Enfin, la mise à disposition de connaissances suffisantes d'un point de vue mécanique mais aussi organisationnel pourrait constituer une première étape dans le transfert de ces technologies au tissu industriel. Dans ce cadre, les travaux de L. Terrenoir proposent une démarche pluridisciplinaire, dans lesquels sont couplées approches « génie industriel » et « mécanique » afin d'aboutir au développement d'un modèle d'aide à la décision pour l'élaboration d'une gamme opératoire. Pour y parvenir, il est proposé (i) de construire un modèle de connaissances en identifiant et quantifiant les indicateurs clés de performance aux niveaux procédé et organisationnel et (ii) de mettre en œuvre un plan d'expériences adapté. Un modèle d'évaluation de la maturité des procédés a été développé pour les technologies de fabrication additive et a permis d'identifier le procédé de l'étude associé à un cas d'application.

Mots clefs : fabrication additive, procédés DED, paramétrie process, propriétés mécaniques

Références

- [1] Z. Wang, Optimization of processing parameters and establishment of a relationship between microstructure and mechanical properties of SLM titanium alloy, *Optics and Laser Technology* 112 (2019) 159-167
- [2] S. Milhomme, Influence of machine parameters on Ti-6Al-4V small sized specimens made by laser metal powder deposition, *Advanced Materials Research* 1161 (2021) 113-119
- [3] J.A. Harris, Impact response of additively manufactured metallic hybrid lattice materials, *International Journal of Impact Engineering* 104 (2017) 177-191

Étude de la tenue en fatigue de pièces réalisées en fabrication additive SLM, assemblées par soudage laser

A. Monnier^a, F. Abroug^a, Y. Balcaen^a, L. Arnaud^a, O. Dalverny^a

a. Université de Toulouse ; INP/ENIT ; LGP ; 47 Avenue d'Azereix, 65016, Tarbes, France ;
foued.abroug@enit.fr

La technique de fabrication additive métallique par fusion laser sur lit de poudre, en particulier SLM, occupe une position en expansion continue sur le marché de production, du fait de sa capacité à générer des pièces de grande complexité géométrique et quasi finies dite "near net shape". En revanche, cette technique de fabrication manque encore de maturité sur plusieurs aspects, notamment la faible tenue en fatigue des pièces brutes, relativement à celles taillées dans la masse, ainsi que des limitations en termes du volume d'impression [1][2].

La présente étude s'intéresse au comportement mécanique en fatigue à grand nombre de cycles, en comparant des pièces en acier inoxydable 316L obtenues par laminage ou par fabrication additive SLM, puis assemblées par soudage laser de type bord à bord et sans apport de matière. L'objectif est d'étudier l'effet de ce procédé d'assemblage sur la tenue en fatigue de pièces imprimées, comparé à celui de bruts laminés. Les différents aspects de cette problématique font déjà l'objet de différentes études [2][3].

Sept lots d'éprouvettes fabriquées additivement, ou sous forme de tôle, entières ou assemblées, à l'état brut ou polies, sont préparés et testés en fatigue à grand nombre de cycles, avec un rapport de charge positif (R0.1). Un traitement thermique post élaboration permet de limiter l'effet des contraintes résiduelles qui n'est pas pris en compte dans cette étude. Une attention particulière est accordée à l'identification des mécanismes d'endommagement associés à chaque lot. Les résultats préliminaires montrent que le soudage laser ne dégrade pas la tenue en fatigue de pièces imprimés 3D. De plus, le comportement en fatigue du système étudié dépend essentiellement de la concentration de contrainte générée en surface ou à quelques micromètres en sous couche, principalement par la rugosité des pièces SLM, les défauts de manque de fusion et dans un second ordre par le caniveau de soudage laser (voir figure 1).

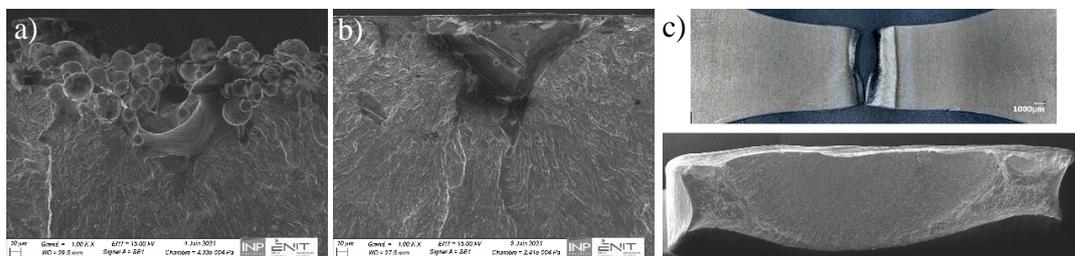


Figure 1 : Rupture en fatigue à partir de a) rugosité de surface pour le lot 3DS, b) défaut de manque de fusion pour le lot 3DSP et c) caniveau de soudage pour le lot LS.

Mots clefs : Fabrication additive métallique, soudage laser, caractérisation, fatigue à grand nombre de cycles.

[1] M. Akita, Y. Uematsu, T. Kakiuchi, M. Nakajima, R. Kawaguchi, Defect-dominated fatigue behavior in type 630 stainless steel fabricated by selective laser melting, Mater. Sci. Eng., A 666 (2016) 19–26.

[2] J. Yang, Y. Wang, F. Li, W. Huang, G. Jing, Z. Wang, X. Zeng, Weldability, microstructure and mechanical properties of laser-welded selective laser melted 304 stainless steel joints, J. of Mater. Sci. & Tech. 35 (2019) 1817–1824.

[3] E. Taban, E. Deleu, A. Dhooge, E. Kaluc, Laser welding of modified 12% Cr stainless steel: Strength, fatigue, toughness, microstructure and corrosion properties, Materials and Design 30 (2009) 1193–1200.

Influence de gradient d'humidité sur la charge à la rupture des éléments en bois

N. GHANEM^{a,b}, L. PAYET^a, S. CARE^b

a. CSTB, 84 Avenue Jean Jaurès, 77420 Champs-sur-Marne, France. Email : nihal.ghanem@cstb.fr
b. Laboratoire Navier, Université Gustave Eiffel, ENPC, CNRS (UMR 8205), F-77455 Marne-la-Vallée, France

1 Introduction

La présence d'humidité (MC) dans le bois influence ses propriétés mécaniques et physiques. L'Eurocode 5 prend en compte cette sensibilité aux conditions climatiques moyennes en considérant 3 classes de service définies par la valeur MC dans le bois [1]. Pour chaque classe de service, la résistance à la rupture est modifiée par un coefficient (K_{mod}). Cependant, les éléments en bois sont rarement en équilibre avec le milieu ambiant : on observe des gradients d'humidité. Par conséquent, l'application du coefficient K_{mod} sur l'ensemble de la structure peut être considérée comme trop sécuritaire. Il est donc nécessaire de caractériser les gradients d'humidité et leurs effets sur les propriétés mécaniques de ces éléments.

2 Essais de flexion 4 points pour différents chargements hydriques

Des poutres de bois lamellé collé de section 13.1*11.5 cm² et de longueur de 120 cm de MC initiale de 9,8% sont placées dans une enceinte à une HR = 99%. L'humidité pénètre selon les 4 faces transversales de la section des poutres. Le gradient d'humidité est mesuré périodiquement par Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) qui a l'avantage de fournir une mesure locale de MC par une méthode non invasive et non destructive [2]. Ensuite, des essais de flexion 4 points sont réalisés sur les poutres pour 2 cas de sollicitations hydriques : après 29 jours et 54 jours dans l'enceinte. La figure 1 montre l'évolution de la charge à la rupture pour les 3 cas étudiés ainsi que la répartition de l'humidité dans la section. Les résultats indiquent que la présence de gradient d'humidité augmente la charge à la rupture des poutres étudiées. Ce résultat, qui remet en perspective le dimensionnement classique des poutres en flexion, est complété par une approche numérique.

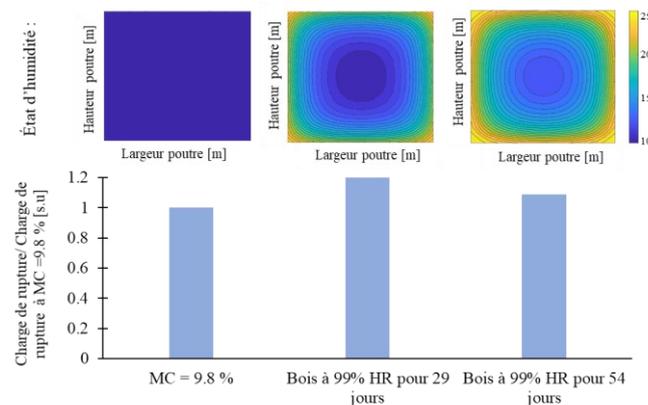


Figure 1 : Charge à la rupture des poutres en fonction de l'état d'humidité

Mots clefs : Bois, Diffusion, Essai de flexion 4 points, Gradient d'humidité, IRM, Teneur en humidité

Références

- [1] Eurocode 5. Design of timber structures - Part 1-1: Common rules and rules for buildings, EN 1995-1-1
[2] M. Zhou, S. Caré, D. Courtier-Murias, P. Faure, S. Rodts, Ph. Coussot. Magnetic resonance imaging evidences of the impact of water sorption on hardwood capillary imbibition dynamics. Wood Science and Technology, 52(4):929-955, 2018.

Modélisation des plaques gonflables en grandes transformations

P. LACORRE^a, A. LE VAN^b, R. BOUZIDI^b, J.-C. THOMAS^b

a. Université de Nantes, paul.lacorre@univ-nantes.fr

b. Université de Nantes

1 Résumé

Un panneau gonflable est une structure membranaire fermée et hermétique qui acquiert une raideur grâce au gaz sous pression qu'elle contient. Contrairement à un coussin gonflable, la courbure des membranes est presque nulle à l'état gonflé car les faces supérieure et inférieure sont maintenues à une distance constante grâce à des fils inextensibles cousus selon une technique nommée *drop-stitch* (voir Figure 1). Les structures gonflables ont pour intérêt d'être économes en matériaux, pliables, légères et transportables. Elles présentent la propriété peu courante d'avoir une raideur ajustable même après sa mise en service.

Les premiers travaux sur les plaques gonflables sont réalisés en 1960 par la NASA qui s'intéressait à leur application potentielle pour la rentrée atmosphérique de véhicules spatiaux [1]. Nos travaux font suite aux recherches sur les poutres gonflables qui sont menées depuis le milieu du XX^{ème} siècle [2, 3, 4, 5]. Une fois les poutres et les plaques combinées il devient possible de créer des structures porteuses entièrement gonflables.

Dans ma thèse je modélise la plaque gonflable en m'inspirant de la théorie des plaques de Reissner-Mindlin. La force suiveuse de pression est appliquée sur la configuration actuelle de la structure en grandes transformations. Des équations d'équilibre non linéaires sont obtenues par le principe des puissances virtuelles. Les inconnues cinématiques du problème sont le déplacement du feuillet moyen et l'orientation des fibres.

Les solutions analytiques seront validées par des expériences en cours de réalisation. Par la suite il est prévu de traiter les problèmes de vibration et de flambement.



FIGURE 1 – (gauche) Matériau *drop-stitch* utilisé pour fabriquer les plaques gonflables. (droite) Exemple commercial d'application des panneaux gonflables aux loisirs (copyright Decathlon).

Mots clefs : panneau gonflable, plaque de Reissner-Mindlin, chargement suiveur, grandes transformations

Références

- [1] R. W. Leonard, G. W. Brooks, H. G. MacComb, Structural Considerations of Inflatable Reentry Vehicles, NASA Technical Report D-457, 1960.
- [2] R. L. Comer, S. Levy, Deflections of an inflated circular-cylindrical cantilever beam, AIAA journal 1 (7) (1963) 1652–1655.
- [3] J. A. Main, S. W. Peterson, A. M. Strauss, Load-deflection behavior of space-based inflatable fabric beams, Journal of Aerospace Engineering 7 (2) (1994) 225–238.
- [4] C. Wielgosz, J.-C. Thomas, Deflections of inflatable fabric panels at high pressure, Thin-Walled Structures 40 (6) (2002) 523–536.
- [5] A. Le van, C. Wielgosz, Bending and buckling of inflatable beams : some new theoretical results, Thin-Walled Structures 43 (8) (2005) 1166–1187.

Couplage hydroélastique de structures membranaires pressurisées en présence de contact pour l'étude de l'amerrissage d'urgence des hélicoptères

C. BLANCHARD^a, A. LE VAN^b

a. Université de Nantes, Centrale Nantes, CNRS, GeM, UMR 6183, F-44000 Nantes, France - clement.blancharduniv-nantes.fr

b. Université de Nantes, Centrale Nantes, CNRS, GeM, UMR 6183, F-44000 Nantes, France - anh.le-van@univ-nantes.fr

1 Résumé

La simulation de l'amerrissage d'urgence des hélicoptères est un enjeu majeur pour les fabricants qui souhaitent certifier des appareils amenés à survoler des plans d'eau. Lors de ces événements, les hélicoptères déploient des flotteurs gonflables leur permettant de ne pas sombrer après l'amerrissage. Il est alors crucial de prédire les efforts s'exerçant sur ces structures.

Les phénomènes physiques en jeu sont fortement non-linéaires et leurs simulations restent difficiles à ce jour. En effet, les flotteurs sont des structures membranaires gonflées subissant de grandes transformations dues à l'interaction avec le fluide lors de l'impact. Ils sont maintenus en contact contre la carlingue par des sangles dont le comportement est également membranaire. La communauté scientifique a déjà réalisée la simulation de ces phénomènes distincts. Néanmoins, il existe peu de résultats sur des problèmes cumulant ces non-linéarités. De surcroît, les temps de simulation sous-jacents constituent un verrou technologique pour le monde industriel [1].

Les impératifs industriels obligent les fabricants à faire de fortes hypothèses pour pouvoir estimer dans des temps acceptables les efforts lors des amerrissages. L'outil de calcul d'Airbus Helicopters repose sur l'hypothèse d'une cinématique de corps rigide (γ compris pour les flotteurs) qui a tendance à surestimer les efforts transmis à l'appareil. Un partenariat dans le cadre d'une thèse CIFRE a été mis en place avec le GeM pour améliorer cet outil dans le but de prendre en compte les déformations des flotteurs en conservant des temps de simulation raisonnables.

Pour ce faire, le fluide est décrit par la théorie potentielle et résolu par la méthode des éléments frontières en considérant les petites déformations de la surface libre. Les flotteurs sont quant à eux décrits par un modèle membrane à l'aide d'une formulation en éléments finis résolue par la méthode de Newton-Raphson. De plus, le contact entre les flotteurs et la carlingue, d'une part, et les flotteurs et leurs sangles de maintien, d'autre part, est géré par une méthode des résidus pondérés [2]. L'intégration temporelle de la partie structure est réalisée par une méthode de Newmark. Le couplage des programmes fluide et structure est réalisé par le schéma de Gauß-Seidel par blocs [3] avec l'accélérateur Δ^2 d'Aitken [4].

L'outil développé a été mis à l'épreuve par de nombreux exemples numériques qualifiant la validité de ses résultats et sa robustesse. Nous proposerons dans cette présentation un exemple proche de l'application industrielle, traitant de l'impact hydrodynamique d'un flotteur.

Mots clefs : Interactions Fluide-Structure, Impact hydrodynamique, Membrane, Structures Gonflables, Contact, Grandes transformations

Références

- [1] M. H. Siemann and B. Langrand Coupled fluid-structure computational methods for aircraft ditching simulations : Comparison of ALE-FE and SPH-FE approaches, *Computers & Structures*, 188 (2017) 95–108.
- [2] A. Le van and T. T. H. Nguyen, A weighted residual relationship for the contact problem with Coulomb friction, *Computers & Structures*, 87 (2009) 1580–1601.
- [3] P. Le Tallec and J. Mouro, Fluid structure interaction with large structural displacements, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 190 (2001) 3039–3067.
- [4] B. M. Irons, Bruce M. and R. C. Tuck. A version of the Aitken accelerator for computer iteration, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 1 (1969) 275–277.

Nucléation et propagation de fissure sous choc thermique

Y. Aderkaoui, E. Lemarchand, L. Dormieux

Laboratoire Navier, Ecole des Ponts Paristech, 6 et 8, avenue Blaise Pascal, 77455 Marne-la-Vallée, France

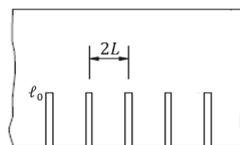
e-mail : yassine.aderkaoui@enpc.fr

La chute brutale de température au niveau des parois d'une cavité conduit à la création d'un système de fissures radiales parallèles entre elles dont le moteur est le retrait thermique. Ces configurations de fissures sont courantes dans différentes applications telles que le refroidissement des vitrocéramiques [1] et le stockage de gaz dans les cavités salines [2]. La nucléation de ces fissures survient durant la phase transitoire de la diffusion thermique [3] ce qui suggère une évolution du milieu avec l'évolution du gradient thermique.

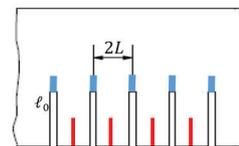
Pour traiter la question de la nucléation de fissures stables, on utilise le critère énergétique développé par T. Carliz [4] qui exprime une double condition portant sur le taux de restitution d'énergie incrémental G_{inc} , initialement introduit par Leguillon [5]. Une particularité de ce critère réside dans sa capacité à identifier simultanément le chargement critique et la longueur de fissure nucléée.

On commence par proposer un encadrement analytique du taux de restitution d'énergie incrémental associé à la nucléation d'une fissure en considérant des approches variationnelles en déplacement et en contrainte dans un cadre thermoélastique avec une validation numérique des résultats par éléments finis (Cast3M).

Dans un second temps, on s'intéresse à la réponse du milieu fissuré après nucléation d'une première famille de fissures parallèles. Dans ces conditions, on propose une analyse détaillée des évolutions possibles du système entre propagation des fissures existantes et nucléation de nouvelles fissures à partir d'une résolution analytique obtenue par minimisation de l'énergie potentielle et d'une vérification par éléments finis. On montre en particulier l'existence d'un espacement minimal entre les fissures initiales à partir duquel la nucléation de nouvelles fissures domine sur la propagation des fissures existantes. Cet espacement, du même ordre de grandeur que celui des fissures existantes, correspond à la distance minimale nécessaire pour que l'influence de ces fissures n'empêche pas de nouvelles nucléations.



(a) Configuration des fissures nucléées par choc thermique



(b) Evolution du milieu, propagation des fissures existantes (bleu), nucléation de nouvelles fissures (rouge)

FIGURE 1 – Evolution du milieu sous choc thermique

Mots clefs : Nucléation, Choc thermique, Approche variationnelle

Références

- [1] Shao, Y., Xu, X., Meng, S., Bai, G., Jiang, C., Song, F. (2010). Crack patterns in ceramic plates after quenching. *Journal of the American Ceramic Society*, 93(10), 3006-3008.
- [2] Berest, P., Djakeun-Djizanne, H., Brouard, B., Hévin, G. (2013). Rapid Depressurizations : Can they lead to irreversible damage ?. *arXiv preprint arXiv :1302.2582*.
- [3] Jeannin, L., Dormieux, L., Carliz, T. (2019). Nucleation of thermal cracks at the wall of a rock mass. *Mechanics Research Communications*, 97, 57-62.
- [4] Carliz, T. (2017). Nucléation et propagation de fissures en conditions anisotropes (Doctoral dissertation, Paris Est).
- [5] Leguillon, D. (2002). Strength or toughness? A criterion for crack onset at a notch. *European Journal of Mechanics-A/Solids*, 21(1), 61-72.

Optimisation paramétrique d'un matériau homogène équivalent pour le morphing d'un hydrofoil

M. SPAHIC^a, N. DI CESARE^a, A. LE DUIGOU^a, V. KERYVIN^a

a. Université de Bretagne Sud, malik.spahic@univ-ubs.fr

1 Résumé

« *Demain, le bateau volera* », cette phrase peut être entendue dans la bouche de la plupart des marins de la « sailing valley » de Lorient. Dans l'objectif de réaliser ce rêve, les foils sont de plus en plus employés sur les bateaux de courses. Les foils sont des objets similaires à des ailes d'avion qui, à partir d'une certaine vitesse, permettent de surélever un bateau au-dessus de l'eau et de générer une incroyable accélération due à la réduction des forces de traînée. Les foils sont généralement dimensionnés de façon rigide.

Cependant, ce choix de dimensionnement induit également un grand problème : ce *design* ne permet pas à l'hydrofoil de s'adapter efficacement aux changements de conditions extérieures (passage de l'eau à l'air). Une solution pour palier à cette problématique serait d'utiliser un système de *morphing*. Pour un objet donné, le *morphing* est défini comme la capacité de celui-ci à modifier sa forme géométrique dans le but de maximiser une de ses propriétés physiques [1]. Dans le domaine de l'aéronautique, différents systèmes de morphing ont été étudiés pour permettre aux ailes d'avions de se cambrer ou de se décambrer dans le but d'adapter leur aérodynamisme aux conditions de vol [2–4]. Ces solutions, bien qu'intéressantes, présentent aussi un grand défaut : elles nécessitent la présence d'un actionneur mécanique ou électronique. Ces actionneurs complexifient les systèmes de *morphing* et les rendent susceptibles à de grandes maintenances.

Néanmoins, un système de *morphing* passif, n'utilisant aucun système d'actionnement, a aussi été étudié [5,6]. Dans ce système, un matériau architecturé est placé dans l'âme de l'hydrofoil et est utilisé comme moyen d'actionnement passif. Trouvant ce système performant, nous avons réutilisé cette solution sur une section de foil que l'on nommera « hydrofoil ».

Le but de notre étude a donc été de développer une méthodologie permettant d'optimiser les propriétés hydrodynamiques de notre hydrofoil en optimisant son décambrement. Pour ce faire, un programme d'interaction-fluide structure développé sur Abaqus a été couplé à l'algorithme d'optimisation PSO pour optimiser les paramètres de ce matériau architecturé, et ainsi sa déflexion, minimisant ainsi la traînée, tout en augmentant la portance.

Mots clefs : Morphing ; optimisation ; interaction fluide-structure ; matériaux cellulaires

Références

- [1] Portela P, Camanho P, Weaver P, Bond I. Analysis of morphing, multi stable structures actuated by piezoelectric patches. *Comput Struct* 2008;86:347–56. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2007.01.032>.
- [2] Phani S, Butler R, Habgood S, Bowen C. Analysis of Wing Morphing via Frame Buckling 2008. <https://doi.org/10.2514/6.2008-1792>.
- [3] Peel LD, Mejia J, Narvaez B, Thompson K, Lingala M. Development of a simple morphing wing using elastomeric composites as skins and actuators. *J Mech Des Trans ASME* 2009;131:0910031–8. <https://doi.org/10.1115/1.3159043>.
- [4] Campanile LF, Sachau D. Belt-rib concept: a structronic approach to variable camber. *J Intell Mater Syst Struct* 2000;11:215–24. <https://doi.org/10.1106/6H4B-HBW3-VDJ8-NB8A>.
- [5] Bornengo D, Scarpa F, Remillat C. Evaluation of hexagonal chiral structure for morphine airfoil concept. *Proc Inst Mech Eng Part G J Aeronaut Eng* 2005;219:185–92. <https://doi.org/10.1243/095441005X30216>.
- [6] Spadoni A, Ruzzene M. Numerical and experimental analysis of the static compliance of chiral truss-core airfoils. *J Mech Mater Struct* 2007;2:965–81.

Analyse critique des mécanismes de lésions cérébraux sur sujets instrumentés soumis au blast

N. ELSTER^{a,b}, J. BOUTILLIER^b, P. MAGNAN^b, P. NAZ^b, R. WILLINGER^a, C. DECK^a

a. Université de Strasbourg, Laboratoire ICube, UMR7357

b. Institut franco-allemand de recherches de Saint Louis, Saint Louis

1 Introduction et contexte

Les ondes de choc résultant de la phase primaire du blast peuvent provoquer de sévères traumatismes crâniens. Bien que la proportion de ces blessures cérébrales ait augmenté parmi la population militaire, la plausibilité de chacun des quatre mécanismes de lésions directs et des deux mécanismes indirects proposés reste à définir [1].

2 Analyse des données de la littérature et proposition de tendances

Une analyse détaillée des données de la littérature a été réalisée, en incluant 23 études exposant un total de 221 animaux instrumentés *in-vivo*, 33 animaux *in-vitro*, et 18 sujets humains post-mortem (PMHS) à la propagation d'une onde de choc quasi-idéale. Ces études ont dans un premier temps été classifiées en termes de configurations d'exposition, avec des pressions incidentes variant de 20 kPa à 1100 kPa, et une orientation des sujets par rapport au front d'ondes qui était frontale, latérale ou occipitale. Les pics de pressions réfléchies, de pressions intracrâniennes (ICP), et de déformations crâniennes ont ensuite été comparés et analysés afin de proposer des tendances intra-espèces et ainsi investiguer les différents mécanismes de lésions.

Les premières constatations obtenues ici entre les différentes études sont l'effet dose-réponse, et leur dépendance par rapport à l'orientation du sujet permettant ainsi d'investiguer les mécanismes de lésions directs. En particulier, une amplification des ICP ipsilatérales peut être relevée pour l'exposition frontale de PMHS; tandis qu'en orientation occipitale une atténuation est détectée. Ces observations soutiennent donc les hypothèses de propagation directe *via* les foramina, et contredisent la propagation transostéale de l'onde. Par ailleurs, les pressions et déformations suivent une tendance spécifique intra-espèce en fonction de la position du capteur sur la tête, séparée en zones frontale, vertex, latérale et occipitale. La figure montre ainsi l'effet « coup-contrecoup » des ICP mis en lumière dans le cadre de cette étude lors de l'exposition frontale des différents PMHS ayant été exposés, ce qui soutiendrait d'une part les hypothèses de cavitation en zone contralatérale ; mais d'autre part celle de la déflexion crânienne, au vu de la concomitance de l'évolution des pressions intracrâniennes et des déformations de la boîte crânienne. En ce qui concerne les mécanismes indirects, à savoir la compression thoracique et les effets d'accélération, l'ensemble des résultats contradictoires de la littérature ne permet pas d'émettre de conclusions robustes quant à leur plausibilité. La présente étude présente également pour la première fois des tendances intra-espèces à partir de l'ensemble de données disponibles et disparates de la littérature en termes de pressions réfléchies, pressions intracrâniennes et déformations crâniennes.

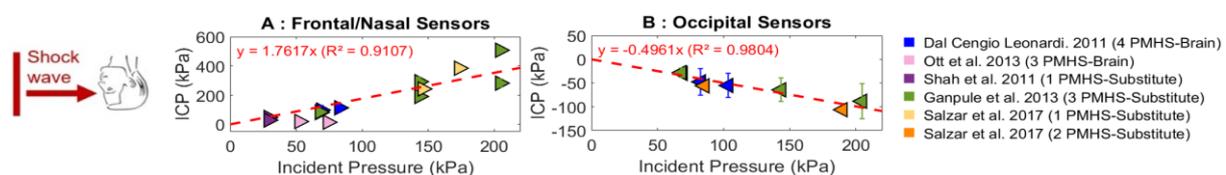


Figure: Pressions intracrâniennes en fonction de la pression incidente, mesurées lors de l'exposition de frontale de PMHS.

Mots clefs : Blast primaire, Mécanismes de lésions, Propagation d'ondes de choc, Traumatismes crâniens

Références

- [1] S. Ouellet et al. The multi-modal responses of a physical head model subjected to various blast exposure conditions, *Shock Waves* 28 (2018) 19-36
- [2] A. Leonardi et al. Intracranial pressure increases during exposure to a shock wave, *Journal of Neurotrauma* 28-1 (2011) 85-94.
- [3] S. Ganpule et al. Response of Post-Mortem Human Head under Primary Blast Loading Conditions- Effect of Blast Overpressures, *Proceedings IMECE*, 2013
- [4] K. Ott et al. Experimental Determination of Pressure Wave Transmission to the Brain during Head-Neck Blast Tests, *ASME*, 2013
- [5] RS. Salzar et al. Experimental Investigation of Cavitation as a Possible Damage Mechanism in Blast-Induced Traumatic Brain Injury in Post-Mortem Human Subject Heads, *Journal of Neurotrauma* 34-8 (2017) 1589-1602
- [6] AS. Shah et al. Methodology to Study Attenuation of a Blast Wave through the Cranium, *IMECE*, 2011

Contrôle actif des fréquences d'une membrane de tom : implémentation expérimentale

M. Wijnand^{a*}, B. d'Andréa-Novel^{a*}, T. Hélie^b, D. Roze^b

STMS lab (Ircam – ^bCNRS – ^aSorbonne Université); marc.wijnand@ircam.fr

Un projet de contrôle actif d'un tom est présenté. Cet instrument de percussion de type membranophone avec un couplage membrane-cavité est doté d'un haut-parleur pouvant modifier le volume de la cavité.

Dans [1, 2], un modèle mécanique pour le système membrane-cavité-haut-parleur a été établi. Il s'agit d'un modèle linéaire et hybride (EDP-EDO). Une projection modale sur les modes axisymétriques (les autres modes n'étant pas influencés par la cavité) de la membrane circulaire attachée au bord couplée à une cavité [3], suivie d'une troncature aux N premiers modes axisymétriques, permettent d'obtenir un modèle EDO pur.

À partir de ce modèle, un contrôleur a été conçu qui a pour but de modifier les fréquences et/ou amortissements des premiers N modes axisymétriques. Il nécessite une mesure de la pression dans la cavité et une mesure du déplacement transverse de la membrane supérieure, et fournit une loi de commande en courant pour le haut-parleur [1]. Pour une implémentation plus pratique, le déplacement transverse de la membrane supérieure peut être estimé à partir de la mesure de la pression dans la cavité en utilisant un observateur [2]. Le contrôleur (observateur-régulateur) résultant incorpore une loi de commande en temps fini. Si cette expression non linéaire permet d'atteindre une cible plus vite qu'avec une loi de commande asymptotique classique, elle est très raide proche de la cible, ce qui peut mener à des problèmes numériques lors d'une implémentation expérimentale.

Dans la présente contribution, une implémentation expérimentale de l'observateur-régulateur est présentée. Le tom est doté d'un haut-parleur basse-fréquence et un microphone à l'intérieur de la cavité mesure la pression. L'observateur-régulateur est implémenté sur un Coala [4], un microcontrôleur dédié au calcul en temps réel pour le contrôle actif d'instruments de musique. La membrane supérieure du tom est frappée par une baguette montée dans un support de frappe reproductible, adapté de [5]. Avant de tester le contrôleur, une identification des paramètres physiques est effectuée.

Une première observation concernant la performance du contrôleur est que lors du calcul de l'observateur-régulateur temps-fini, sa raideur intrinsèque mène à des oscillations numériques autour de zéro (*chattering*), ce qui se traduit en un son haute-fréquence produit en permanence par le haut-parleur. On montre qu'une linéarisation de la loi de commande non linéaire dans un petit intervalle autour de zéro remédie à cet effet parasite.

Une deuxième observation est qu'il est en effet possible de modifier des fréquences des modes axisymétriques de la vibration de la membrane supérieure après un impact par la baguette. Toutefois, des écarts entre le modèle et les mesures sont observés. Nous supposons qu'ils sont en premier lieu dus à la non prise en compte dans le modèle de la propagation du son à l'intérieur du fût entre le haut-parleur et la membrane supérieure, ce qui peut mener à des interférences constructives/destructives en fonction de la fréquence (longueur d'onde).

Mots clefs : acoustique instrumentale, automatique, contrôle en temps fini, mécanique expérimentale

Références

- [1] M. Wijnand, B. d'Andréa-Novel, B. Fabre, T. Hélie, L. Rosier, D. Roze, Active control of the axisymmetric vibration modes of a tom-tom drum, IEEE 58th Conference on Decision and Control (CDC), 2019, Nice (France), pp. 6887-6892. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02296092/document>
- [2] M. Wijnand, B. d'Andréa-Novel, T. Hélie, D. Roze, Active control of the axisymmetric vibration modes of a tom-tom drum using a modal-based observer-regulator, Proceedings of the EAA e-Forum Acusticum, 2020, Lyon (France), pp. 639-646. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03234055/document>
- [3] P.M. Morse, Vibration and sound, American Society of Acoustics, 1995.
- [4] R. Piéchaud, A lightweight C++ framework for real time active control, 16th Real Time Linux Workshop, 2014.
- [5] M. Jossic, Contrôle actif et non-linéarités géométriques : le cas du gong xiaoluo, Thèse de doctorat, UPMC Paris, 2017.

*. Projet ANR Finite4SoS (*Finite time control and estimation for systems of systems*, ANR 15 CE23 0007)

Comportement des scellements chimiques d'armatures rapportées pour béton après exposition au feu

N. ABDELRAHMAN ALHAJJ CHEHADE ^{a*}, Sébastien REMOND ^b, Dashnor HOXHA ^c, Nicolas PINOTEAU ^d, Omar AL-MANSOURI ^e

a. CSTB – LaMé; nagham.abdelrahmanalhajjchehade@cstb.fr

b. LaMé ; sebastien.remond@univ-orleans.fr

c. LaMé ; dashnor.hoxha@univ-orleans.fr

d. CSTB ; Nicolas.PINOTEAU@cstb.fr

e. CSTB ; Omar.ALMANSOURI@cstb.fr

*Auteur correspondant

1 Introduction

Le scellement chimique est une technique d'assemblage structural permettant d'assurer le transfert d'efforts entre deux éléments adjacents en béton, à travers le collage d'une armature en acier à l'aide d'une résine. Cette technique permet de rénover les structures en béton armé et de réparer/étendre les structures existantes. Les scellements chimiques ont des propriétés mécaniques élevés à température ambiante. Cependant, le comportement mécanique des scellements chimiques, généralement régi par les propriétés physicochimiques de la résine, est sensible aux températures élevées [1], [2], [3], [4], [5]. Après leur exposition à haute température, l'adhérence est affaiblie. Le transfert de chaleur se poursuivant après exposition au feu, cela met en danger la construction après un incendie. Afin d'évaluer la capacité portante lors d'un incendie, (Pinoteau et al. 2013) ont développé la méthode d'intégration des résistances pour déterminer la variation de la résistance d'adhérence à différentes températures pendant le feu (Figure 1). Afin de fournir une base de données pour le développement d'une méthode de dimensionnement post-feu des scellements chimiques à l'aide d'une résine à base d'époxy, une étude expérimentale a été réalisée au CSTB sur des scellements chimiques d'armatures rapportées pour béton. Des essais au feu ont été menés dans des conditions de feu de la norme ISO 834-1 et à charge constante, puis des tests d'arrachements post-feu ont été réalisés à différentes températures de refroidissement à température ambiante du laboratoire. Les résultats ont montré que la résistance en adhérence obtenue suite aux essais d'arrachement post-feu augmente avec le temps de refroidissement, signalant une réversibilité du comportement de la résine à base d'époxy.

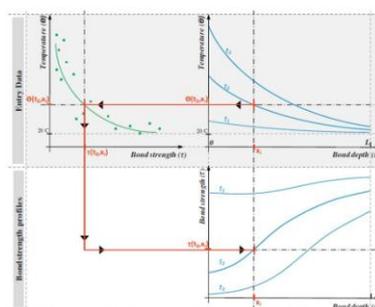


Figure 1: Méthode d'intégration des résistances [1]

Mots clefs : Béton, post-feu, scellements chimiques d'armatures, essais d'arrachements post-feu, contrainte d'adhérence

Références

- [1] N. Pinoteau, "Comportement des Scellements Chimiques d'Armatures Rapportées pour Béton en Situation d'Incendie." 2013.
- [2] M. A. Lahour, "Tenue au feu des goujons collés dans le bois et dans le béton," p. 187.
- [3] O. Al-Mansouri, "Behavior of bonded anchors in concrete under fire," 2020.
- [4] J. M. L. dos Reis, "Effect of temperature on the mechanical properties of polymer mortars," *Mat. Res.*, vol. 15, no. 4, pp. 645–649, Aug. 2012, doi: 10.1590/S1516-14392012005000091.
- [5] R. D. Adams, J. Coppendale, V. Mallick, and H. Al-Hamdan, "The effect of temperature on the strength of adhesive joints," *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 12, no. 3, pp. 185–190, Jul. 1992, doi: 10.1016/0143-7496(92)90052-W.

Equation analytique pour déterminer la résistance d'un boulon à tête à la rupture par cône de béton à température ambiante

M. Robson^{a,b}, D. Hoxha^a, S. Rémond^a, N. Pinoteau^b, O. Al-Mansouri^b,

a. Univ Orléans, Univ Tours, INSA CVL, LaMé, EA 7494, France

b. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), Champs-sur-Marne, France

Correspondance : mioranirina.robson@cstb.fr

1 Introduction

La méthode semi-empirique CCD [1][2] en vigueur pour déterminer la résistance d'un boulon à tête à la rupture par cône de béton à température ambiante, n'est pas simple à ajuster à des cas spéciaux, tels qu'en présence de chargement thermique ou autres situations particulières. Afin d'établir une base théorique permettant de couvrir plus tard des sollicitations exceptionnelles, ce travail consiste à développer une équation analytique alternative à la méthode CCD. La validité de l'équation développée a été évaluée par comparaison avec les résultats de la méthode CCD et avec les résultats d'un programme expérimental réalisé au CSTB.

2 Equation analytique simplifiée et validation

La rupture par cône de béton se caractérise par la formation et la propagation d'une fissure circonférentielle [3][4]. En se basant sur les considérations énergétiques de la mécanique de la rupture, le béton peut être assimilé à un matériau fragile à l'initiation de la rupture. La zone de libération de l'énergie élastique a ainsi été modélisée par un tore (Fig. 1), par extension de la théorie de Perez [5].

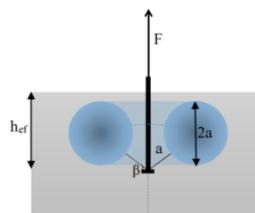


Fig. 1 : Tore de libération d'énergie

L'équation analytique simplifiée ainsi dérivée (Eq.1), permet de déterminer la charge de rupture F d'un boulon à tête de profondeur effective h_{ef} . Elle caractérise la contribution mécanique du béton par son énergie de fissuration G_F et son module d'Young E .

$$F = 1.23 (EG_F)^{1/2} h_{ef}^{3/2} \quad \text{Eq. 1}$$

Elle est en bonne adéquation avec des résultats expérimentaux et avec la méthode CCD (Fig.2). Cette comparaison suggère que les deux méthodes (CCD et analytique) aboutissent à une prédiction similaire de la charge de rupture par cône de béton, avec des ratios moyens $F_{mesurée}/F_{calculée}$ de 1.27 et 1.22 respectivement. La méthode analytique pourra ainsi servir de base théorique pour de futurs développements.

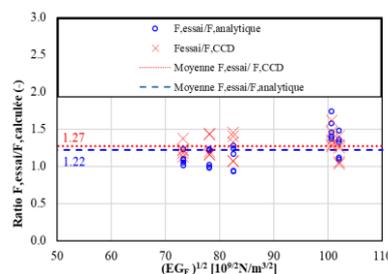


Fig. 2 : Comparaison entre capacités mesurées et calculées

Mots clefs : Cône de béton, boulon à tête, équation analytique, méthode CCD

Références

- [1] W. Fuchs, R. Eligehausen, et J. E. Breen, « Concrete capacity design (CCD) approach for fastening to concrete », *ACI Structural Journal*, vol. 92, n° 1, p. 73- 94, 1995.
- [2] G. Rehm, R. Eligehausen, et R. Malleé, « Befestigungstechnik », 1988, doi: <http://dx.doi.org/10.18419/opus-390>.
- [3] R. Eligehausen, R. Malleé, et J. F. Silva, *Anchorage in Concrete Construction*. John Wiley & Sons, 2006.
- [4] R. Eligehausen et G. Sawade, « A fracture mechanics based description of the pull-out behavior of headed studs embedded in concrete », 1989, doi: <http://dx.doi.org/10.18419/opus-7930>.
- [5] N. Perez, *Fracture Mechanics*, 2^e éd. Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-24999-5.

Effet de la rigidité du maintien de la semelle tendue sur le Déversement des Poutres en I

BELAID Toufik^a, SLIMANI Adel^a, AMMARI Fatiha^a, BOUKHALFA Dalila^a, ADMAN Redouane^a.

^a Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene- Faculté de Génie Civil- Laboratoire Bâti dans L'Environnement (LBE)- BP 32 El-Alia, Bab Ezzouar, Algerie, 16111.
t.belaid@hotmail.com, slimani_a_del@hotmail.fr, ammari_fat@yahoo.fr, d.boukhalfa@yahoo.fr, r_adman@yahoo.fr,

Résumé

Lorsqu'un élément est maintenu élastiquement au milieu de sa longueur, son mode de flambement dépend de la rigidité du maintien. Si on définit γ_v comme étant le rapport adimensionnel de la rigidité du maintien par rapport à la rigidité de flexion hors plans, les cas limites sont que la pièce se déformera au premier mode lorsque γ_v est nulle, et au deuxième mode 2 lorsque γ_v est infini. Mais à partir de quelle valeur de γ_v la pièce se déformera en mode 2. Cette question a suscité plusieurs chercheurs dont Timoshenko [1] qui a fait un modèle d'une barre de longueur $3L$ maintenue en trois positions de manière équidistante, il trouve que la rigidité requise pour que la barre flambe au mode 4 est de l'ordre de $\gamma_v = 3.41$ reprend Yura [2]. Basé sur le modèle d'une barre soumise à un effort de compression, Gardner [3] considère que la rigidité du maintien pour passer du mode 1 au mode 2 est de l'ordre de $16\pi^2 EI_z / L^3$, donc $\gamma_v = 3.24$. Mc Cane [4] propose une formule de la rigidité du maintien en fonction des caractéristiques de la poutre ainsi que le nombre et la position du maintien dans le cas d'un moment constant, mais uniquement pour un maintien positionné dans la partie comprimée de la section. On s'intéresse dans le cadre de ce travail à l'effet de la rigidité du maintien latéral de la semelle tendue sur le déversement des poutres bi-symétrique, dont la question principale est, est-ce que la position du maintien en zone tendue peut constituer un blocage et mener la poutre à flamber au mode 2. Ou encore, est-ce qu'un maintien ponctuel peut améliorer la stabilité de la poutre vis à vis du déversement comme c'est le cas pour un maintien continu [5]. À partir de l'expression du moment critique de déversement d'une poutre maintenue élastiquement à mi-travée, la valeur de la rigidité minimale γ_v pour laquelle le maintien est considéré fixe est mise sous la forme d'une fonction ayant pour variables la position du maintien, la rigidité de torsion de la poutre et des coefficients de chargement. Une comparaison entre la formule proposée et les limites trouvées dans la littérature [1-3] ainsi que l'expression donnée par Mc Cane [4] permet de remarquer que lorsque le maintien se trouve au droit de la semelle comprimée, les limites proposées [1-3] donnent des valeurs conservatrices. Cependant, pour des positions du maintien se rapprochant du centre de cisaillement, il existe des plages de rigidité de torsion pour lesquelles la rigidité limite du maintien par l'approche poteau reste insuffisante pour constituer un blocage. Nous pouvons observer aussi qu'un maintien discret positionné au droit de la semelle tendue peut apporter une amélioration à la stabilité au déversement et constituer un blocage à partir d'une valeur limite de la rigidité de torsion.

Mots clefs : Rigidité minimale, Maintien latéral ; Déversement ; Moment Critique, Semelle Tendue

Références

- [1] S. P. Timoshenko and J. M. Gere, *Theory of elastic stability*: McGraw-Hill 1961.
- [2] J. A. Yura, "Fundamentals of beam bracing," *Engineering journal-American institute of steel construction*, vol. 38, pp. 11-26, 2001.
- [3] L. Gardner, *Stability of steel beams and columns in accordance with Eurocodes and the UK National Annexes*. Ascot, UK: Steel Construction Institute: SCI, 2011.
- [4] F. McCann, L. Gardner, and M. A. Wadee, "Design of steel beams with discrete lateral restraints," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 80, pp. 82-90, 2013.
- [5] T. Belaid, F. Ammari, and R. Adman, "Influence of load position on critical lateral torsional buckling moment of laterally restrained beam at tense flange," *Asian Journal of Civil Engineering*, vol. 19, pp. 839-848, 2018.

Mécanique des matériaux

Instrumentation de textiles par fibres optiques pour mesure in-situ de frottement, compression, déformation

L. BAHIN^a, M-A. BUENO^a, M. TOURLONIAS^a, R. M. ROSSI^b

a. Université de Haute-Alsace, Laboratoire de Physique et Mécanique Textile (UR 4365), Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud Alsace, Mulhouse – lucas.bahin@uha.fr, marie-ange.bueno@uha.fr, michel.toulonias@uha.fr

b. Empa, Saint-Gall (Suisse) – rene.rossi@empa.ch

1 Contexte et état de l'art

Les textiles intelligents (smart textiles) sont des textiles en interaction avec leur environnement. Ils ont la particularité de pouvoir réagir à différents stimuli (mécanique, optique, thermique, électrique, magnétique) et de répondre soit en donnant des informations spécifiques, agissant alors comme des capteurs, soit en adaptant leur comportement par un changement de propriété (mécanique, optique...). Les applications de ces textiles sont très diverses et couvrent l'intégralité ou la quasi-intégralité des secteurs dans lesquels le textile est présent : l'habillement, l'ameublement, le médical, le bien-être, le sport, ... [1]. Le projet vise à proposer une ou des solutions résolvant les problèmes de sensibilité à l'humidité et de coût des fils conducteurs ou capteurs.

2 Pertinence, originalité et objectifs

Les capteurs basés sur les fibres optiques sont constitués d'une source lumineuse, un transducteur et un détecteur. Lorsque le transducteur (fibre optique) détecte une perturbation, il va convertir cette perturbation en une perte de lumière (extrinsèque ou intrinsèque) qui va être détectée par un récepteur (photodiode, ...) convertissant cette perte de lumière en un signal électrique. En intégrant cette fibre durant le processus de fabrication du textile, le capteur fait partie intégrante du textile. Les perturbations sont mesurées au plus proche de la source ce qui diminue les phénomènes parasites. Le capteur étant souple, il ne gêne pas l'utilisateur et ne doit pas modifier les propriétés liées à la souplesse du textile. L'objectif est de déterminer l'emplacement du fil capteur dans le textile afin d'avoir la plus grande sensibilité en fonction de la sollicitation à mesure. Pour cela le fil capteur est sollicité selon quatre sollicitations (compression, traction, flexion, torsion) afin d'étudier sa réponse [2] [3].

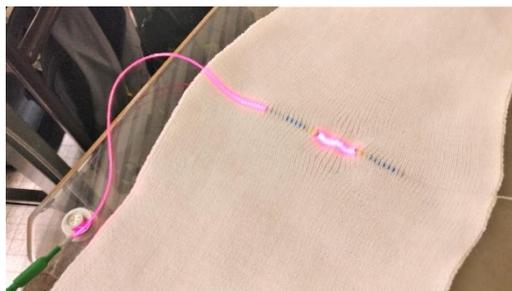


Figure: Capteur de pression utilisant une fibre optique polymérique et inséré dans un tricot

Mots clefs : textile, smart-textile, fibre optique, capteurs, déformations

Références

- [1] Union des Industries Textiles, "Livre blanc sur les textiles intelligents." Mar. 2017. [Online]. Available: <https://www.textile.fr/innovation>
- [2] M. P. Krehel, "Polymeric Optical Fibres for Biomedical Sensing," ETH Zurich, Zurich, 2014.
- [3] K. Fidanboyu and H. S. Efeendioglu, "Fiber Optic Sensors and Their Applications," in *5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09)*, May 2009, p. 6.

Etude du comportement mécanique d'un PPS GF40 en fonction de la température et de l'immersion dans du liquide de refroidissement

Quentin C.P Bourgogne*, Vanessa Bouchart, Pierre Chevrier

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 automobile 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 l'utilisation de composites plastiques renforcés se démocratise, jusqu'à atteindre aujourd'hui les composants sous-capot tels que les pompes à eau de refroidissement. L'immersion permanente dans le liquide de refroidissement et les fortes variations de températures inhérentes à cette application constituant un environnement défavorable à ce type de matériaux, les effets de cet environnement sur ces matériaux doivent être connus afin de permettre une conception fiable des composants. Cet exposé porte sur l'étude expérimentale et théorique d'un PolyPhénylène Sulfide renforcé à hauteur de 40% de fibres courtes de verre (PPS GF40) et de sa matrice plastique. Les variations de températures et le vieillissement du matériau lié à l'immersion dans le liquide de refroidissement ont été investiguées de manière expérimentale via des essais de tractions cycliques et monotones sur le plastique pur et sur le composite en faisant varier la proportion de glycol dans le liquide de refroidissement. Les résultats de ces essais ont permis l'identification des principaux phénomènes physiques à l'œuvre dans le PPS pur et responsables des évolutions de son comportement mécanique en fonction de cet environnement hydro-thermique ainsi que la mise en place d'un modèle phénoménologique permettant de traduire ce comportement et de l'extrapoler pour différentes températures [1]. Les effets du vieillissement ont été intégrés au sein de ce même modèle via l'établissement d'une équivalence température/immersion. A partir de l'étude réalisée sur la matrice PPS, le modèle proposé a été extrapolé au niveau du composite via une homogénéisation analytique de son comportement. Après comparaison avec les courbes expérimentales, il s'est avéré qu'une fois homogénéisé, le modèle proposé préservait ses bonnes capacités prédictives, surtout sur la prédiction du comportement élastique et ce, quelle que soit l'orientation des fibres. Un certain écart a cependant été observé entre la prédiction du comportement pseudo-plastique et le comportement observé expérimentalement. Une investigation par éléments finis de la cohésion fibre/matrice par endommagement d'inter-phase a été menée afin d'expliquer ces différences. Ce travail a permis l'étude des conséquences de cette fragilisation de cette cohésion fibre/matrice sur le comportement macroscopique du composite en fonction de l'orientation des fibres et de la température. Ce travail a également permis de mettre en exergue l'influence du vieillissement sur cette cohésion et de quantifier la perte de résistance de cette inter-phase induite par un tel procédé [2].

Mots clefs : Composite à base polymère ; Essais thermomécaniques ; Modélisation analytique ; Modélisation multi-échelle ; Modélisation par éléments-finis ; Température ; Vieillessement

Références

[1] Bourgogne, Q.C.P., Bouchart, V., Chevrier, P. *et al.* Influence of temperature and cooling liquid immersion on the mechanical behavior of a PPS composite: experimental study and constitutive equations. *SN Appl. Sci.* **2**, 368 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2160-2>

[2] Bourgogne, Q.C.P., Bouchart, V., Chevrier, P. *et al.* Numerical investigation of the fiber/matrix inter-phase damage of a PPS composite considering temperature and cooling liquid ageing. *SN Appl. Sci.* **3**, 132 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04009-x>

Developpement Et Implementation Numerique D'un Modele D'homogeneisation Elastoviscoplastique Pour Des Aciers Austeno-Ferritiques Vieillis

Eyram TSEKPUIA^{a*}, Stephane BERBENNI^a, Adrien GUERY^b

^a LEM3, CNRS UMR 7239, Université de Lorraine, 57070, Metz, France

^b EDF R&D, Site des Renardières, 77818, Moret-Sur-Loing, France

* Contact : eyram.tsekpuaia@univ-lorraine.fr

Résumé

Les aciers inoxydables austéno-ferritiques (AF) sont utilisés pour la fabrication d'éléments de tuyauterie du circuit primaire principal des Réacteurs à Eau Pressurisée (REP). Dans les conditions de services (autour de 320°C) et durant de longues heures d'exposition (plus de 10 000h), la ferrite se fragilise, ce qui rend cette phase plus dure et réduit la ductilité et la résistance à la fracture du matériau. Pour bien comprendre les mécanismes physiques qui sont en jeu à l'échelle microstructurale et chercher à quantifier leur impact sur le comportement global d'une structure, il est nécessaire de mettre en place des modèles avancés prédictifs du comportement.

Les études de caractérisation micromécaniques des aciers AF et les récentes enquêtes expérimentales [1,2] ont mis en exergue différentes échelles caractéristiques de leur microstructure : les lattes monocristallines de chaque phase (1), le bi-cristal (colonies de lattes austénitiques bi-percolés avec la ferrite) (2) et le poly-bicristal qui est un agrégat de plusieurs grains bi-cristallins. La modélisation du comportement homogénéisé de ces aciers à microstructures complexes nécessite donc différentes transitions d'échelles.

Tout d'abord, à l'échelle (1), le comportement monocristallin de chacune des deux phases est modélisé à l'aide du modèle de plasticité cristalline de Méric-Cailletaud [3]. Ensuite, pour la transition de l'échelle (1) à (2) et le passage au bicristal, deux stratégies d'homogénéisation sont développées et discutées par rapport aux données expérimentales. La première est une estimation de Hashin-Shtrikman basée sur les champs translétés (translated fields en anglais TF) utilisant un schéma de linéarisation affine [4,5] ; la seconde est basée sur une approche auto-cohérente basée sur le modèle TF [4,5], couplée à une approche qui intègre la structure laminaire austénite/ferrite observée pour cette microstructure. Le modèle bicristallin prend aussi en compte la morphologie des phases et les relations d'orientation existantes entre les phases. Pour la transition de l'échelle (2) à (3) et le passage au poly-bicristal, un modèle à champs moyens auto-cohérent est appliqué pour prendre en compte le comportement homogénéisé d'un agrégat de bi-cristaux et est comparé avec les réponses en traction du matériau. Pour ce faire, le générateur de code MFront [6] est utilisé pour implémenter le modèle d'homogénéisation à champs translétés.

Les résultats de l'approche d'homogénéisation proposée sont validés par des simulations champs complets de type FFT à l'échelle du bi-cristal et par des courbes contraintes/déformations à l'échelle du poly-bicristal produites à EDF R&D [2].

Mots clefs : Homogénéisation non-linéaire en élasto-viscoplasticité cristalline – aciers austéno-ferritiques - modélisation multi-échelle – implémentation numérique

REFERENCES

- [1] S. Bugat, J. Besson, and A. Pineau, "Micromechanical modeling of the behavior of duplex stainless steels," *Comput. Mater. Sci.*, vol. 16, no. 1–4, pp. 158–166, 1999, doi: 10.1016/S0927-0256(99)00058-0.
- [2] M. Mollens, et al. "Caractérisation mécanique d'aciers à microstructure complexe par essais in-situ multi-échelle", CFM2021, 2021. (soumission)
- [3] L. Méric, P. Poubanne, and G. Cailletaud, "Single crystal modeling for structural applications," *ASME J Eng Mater Technol*, vol. 113, pp. 165–170, 1991.
- [4] C. Mareau, S. Berbenni, "An affine formulation for the self-consistent modeling of elasto-viscoplastic heterogeneous materials based on the translated field method". *International Journal of Plasticity*, Vol. 64, pp. 134-150, 2015
- [5] S. Lhadi, S. Berbenni, N. Gey, T. Richeton, and L. Germain, "Micromechanical modeling of the effect of elastic and plastic anisotropies on the mechanical behavior of β -Ti alloys," *Int. J. Plast.*, vol. 109, no. March, pp. 88–107, 2018
- [6] T. Helfer, B. Michel, J.M. Proix, M. Salvo and J. Sercombe, "Introducing the open-source MFront code generator: Application to mechanical behaviours and material knowledge management within the PLEIADES fuel element modelling platform". *Computer and Mathematics with Applications* 70, 994–1023, 2015.

Micromechanics-based elasto-plastic-damage energy formulation for strain gradient solids with granular microstructure

E. BARCHIESI^a, L. PLACIDI^b, A. MISRA^c, D. TIMOFEEV^d

a. École Nationale d'Ingénieurs de Brest, UMR CNRS 6027, IRDL. E-mail : emilio.barchiesi@enib.fr

b. International Telematic University UNINETTUNO. E-mail : luca.placidi@uninettunouniversity.net

c. The University of Kansas. E-mail : amisra@ku.edu

d. International Research Center M&MOCS. E-mail : dima_timofeev@mail.ru

1 Outline of the talk

Approaches aimed at handling dissipation occurring in non-conservative physical systems are extensively discussed in the scientific literature. Damage and plasticity are complex dissipative phenomena which are especially interesting for the engineering community, because they are occurring in many different materials employed in engineering applications, like structural steel and concrete. The presentation will be devoted to the development of a continuum theory for materials having granular microstructure and accounting for some dissipative phenomena like damage and plasticity. The continuum description is constructed by means of purely mechanical concepts, assuming expressions of elastic and dissipation energies as well as postulating a hemi-variational principle, without incorporating any additional postulate like flow rules. Granular micromechanics is connected kinematically to the continuum scale through Piola's ansatz. Numerical experiments have been performed to investigate the applicability of the model.

Cyclic loading–unloading histories have been considered to elucidate the material hysteretic features of the continuum, which emerge from simple grain–grain interactions. The competition between damage and plasticity, each having an effect on the other, has been assessed. Furthermore, the evolution of the load-free shape is shown not only to quantify the plastic behaviour, but also to make tangible the point that, in the proposed approach, plastic strain is found to be intrinsically compatible with the existence of a placement function.

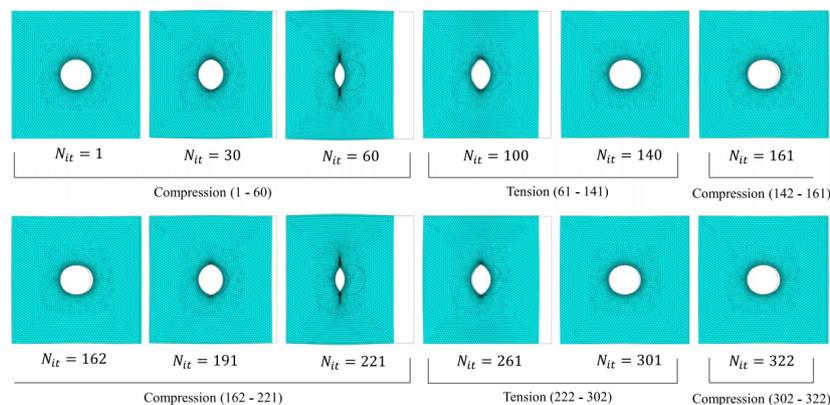


FIGURE 1 – Non-homogeneous cyclic test. Evolution of the load-free configuration for different loading time steps.

Mots clefs : Damage ; Plasticity ; Granular microstructures ; KKT conditions ; Strain gradient

Références

- [1] Dmitry Timofeev, Emilio Barchiesi, Anil Misra, and Luca Placidi. Hemivariational continuum approach for granular solids with damage-induced anisotropy evolution. *Mathematics and Mechanics of Solids*, 26(5) :738–770, 2021. [Link](#).
- [2] Emilio Barchiesi, Anil Misra, Luca Placidi, and Emilio Turco. Granular micromechanics-based elastic identification of isotropic strain gradient stiffness matrices for geometrically nonlinear deformations. *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, 2021. [Link](#).
- [3] Luca Placidi, Emilio Barchiesi, Anil Misra, and Dmitry Timofeev. Micromechanics-based elasto-plastic-damage energy formulation for strain gradient solids with granular microstructure. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, pages 1–29, 2021. [Link](#).

Comportement mécanique de matériaux sandwich innovants

J. SALLOUM^a, R. LEGER^a, L. DARIDON^b, P. IENNY^a

a. LMGC, IMT Mines Alès, Univ. Montpellier, CNRS, Alès, France, joulia.salloum@mines-ales.fr,
romain.leger@mines-ales.fr, patrick.ienny@mines-ales.fr

b. LMGC, Univ. Montpellier, CNRS, Montpellier, France, loic.daridon@umontpellier.fr

1 Contexte et objectifs

Les navires commerciaux, dont la structure en alliage métallique est extrêmement lourde, consomment des quantités d'énergie très importantes pour se déplacer. Plusieurs projets ont démontré qu'il est possible de concevoir ces grands navires avec des matériaux composites tout en satisfaisant les normes les plus drastiques. Les matériaux sandwich avec parements en stratifiés à matrice polymère et âme en mousse polymère, constituent des matériaux de premier choix pour la conception de superstructures ou de coques légères et rigides pour ces navires. L'objectif est d'étudier la mise en œuvre, la caractérisation et la modélisation du comportement mécanique de matériaux sandwich dédiés au secteur du nautisme. Sur la base de ces travaux, la société Windelo partenaire du projet avec la région Occitanie, souhaitent définir des règles de dimensionnement d'éco-matériaux qu'ils soient recyclés et biosourcés. La modélisation mise en place est donc basée sur le choix des matériaux répondant favorablement à des critères de développement durable, de performances mécaniques et de durabilité.

2 Méthodologie et résultats

Afin de pouvoir établir un comportement homogénéisé d'un matériau sandwich, le travail a été divisé en deux parties : la caractérisation de la mousse seule et ensuite du stratifié composé d'une résine partiellement biosourcée renforcée de fibres de basalte. Le premier travail consiste ici à étudier le comportement mécanique d'une mousse de référence en polychlorure de vinyle (PVC) et ceux des mousses de substitution en polytéréphtalate d'éthylène recyclé (PETr). L'évaluation d'un modèle de comportement des mousses est rendue compliquée compte-tenu de l'anisotropie induite par le procédé d'une part, et de l'hétérogénéité structurale à l'échelle d'essais de laboratoire d'autre part [1]. Des essais de compression (figure 1) et de cisaillement instrumentés par une technique de corrélation d'images numérique (CIN), ont été menés sur les mousses PVC et PETr, ce pour des géométries de différentes dimensions [2]. L'ensemble de ces essais dits de structures conduisent à des mesures de propriétés apparentes. Le comportement élastique intrinsèque est identifié par recalage d'une modélisation par EF des essais. Notamment, il est montré à la suite des essais de compression réalisés, que la mousse PVC, présente un comportement élastique isotrope transverse ce qui n'est pas le cas du PETr.

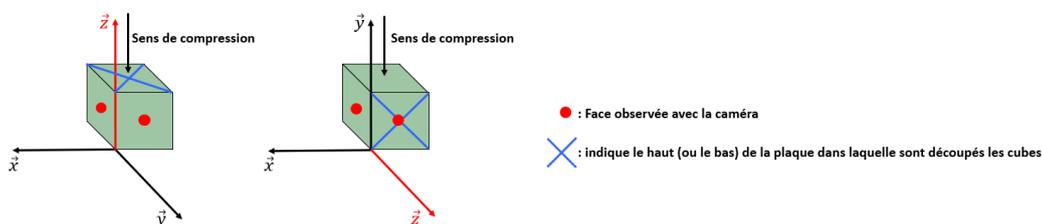


Figure 1 : Essai de compression sur mousse dans deux directions

Mots clefs : mousse structurale, matériau sandwich, isotropie transverse, modélisation, PETr.

Références

- [1] V. Tita, M. F. Caliri, R. A. Angélico, and R. B. Canto, "Experimental analyses of the poly(vinyl chloride) foams' mechanical anisotropic behavior," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 52, no. 12, pp. 2654–2663, Dec. 2012.
- [2] S. Heinz and J. Wiggins, "Uniaxial Compression Analysis of Glassy Polymer Networks Using Digital Image Correlation," *Polym. Test.*, vol. 29, no. 8, pp. 925, Dec. 2010.

Développement et caractérisation d'un composite à base de coproduits de la viticulture pour une application dans le bâtiment

C. BADOUARD^{a,b}, F. BOGARD^{a,b}, C. BLIARD^c, M. LACHI^a, B. ABBES^a, G. POLIDORI^{a,b}

^a MATIM, Université de Reims Champagne Ardenne, Moulin de la Housse, BP 1039, 51687 Reims Cedex 2, France ; mohammed.lachi@univ-reims.fr ; boussad.abbes@univ-reims.fr ; guillaume.polidori@univ-reims.fr

^b Pôle de Recherche Châlonnais, Campus URCA Châlons, Université de Reims Champagne Ardenne, Chaussée du Port, 51000 Châlons en Champagne, France ; celine.badouard@univ-reims.fr ; fabien.bogard@univ-reims.fr

^c Institut de Chimie Moléculaire de Reims, ICMR-UMR 7312 CNRS, Université de Reims Champagne Ardenne, Moulin de la Housse, BP 1039, 51687 Cedex 2, France ; christophe.bliard@univ-reims.fr

Résumé

Le secteur du bâtiment est l'un des plus gros consommateurs de ressources naturelles et d'énergie au monde. L'isolation est l'un des paramètres clés pour les performances énergétiques des bâtiments. La raréfaction des ressources fossiles nécessite le développement de nouveaux matériaux. L'élimination des déchets/sous-produits générés par les activités agricoles diverses permet de combiner les deux problématiques en développant des matériaux de construction issus d'agroressources.

En France, la production de vin génère une quantité considérable de marc de raisin, 850 000 tonnes par an [1]. L'objectif est de trouver une voie de valorisation pour les sous-produits de la viticulture. Une des motivations était de concevoir un matériau 100% bio-sourcé issu des ressources de la région Champagne-Ardenne. Le développement actuel des matériaux bio-sourcés répond à une logique de recherche d'un matériau unique aux propriétés multifonctionnelles, efficace d'un point de vue mécanique, thermique et acoustique, plutôt qu'une juxtaposition de matériaux répondant à l'une de ces trois fonctions.

Différentes formulations d'un agro-composite ont été élaborées à partir d'amidon de pomme de terre, de marc de raisin, de peaux de raisin, de rafles, de rafles broyées (Figure 1), donnant des écomatériaux d'origine naturelle, recyclables, renouvelables et stockant du carbone. Pour déterminer le potentiel de tels matériaux, des critères de performance ont été mesurés en commençant par la thermique via la conductivité thermique (méthode du fil chaud) puis l'acoustique par le coefficient d'absorption acoustique (Tube de Kundt) suivi de la résistance et de la dureté du matériau avec les propriétés mécaniques en compression et en flexion.

Le coefficient d'absorption acoustique montre que ces matériaux sont de bons absorbeurs de sons. Les quatre composites ont une faible conductivité thermique inférieure à $0.08 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Dans l'ensemble, les composites sous-produits/amidon présentent de bonnes performances thermiques, mécaniques et acoustiques pour une utilisation comme matériaux d'isolation dans la construction de bâtiments.

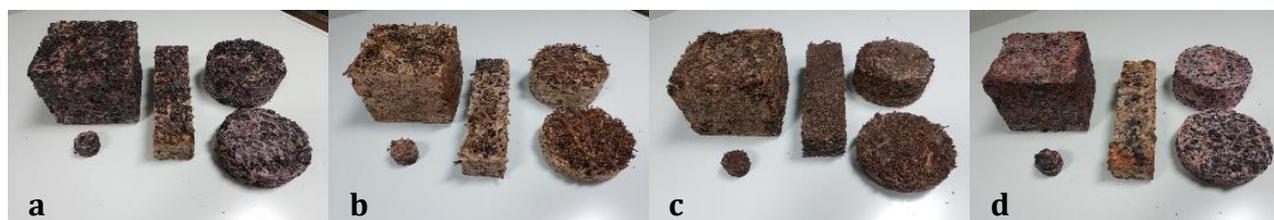


Figure 1: Composites fabriqués à base d'amidon de pomme de terre et de marc de raisin (a), de rafles (b), de rafles broyées (c) et de peaux (d)

Mots clefs :

Isolation des bâtiments, composite biosourcé, propriétés mécaniques, flexion, compression, absorption acoustique, conductivité thermique, amidon de pomme de terre

Références

[1] Institut Français du Vin, Marcs de raisins, lies de vin et bourbes : Quelle gestion des sous-produits vinicoles, Rapport Itinéraires n°25, (2013).

Identification automatique des défauts du marbre en vue de reconfigurer des machines- outils à commande numérique

HAMMOUDA. MOUNA^{a,b}, BEN.YAHIA. NOUREDDINE^a, GHIENNE. MARTIN^b,
DION. JEAN-LUC^b

a. Engineering National High School of Tunis (ENSIT) · Mechanics, Production and Energetics Laboratory (LMPE)+ mounahamouda97@gmail.com, nourdine.benyahia@yahoo.com

b. Higher Institute of Mechanics of Paris · (ISAE-Supméca) Quartz laboratory (EA 7393) + martin.ghienne@isae-supmeca.fr , jean-luc.dion@isae-supmeca.fr , mouna.hammouda@isae-supmeca.fr

1 Introduction

Le marbre est un matériau fragile et hétérogène. Cet aspect naturel limite le bon déroulement du processus d'usinage numérique. Cette recherche vise à optimiser le processus du perçage du marbre Carrara pour différents procédés conventionnels et non conventionnels (machines-outils commandes numériques MOCN et machines du jet d'eau abrasif MJEA). L'objectif de cette recherche est d'analyser la cause de fissuration des plaques du marbre lors du perçage vécus par la machine-outil à commande numérique. Cette analyse commence par une détection des défauts du marbre par des outils de traitement d'image (détection des fissures surfaciques et des impuretés) et de traitement de signal (essai du choc marteau et analyse spectrale) tout en appliquant les outils du Machine Learning pour automatiser cette détection. Cette étape sera utile pour la partie expérimentale et les résultats de détection seront la base de la reconfiguration des paramètres de la machine du perçage. Pour mieux comprendre les variables les plus influents sur le perçage du marbre, une comparaison de la qualité des trous percés (tolérances géométriques et dimensionnelles tel que (la rugosité, la circularité, l'erreur de localisation, la cylindricité) et conicité) est comparé pour le même matériau marbre de Carrara à l'aide de deux machines MOCN et MJEA. La contribution scientifique de ce travail est l'optimisation de perçage du marbre par deux machines différentes et proposer à l'opérateur les zones à éviter lors du perçage et les plages de variation de chaque paramètre de la machine en fonction de la qualité demandé par le client.

Mots clefs : marbre de Carrara, détection automatique des défauts, perçage du marbre, reconfiguration des machines numériques

Quelques Références

- [1] Z. Karaca, R. Hacımustafaoğlu, et M. V. Gökçe, « Grain properties, grain-boundary interactions and their effects on the characteristics of marbles used as building stones », *Constr. Build. Mater.*, vol. 93, p. 166-171, sept. 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.023.
- [2] G. M. A. Wahab, M. Gouda, et G. Ibrahim, « Study of physical and mechanical properties for some of Eastern Desert dimension marble and granite utilized in building decoration », *Ain Shams Eng. J.*, vol. 10, no 4, p. 907-915, déc. 2019, doi: 10.1016/j.asej.2019.07.003.
- [3] D. Taelman, C. Delpino, et F. Antonelli, « Marble decoration of the Roman theatre of Urvinum Mataurense (Urbino, Marche region, Italy): An archaeological and archaeometric multi-method provenance study », *J. Cult. Herit.*, vol. 39, p. 238-250, sept. 2019, doi: 10.1016/j.culher.2019.03.009.
- [4] C. Capitano, G. Peri, C. Raimondi, G. Rizzo, et M. Traverso, « “Energy and environmental analysis of marble productive sites: « by phases » and « by single process » combined approach.” », *Energy Procedia*, vol. 148, p. 1183-1190, août 2018. [En ligne]. Disponible sur: doi: 10.1016/j.egypro.2018.08.023.
- [5] M. I. El-Gammal, M. S. Ibrahim, E.-S. A. Badr, S. A. Asker, et N. M. El-Galad, « Health Risk Assessment of Marble Dust at Marble Workshops », p. 11.
- [6] S. Ayber et B. H. Ulutas, « Assessing Sustainable Manufacturing Related Problems for Marble Facilities: An Application », *Procedia Manuf.*, vol. 8, p. 129-135, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.02.015.
- [7] F. Sheremeti-Kabashi et R. Snethlage, « Determination of structural anisotropy of carrara marble with ultrasonic measurements », in *Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Elsevier, 2000, p. 247-253. doi: 10.1016/B978-044450517-0/50106-9.

Constitutive modelling of mechanical behaviour of laser based Powder Bed Fusion melted Inconel 718 superalloy over a wide range of strain rates

L. DELCUSE ROBERT^a, S. BAH^a, U. GUNPUTH^b, P. WOOD^b, A. RUSINEK^{a,c}

a. Laboratory of Microstructure Studies and Mechanics of Materials, UMR-CNRS 7239, 7 rue Félix Savart, 57000 Metz, France. laura.delcuse@univ-lorraine.fr

b. Institute of Innovation in Sustainable Engineering (IISE), University of Derby, Quaker Way, Derby, United Kingdom

c. Chair of Excellence, Departamento de Ingeniería Mecánica, UC3M (Universidad Carlos III de Madrid) Avda. de la Universidad 30, 28911, Leganés, Madrid, Spain

1 Abstract

The Nickel based superalloys Inconel 718 has been widely used in aerospace field and power industries with regards to its high strength and corrosion resistance [1]. However, this superalloy is known to be difficult-to-cut, due to its high hardness [2]. With the laser based Powder Bed Fusion (L-PBF), this difficulty could be overcome and could improve mechanical properties in function of the process parameters. Indeed, several studies highlighted the influence of process parameter such as the laser power [3], the scanning speed [4] and the print orientation [5]. By changing those parameters, the microstructure was affected and hence mechanical properties were modified compared to conventional material [6, 7].

To determine a constitutive model of laser melted Inconel 718, dynamic behaviour was obtained using Split Hopkinson Pressure Bar test. In addition, quasi-static compression test were also done, which provide a range of strain rate from $10^{-3} s^{-1}$ to $2500 s^{-1}$. Two building direction were investigated, in order to highlight the influence of process parameters on mechanical behaviour.

Using the determined constitutive model, computational modelling was performed on a re-entrant honeycomb structure under different strain rates, and then compared to experimental tests.

Mots clefs : Laser Powder Bed Fusion, Dynamic behaviour, Inconel 718

Références

- [1] G. Çam and M. Koçak, Progress in joining of advanced materials, *International Materials Reviews*, **43** (1998) 1–44
- [2] Coz, G.L. *Usinage de l’Inconel 718 : Intégrité de surface, mesure de température et modèle analytique du fraisage périphérique*. Université de Lorraine, 2013
- [3] Jia, Q., Gu, D. Selective laser melting additive manufacturing of Inconel 718 superalloy parts : Densification, microstructure and properties. *Journal of Alloys and Compounds* **585** (2014), 713–721.
- [4] Moussaoui, K., Rubio, W., Mousseigne, M., Sultan, T., Rezai, F. Effects of Selective Laser Melting additive manufacturing parameters of Inconel 718 on porosity, microstructure and mechanical properties. *Materials Science and Engineering : A* **735** (2018) 182–190
- [5] Deng, D., Peng, R.L., Brodin, H., Moverare, J. Microstructure and mechanical properties of Inconel 718 produced by selective laser melting : Sample orientation dependence and effects of post heat treatments. *Materials Science and Engineering : A* **713** (2018) 294–306.
- [6] Vilario, T., Colin, C., Bartout, J.D., Nazé, L., Sennour, M. Microstructural and mechanical approaches of the selective laser melting process applied to a nickel-base superalloy. *Materials Science and Engineering : A* **534** (2012) 446–451.
- [7] Trosch, T., Strößner, J., Völkl, R., Glatzel, U. Microstructure and mechanical properties of selective laser melted Inconel 718 compared to forging and casting. *Materials Letters* **164** (2016) 428–431

Homogénéisation de milieux fibrés par méthode d'inclusion équivalente

A. MARTIN^{a,b}, S. BRISARD^a

a. Laboratoire Navier, École des Ponts, Université Gustave Eiffel, IFSTTAR, CNRS, F-77455, Marne-la-Vallée

b. Spie batignolles génie civil, 92000, Nanterre

Résumé

En collaboration avec Spie batignolles, nous travaillons sur un procédé qui permet d'assurer une protection électromagnétique pour des bâtiments sensibles. Ce procédé utilise un béton rendu conducteur par l'ajout de fibres métalliques. C'est dans ce cadre que nous étudions la conductivité de tels matériaux hétérogènes.

On se concentre donc sur l'étude d'un problème de conductivité d'un milieu fibré, que l'on cherche à homogénéiser. On cherche à proposer une estimation de la conductivité homogénéisée, meilleure que les modèles de type « champ moyen », mais qui ne demande pas la puissance de calcul des méthodes de type « champ complet ».

Nous avons choisi la méthode de l'inclusion équivalente, en particulier sa formulation variationnelle. Celle-ci se base sur l'équation de Lippmann–Schwinger, faisant apparaître les polarisations dans les fibres. Cette méthode ne nécessite pas de maillage sur le domaine considéré, c'est ce qui évite de mobiliser une grosse puissance de calcul. On commence par choisir un espace d'approximation pour le champ de polarisation. On écrit ensuite la formulation variationnelle de l'équation de Lippmann–Schwinger dans cet espace d'approximation. On choisit alors la polarisation qui satisfait cette formulation. Rigoureusement, cette méthode permet ainsi de calculer des bornes pour la conductivité homogénéisée. En affinant l'espace d'approximation, il est possible, sous certaines conditions, de converger vers la solution exacte.

S'il n'y a pas de maillage à réaliser, il faut en revanche calculer le champ de polarisation dans chaque fibre. La taille du calcul dépend donc du nombre de fibres. Il dépend aussi de la dimension de l'espace d'approximation.

Un des points essentiels ici est de tirer partie de l'élanement des fibres : nous choisissons une polarisation qui ne varie que selon la coordonnée longitudinale de la fibre. La polarisation est supposée uniforme dans la section droite. Tandis qu'un calcul de type « champ complet » nécessiterait de mailler très fin pour des fibres plus élancées, notre méthode est au contraire utilisable pour des élancements élevés. Augmenter l'élanement ne nécessite pas plus de calcul, au contraire, l'hypothèse d'uniformité du champ dans la section droite devient alors encore plus pertinente et adaptée. L'idée n'est pas de converger vers la solution exacte, mais d'en fournir une bonne estimation. En pratique, la formulation variationnelle écrite dans l'espace d'approximation aboutit à un système linéaire faisant apparaître les polarisations inconnues dans les fibres. Les coefficients du système, quant à eux, reflètent l'interaction des fibres entre elles (en dehors de la diagonale du système) et sur elles-mêmes (dans la diagonale). Ces coefficients sont calculés à la fois analytiquement et numériquement.

Dans un premier temps, nous avons testé notre modèle sur des cas simples (3D) : problème d'Eshelby à une fibre, problème à deux fibres, réseau de fibres ; et nous avons comparé les résultats avec des calculs aux éléments finis. Enfin, nous travaillons sur des calculs réalisés sur des microstructures 3D contenant un grand nombre de fibres, et calculons des conductivités homogénéisées.

Si le problème de conductivité est physiquement différent d'un problème mécanique, les équations sont cependant similaires, et la méthode développée ici peut donc être adaptée dans le cadre de l'élasticité linéaire.

Mots clefs : homogénéisation, conductivité, inclusion équivalente, inclusions cylindriques

Références

- [1] S. Brisard, L. Dormieux, K. Sab A variational form of the equivalent inclusion method for numerical homogenization International Journal of Solids and Structures, 51 (2014) 716-728.
- [2] S. Brisard, K. Sab, L. Dormieux New boundary conditions for the computation of the apparent stiffness of statistical volume elements Journal of the Mechanics and Physics of Solids, vol. 61, no 12 (2013), p. 2638-2658.
- [3] A. H. Sihvola Electromagnetic mixing formulas and applications Iet, 47 (1999)

Vers un modèle de croissance pour la colonne scoliotique

N. M. CASTOLDI^{a,b}, M. MARTIN^c, P. PIVONKA^b, V. SANSALONE^a

a. MSME UMR8208 CNRS, UPEC Créteil, France. natalia.muhl-castoldi@u-pec.fr, vittorio.sansalone@u-pec.fr

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

c. LBMC UMR5239 CNRS, UCBL, Lyon, France. madge.martin@ens-lyon.fr

1 Introduction

Les matériaux du vivant ont la capacité de s'adapter à leur environnement mécanique et biochimique à travers des mécanismes divers tels que la croissance et le remodelage. Regardée à travers le prisme de la mécanique des milieux continus, la croissance d'un élément de matériau est associée à une variation de sa masse et de sa forme à repos (configuration sans contraintes [1]). Bien que la croissance soit tout d'abord un phénomène physiologique, de nombreuses pathologies sont associées à une croissance anormale des tissus. Ainsi, comprendre les mécanismes de la croissance et être capable de modéliser ce phénomène peut contribuer à appréhender, voire contrer les effets néfastes de certaines pathologies. Cependant, cette modélisation reste un défi majeur en mécanique des milieux continus.

2 Méthodologie et Résultats

Motivé par l'étude de la croissance anormale de la colonne vertébrale chez les patients scoliotiques, ce travail présente un modèle de croissance volumique développé dans le cadre de la mécanique des milieux continus généralisés [2]. Cette formulation, inspirée par les travaux de DiCarlo et Quiligotti [3], introduit une nouvelle configuration cinématique, qui décrit une déformation de croissance irréversible. L'évolution de celle-ci est décrite par une loi de croissance obtenue en s'appuyant sur des énoncés généralisés des principes des puissances virtuelles et de dissipation. Des modèles numériques préliminaires de la colonne vertébrale lombaire ont été développés afin d'analyser la pertinence de notre formulation. La colonne a été modélisée comme un empilement de vertèbres (pour lesquelles a été utilisé notre modèle de croissance) et de disques intervertébraux (Fig. 1a). L'application d'une force latérale, qui peut décrire une tension musculaire déséquilibrée, induit une distribution asymétrique des contraintes (Fig. 1b) et une déformation irréversible (Fig. 1c) dans les vertèbres, se manifestant comme une déviation progressive du rachis (Fig. 1d). Cette théorie générale vise à répondre à un problème clinique réel, à savoir la déformation pathologique et progressive de la colonne vertébrale chez les patients atteints de scoliose idiopathique de l'adolescent (AIS) et ces résultats montrent la pertinence du modèle proposé.

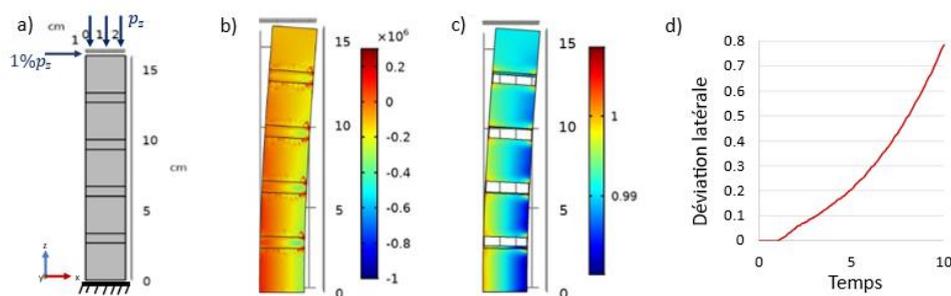


Figure 1: a) Géométrie et forces, b) contrainte axiale de Piola dans la direction verticale [Pa], c) déformation axiale de croissance dans la direction verticale et (d) évolution de la déviation latérale du rachis [cm]

Mots clefs : croissance ; mécanique des milieux continus généralisés ; biomécanique ; scoliose

Références

- [1] Rodriguez, E. K., Hoger, A., McCulloch, A. D. 1994. Stress-dependent finite growth in soft elastic tissues. *J Biomech*, 27(4):455-467
- [2] Germain P. 1973. The Method of Virtual Power in Continuum Mechanics. Part 2: Microstructure. *SIAM J Appl Math*, 25(3):556-575
- [3] DiCarlo A, Quiligotti S. 2002. Growth and balance. *Mech Res Commun*, 29:449-456

Hétérogénéités de déformation dans les polycristaux : caractérisation in-situ par Corrélation d'Images Numériques

J.P. GOULMY^{a,*}, D. DEPRIESTER^a, S. JEGOU^a, L. BARRALLIER^a

a. Arts et Métiers Institute of Technology, MSMP, HESAM Université, F-13617 Aix-en-Provence, France

* Auteur correspondant : jean-patrick.goulmy@ensam.eu

1 Introduction

La compréhension et la modélisation des mécanismes à l'échelle de la microstructure sont d'une grande importance pour pouvoir modéliser le comportement des matériaux à différentes échelles. Dans ce but, la corrélation d'images numériques est une méthode de mesure efficace pour évaluer les déformations plastiques générées par diverses conditions de chargement [1-2]. Cependant, elle nécessite le développement d'une méthodologie précise pour observer les mécanismes à des échelles plus petites que le micromètre. Le choix du speckle, les conditions de mesure et la corrélation des images sont autant de paramètres à prendre en compte pour la réussite des essais. L'objectif de la présentation est d'exposer la démarche mise en œuvre pour analyser les hétérogénéités de déformation à l'échelle du grain dans le but de fournir des données pour les modèles polycristallins [3].

2 Méthode

Le matériau étudié est le cuivre pur. Des essais in-situ sont réalisés à l'aide d'un Microscope Electronique à Balayage. Des images ayant une résolution de 19 nm/px sont acquises à l'aide du mode SE et sont couplées à des analyses EBSD réalisées avant et après essai. L'essai est effectué à l'aide d'une machine d'essai de traction in-situ Kammrath & Weiss 5 kN. La corrélation d'images est réalisée à l'aide du logiciel Ncorr [4]. La déformation de cisaillement effective, γ_{eff} , est utilisée pour quantifier la déformation. Elle est définie comme une variable scalaire dépendant des composantes du tenseur du gradient des déformations [2].

$$\gamma_{eff} = \sqrt{\left(\frac{F_{11}-F_{22}}{2}\right)^2 + \left(\frac{F_{12}+F_{21}}{2}\right)^2} \quad (1)$$

L'influence des paramètres de corrélation des images sur les champs de déformation est notamment étudiée (Figure 1). Ces résultats seront discutés lors de la présentation.

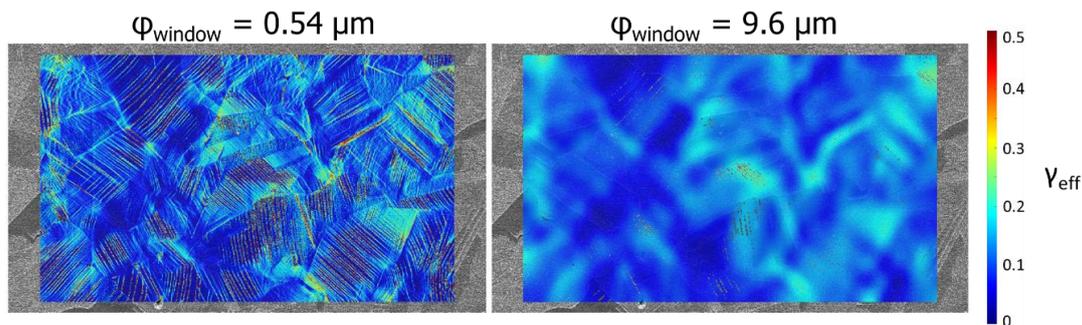


Figure 1: Déformation de cisaillement effective en fonction des paramètres de corrélation des images.

Mots clefs : Corrélation d'images numériques, EBSD, essai in-situ, déformations hétérogènes

Références

- [1] Stinville, J. C., P. G. Callahan, M. A. Charpagne, M. P. Echlin, V. Valle, et T. M. Pollock. Direct Measurements of Slip Irreversibility in a Nickel-Based Superalloy Using High Resolution Digital Image Correlation. *Acta Materialia* 186, pages 172-89, 2020.
- [2] Di Gioacchino, Fabio, et João Quinta da Fonseca. An Experimental Study of the Polycrystalline Plasticity of Austenitic Stainless Steel. *International Journal of Plasticity*, pages 92-109, 2015.
- [3] D. Depriester, J.-P. Goulmy, S. Jegou et L. Barrallier. Hétérogénéités de déformation dans les polycristaux : simulation en plasticité cristalline Congrès des Jeunes Chercheurs en Mécanique (Méca-J), 24 au 27 Août 2021. Présentation orale.
- [4] J Blaber, B Adair, and A Antoniou, "Ncorr: Open-Source 2D Digital Image Correlation Matlab Software." *Experimental Experimental Mechanics*, 2015.

Hétérogénéités de déformation dans les polycristaux : simulation en plasticité cristalline

D. DEPRIESTER^{a,*}, J.-P. GOULMY^a, S. JÉGOU^a, L. BARRALLIER^a

a. Arts et Métiers Institute of Technology, MSMP, HESAM Université, F-13617 Aix-en-Provence, France

* Auteur correspondant : dorian.depriester@ensam.eu

1 Introduction

Le comportement macroscopique des matériaux polycristallins, tels que les métaux ou les céramiques, est fortement lié aux phénomènes se produisant de façon hétérogène à l'échelle des grains (localisation, concentration de contraintes etc.). Afin d'identifier ces phénomènes, la Corrélation d'Image Numérique (CIN) peut être utilisée à l'échelle des grains grâce à des essais de traction in-situ en Microscopie Électronique à Balayage (MEB). De plus, le comportement élasto-plastique local peut être modélisé par la méthode des Éléments Finis (EF) en plasticité cristalline. Cette étude a donc pour but d'analyser par CIN et par EF le comportement élasto-plastique du cuivre.

2 Méthodes

Un essai de traction in-situ en MEB a été réalisé sur un échantillon de cuivre pur, permettant de visualiser l'évolution de microstructure au cours de l'essai. Ces observations ont été faites avec le détecteur d'électrons secondaires (SE2) et la caméra EBSD. Une mesure de champ cinématique a ainsi pu être réalisée par CIN sur les images SE2, tel que détaillé dans [1]. La figure 1 illustre un résultat de CIN.

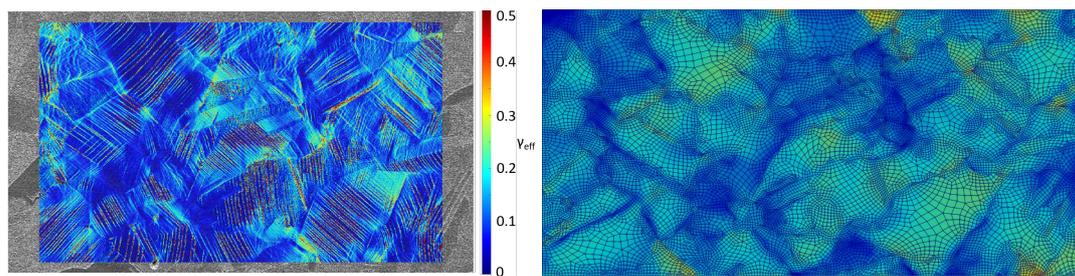


FIGURE 1 – Représentation de la microstructure étudiée : glissement équivalent mesuré en CIN [1] (à g.) et déformation équivalente obtenue par EF (à d.).

Après reconstruction des grains depuis les données EBSD (via MTEX [2]), ceux-ci ont servi à générer des maillages conformes grâce à l'outil MTEX2Gmsh [3]. Ainsi, des simulations EF ont pu être réalisées à l'échelle sous-granulaire avec le code de plasticité cristalline PRISMS-Plasticity [4], tel que représenté en figure 1 ; la loi de comportement utilisée en EF ayant été identifiée grâce à un modèle de Sachs avec écrouissage.

Mots clefs : plasticité cristalline, Élément Finis, Corrélation d'Images Numérique, EBSD, essai in-situ

Références

- [1] J.-P. GOULMY, D. DEPRIESTER, S. JÉGOU et L. BARRALLIER : Hétérogénéités de déformation dans les polycristaux : caractérisation in-situ par corrélation d'images numériques. *Congrès des Jeunes Chercheurs en Mécanique (Méca-J)*, 24 au 27 Août 2021. Présentation orale.
- [2] F. BACHMANN, R. HIELSCHER et H. SCHAELEN : Grain detection from 2d and 3d ebsd data—specification of the mtext algorithm. *Ultramicroscopy*, 111(12):1720–1733, 2011.
- [3] D. DEPRIESTER et R. KUBLER : MTEX2Gmsh : a tool for generating 2D meshes from EBSD data. *Journal of Open Source Software*, 5(52):2094, août 2020.
- [4] M. YAGHOUBI, S. GANESAN, S. SUNDAR, A. LAKSHMANAN, S. RUDRARAJU, J.E. ALLISON et V. SUNDARARAGHAVAN : Prisms-plasticity : An open-source crystal plasticity finite element software. *Computational Materials Science*, 169:109078, 2019.

Caractérisation *in operando* par tomographie aux rayons X de la zone réelle de contact dans les systèmes tribologiques

V. Acito^{a,b}, J. Adrien^b, J. Scheibert^a, C. Le Boulot^b, E. Maire^b, S. Dancette^b et D. Dalmas^a

a. Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes LTDS UMR5513, Univ Lyon, Ecole Centrale de Lyon, ENISE, ENTPE, CNRS, Ecully, France

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

...

1 Introduction

Depuis les travaux de Bowden et Tabor [1], il a été montré que le comportement en frottement entre deux solides est principalement piloté par leur aire de contact réelle A_R , qui est généralement bien plus petite que leur aire apparente de contact A_A . Il reste cependant un certain nombre de limites à la mesure expérimentale *in operando* de cette quantité lors d'un test tribologique qui dépendent de la méthode d'observation utilisée. Sur la base des quelques études récentes [2-3], nous allons chercher à surmonter certaines de ces limitations en essayant de mesurer A_R dans le cas d'un contact entre des solides opaques et rugueux en utilisant la tomographie à rayons X.

2 Résultats

Pour atteindre notre objectif, nous avons commencé par reproduire des expériences de la littérature [4] en remplaçant la méthode optique 2D de mesure d' A_R par de l'imagerie 3D en tomographie X. Grâce à l'utilisation de surfaces modèles (sphère en PDMS en contact avec une plaque de PMMA) et au développement d'un code de segmentation, nous avons pu extraire la surface 3D des deux corps en contact. Après une série d'analyses préliminaires, nous avons montré qu'il est possible de calculer de manière très efficace et précise l'aire de contact réelle et vérifier, dans le cas d'un chargement normal que la relation entre la charge normale et l'aire de contact obéit parfaitement à la loi JKR [5] qui régit le contact entre deux corps adhésifs à faible module d'Young. Ainsi, il va devenir possible d'imager, par cette technique, des interfaces de contact plus complexes telles que, par exemple, le contact entre deux corps en aluminium rugueux pour lequel, à ce jour, il n'existe aucun moyen d'analyser précisément la surface de contact réelle.

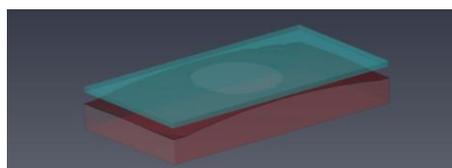


Figure 1. Image 3D par tomographie X après maillage 3D des surfaces d'une sphère en PDMS (rouge) en contact avec une plaque de PMMA (vert) sous chargement normal. La zone de contact réel est clairement visible au centre de l'image.

Mots clefs : Caractérisation *in situ*, Tomographie, Aire de contact, Caractérisation des surfaces.

Références

- [1] Bowden, F. P. *et al.*, "Mechanism of Metallic Friction", *Nature*, **150**, 19, 1942, 198-199;
- [2] Zhang, F. *et al.*, "A discussion on the capability of X-ray computed tomography for contact mechanics investigations", *Tribology International*, **145**, 2020, 106167.;
- [3] F.Zhang, J. Liu, X. Ding, R. Wang, "Experimental and finite element analyses of contact behaviors between non-transparent rough surfaces", *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* **126** (2019) 87–100;
- [4] J. Lengiewicz, M. de Souza, M.A. Lahmar, C. Courbon, D. Dalmas, S. Stupkiewicz, J. Scheibert, "Finite deformations govern the anisotropic shear-induced area reduction of soft elastic contacts", *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* **143** (2020) 104056;
- [5] K. L. Johnson, K. Kendall, and A. D. Roberts. "Surface energy and the contact of elastic solids". *Proceedings of the royal society of London. A. mathematical and physical sciences* **324**.1558 (1971), pp. 301–313.

Couplages chimio-mécaniques dans les solides inélastiques : solutions analytiques et application à l'oxydation

S. PETRENKO^a, E. CHARKALUK^a, H. MAITOURNAM^b

a. LMS, Ecole Polytechnique – IP Paris, svetlana.petrenko@polytechnique.edu,
eric.charkaluk@polytechnique.edu

b. IMSIA, ENSTA Paris - IP Paris, habibou.maitournam@ensta-paris.fr

1 Introduction

Au cours des dernières décennies, une attention particulière en mécanique des solides a été consacrée à l'étude des matériaux, dont la structure change en raison de transformations chimiques, ce qui induit des couplages forts entre la chimie, la mécanique et la physique. Ces réactions chimiques assistées par les contraintes sont observées dans diverses applications industrielles et médicales et dans des technologies modernes telles que les batteries dont les cycles de charge et décharge introduisent des changements de volume et des fissures dans des électrodes, les processus d'oxydation dans des MEMS ou des matériaux composites à matrice métallique, la thermo- ou la photo- oxydation des polymères. Il est donc nécessaire de prendre en compte en détail l'influence de l'état de contrainte et de déformation sur la transformation chimique pour prédire la durée de vie et le comportement des éléments structurels sous des chargements thermomécaniques et chimiques simultanés. De tels procédés peuvent être décrits à l'aide d'un modèle de réaction à deux phases, dans lequel la réaction est localisée sur le front de réaction et le réactif de diffusion est transporté vers le front de réaction à travers le matériau transformé. Le travail présenté s'appuie sur le cadre de la mécanique des milieux continus et sur les couplages chimio-mécaniques appliqués à des géométries particulières et des lois de comportement inélastiques afin d'obtenir des solutions analytiques comparées à des résultats expérimentaux.

2 Couplages chimio-mécaniques dans les solides inélastiques

A l'aide d'une approche thermodynamique basée sur le concept de tenseur d'affinité chimique, une analyse théorique est menée afin de prendre en compte les effets inélastiques (viscosité, plasticité) et la géométrie des éléments structurels (plan, sphère, cylindre) sur la propagation du front de réaction chimique. La vitesse de réaction est définie par la composante normale du tenseur d'affinité chimique, qui est égal à la combinaison de potentiels chimiques. Après avoir défini des conditions d'équilibre, l'influence du comportement inélastique du matériau transformé sur la vitesse de réaction est étudiée dans les détails. Les expressions analytiques de relaxation des contraintes derrière le front de réaction sont développées dans le cas viscoélastique. La solution analytique pour le matériau transformé parfaitement plastique est obtenue et montre que même uniquement en raison de transformations chimiques, sans chargement externe, le matériau peut plastifier. L'effet de la géométrie de la structure sur la propagation de la réaction chimique est étudié pour les problèmes plans, sphériques et cylindriques. Il est également montré comment les propriétés mécaniques du matériau initial et transformé peuvent avoir un impact sur les évolutions des réactions chimiques. Afin de valider cette approche, des expériences d'oxydation à haute température de fils et de billes de nickel pur sont menées. L'objectif de ces expériences est d'étudier la cinétique d'un tel front aux échelles locales et de comparer les résultats obtenus avec des solutions analytiques. De telles comparaisons montrent comment les propriétés rhéologiques des matériaux et de la géométrie du solide considérées sont importantes pour prédire la propagation du front de réaction.

Mots clefs : Chimio-mécanique, Solutions analytiques, Oxydation, Viscoélasticité, Plasticité

Références

- [1] A. Freidin, N. Morozov, S. Petrenko, E. Vilchevskaya. Chemical reactions in spherically symmetric problems of mechanochemistry. Acta Mechanica, 2016
- [2] S. Petrenko, A. Freidin, E. Charkaluk. Chemical reaction fronts with viscoelastic reaction products. CMAT, 2021.

Simulation expérimentale du frottement entre les fils de carbone durant le procédé de tissage 3D

J. Walther^{(a,*), M. Tournalias^{(a), M. Decrette^{(a), S. Krügl^{(a), M-A. Bueno^(a)}}}}

a. Université de Haute Alsace, Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles, F-68200 Mulhouse, France

* Email: julie.walther@uha.fr

1 Introduction

L'usage des renforts textiles 3D et en particulier des tissus 3D interlock, comme renfort de composite dans les domaines aéronautique, automobile voir spatial, est aujourd'hui courant, tant ces matériaux sont reconnus pour leur résistance mécanique, leur stabilité thermique ainsi que leur rapport poids/performance [1]. Les fils de verre, de carbone et de céramique sont les candidats privilégiés selon les conditions d'utilisations des matériaux composites. Cependant le procédé de tissage 3D génère des casses filamentaires de par les frottements fils contre les organes du métier [2, 3], mais également de par le frottement fil-fil [4], à cause notamment d'une densité en fils importante. Les dégradations par croisements des fils de chaîne lors du tissage ont déjà fait l'objet d'études qui ont montré l'importance d'une recherche plus approfondie sur le phénomène [5, 6]. Cette étude a pour objectif de poursuivre les recherches dans le domaine et propose une étude expérimentale sur les frottements entre fils de carbone et de verre sur un tribomètre développé au laboratoire, reproduisant les frottements fil-fil lors du tissage.

2 Méthode

Le banc d'essai est un tribomètre rotatif équipé d'un système de variation de tension sur l'une des deux éprouvettes. Deux éprouvettes - nommées éprouvettes fixe et mobile respectivement - et supportant chacune un fil, sont mises en contact avec une force normale initiale mesurée et fixée. L'éprouvette mobile est ensuite mise en mouvement d'oscillation avec un angle d'ouverture de $\pm 20^\circ$, à une vitesse de 80 °/s et une pause de 0.5 s entre chaque changement de direction. Le dispositif donne la mesure simultanée de la force normale et de la force tangentielle, permettant de déterminer le coefficient de frottement. Enfin, dans l'objectif d'améliorer la compréhension du phénomène de frottement, des prises de vues de l'éprouvette mobile sont réalisées à chaque cycle de frottement. Ces images révèlent l'évolution du nombre de fibres rompues et de la largeur du fil cycle par cycle, tout au long de l'essai.

Les premiers résultats montrent une bonne répétabilité dans les mesures et une réorganisation importante des filaments lors du frottement, dépendante de la torsion et de la tension initiale du fil. L'ajout d'une torsion de 22 tr/m permet de réduire le nombre de filaments rompus et améliore également la stabilité dimensionnelle du fil.

Mots clefs : Tissage 3D ; Frottement ; Tribologie ; Carbone

Références

- [1] A. P. Mouritz, M. K. Bannister, P. J. Falzon, et K. H. Leong, « Review of applications for advanced three-dimensional fibre textile composites », *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 30, n° 12, p. 1445-1461, déc. 1999, doi: 10.1016/S1359-835X(99)00034-2.
- [2] C. Florimond, H. Ramezani-Dana, et E. Vidal-Sallé, « Identification of Fibre Degradation due to Friction during the Weaving Process », *KEM*, vol. 554-557, p. 416-422, juin 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.554-557.416.
- [3] S. Rudov-Clark, A. P. Mouritz, L. Lee, et M. K. Bannister, « Fibre damage in the manufacture of advanced three-dimensional woven composites », *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 34, n° 10, p. 963-970, oct. 2003, doi: 10.1016/S1359-835X(03)00213-6.
- [4] M. Tournalias, M.-A. Bueno, G. Fassi, I. Aktas, et Y. Wielhorski, « Influence of friction angle between carbon single fibres and tows: Experimental analysis and analytical model », *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 124, p. 105478, sept. 2019, doi: 10.1016/j.compositesa.2019.105478.
- [5] M. Decrette, « Tissage Jacquard : étude de paramètres et optimisation du tissage 3D haute densité », Université de Haute-Alsace, Mulhouse, 2014. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.theses.fr/2014MULH7952>
- [6] C. Bessette *et al.*, « In-situ measurement of tension and contact forces for weaving process monitoring: Application to 3D interlock », *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 126, nov. 2019, doi: 10.1016/j.compositesa.2019.105604.

Caractérisation mécanique des fibres de typha australis

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

1 Introduction

L'utilisation de fibres végétales comme renforts dans l'élaboration des biocomposites a pris une place inestimable ces dernières années avec des domaines d'utilisation très variés : l'automobile [1], la mécanique, l'aérospatial, le sport... Les caractéristiques mécaniques des fibres permettent de succéder aux fibres synthétiques. Au Sénégal, une plante invasive du nom de typha australis est de plus en plus sollicitée en tant que matériau biodégradable et ses fibres commencent à faire l'objet de plusieurs études. Sa valorisation d'un point de vue mécanique nous intéresse particulièrement pour découvrir ses potentialités. L'objectif de cette étude est de déterminer les caractéristiques mécaniques des fibres de typha (séparées en 3 zones distinctes) telles que le module d'Young, la limite élastique, la contrainte maximale et l'allongement à la rupture. La détermination délicate de la section de la fibre, ou plutôt du faisceau de fibres, est faite à l'aide d'un tomographe.

2 Résultats de la caractérisation

L'essai de traction s'est fait en utilisant une machine de traction INSTRON 68SC-2 avec une cellule de force 100 N et un protocole bien spécifique. Les courbes de traction obtenues sont données sur la Figure 1. Chaque fibre a été au préalable passée dans un tomographe EasyTom XL pour avoir accès, post-mortem, à la section dans laquelle la rupture s'est produite. Les valeurs mécaniques moyennes obtenues (environ 100 MPa) pour ces fibres brutes confirment leur possible utilisation en tant que renfort composite à l'instar d'autres fibres végétales telles que le lin, le coton et le coco [1, 2]. Le module d'Young à la traction est aux alentours de 5000 MPa avec un allongement à la rupture compris entre 0,3 et 0,5 %.

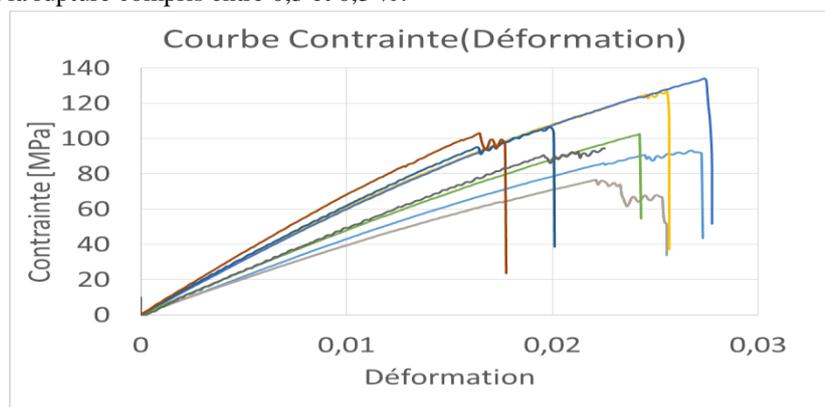


Figure 1 : Courbes de traction d'une série de faisceau de fibres dans la zone centrale du typha

Mots clefs : typha australis, fibres végétales, caractérisation mécanique

Références

- [1] Chokshi, S., Gohil, P., Lalakiya, A., Patel, P., & Parmar, A. (2020). Tensile strength prediction of natural fiber and natural fiber yarn: Strain rate variation upshot. *Materials Today: Proceedings*, 27, 1218–1223. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.142>
- [2] Seki, Y., Sarikanat, M., Sever, K., & Durmuşkahya, C. (2013). Extraction and properties of *Ferula communis* (chakshir) fibers as novel reinforcement for composites materials. *Composites Part B: Engineering*, 44(1), 517–523. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.03.013>

Tenseur d'élasticité et surface limite de linéarité d'un matériau architecturé 2D triangulaires

V. JEANNEAU^a, C. COMBESURE^{b,c}, M. FRANCOIS^a

a. Laboratoire GeM (UMR 6183), Université de Nantes, 2, rue de la Houssinière, 44322 Nantes Cedex 3, France
(valentin.jeanneau@etu.univ-nantes.fr / Marc.Francois@univ-nantes.fr)

b. Institut de Recherche Dupuy-de-Lôme, UMR CNRS 6027, IRDL, 56100 Lorient, France
(christelle.combescure@univ-ubs.fr)

c. Centre de Recherche des Ecoles de Saint-Cyr Coëtquidan, 56381 Guer Cedex, France

1 Résumé

Les milieux architecturés sont des matériaux dont la structure est un ensemble de barres et de poutres. Ils présentent un bon rapport poids / résistance [1] et leur utilisation s'accélère depuis quelques années grâce au développement des technologies de fabrication additive. Malgré leur potentiel important, certains verrous freinent l'usage de ces matériaux à l'échelle industrielle, notamment l'optimisation des treillis constitutifs. Afin de rendre cette optimisation peu onéreuse en temps de calcul, elle sera effectuée directement sur les invariants du tenseur d'élasticité du matériau homogénéisé. Mon travail est de fournir ce tenseur d'élasticité de manière analytique ainsi que d'établir les critères limites de sortie de linéarité du matériau. L'étude est réalisée sur des matériaux architecturés périodiques à cellules triangulaires. Cette géométrie permet de générer tous les pavages réguliers possibles du plan, en considérant au besoin certaines raideurs de poutres comme étant nulles. Du fait de cette périodicité, le problème peut se réduire à l'étude d'une cellule unitaire \mathcal{C} (Figure 1) représentative du milieu à l'échelle mésoscopique. Grâce à la méthode des déplacements [2] et à l'homogénéisation périodique [3], les composantes du tenseur d'élasticité macroscopique \mathbb{C} sont trouvées analytiquement et confirment les résultats de [4].

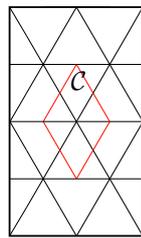


FIGURE 1 – Lattice 2D à cellules triangulaires et sa cellule unitaire \mathcal{C}

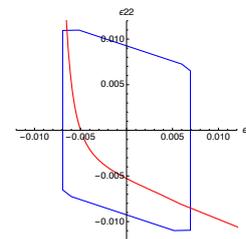


FIGURE 2 – Comparaison des deux critères limites de sortie de linéarité. — Surface limite de non linéarité matérielle. — Instabilités mésoscopiques

Deux critères limites de sortie de linéarité du matériau sont établis : un premier critère matériau de sortie de zone de linéarité du matériau constitutif, obtenu en détectant la limite d'élasticité d'une poutre pour toutes déformations homogènes imposées. Le second est un critère d'instabilités à l'échelle mésoscopique qui utilise les ondes de Bloch [2, 5] pour détecter les modes de flambement du milieu architecturé (Figure 2).

Mots clefs : Matériaux architecturés, Homogénéisation périodique, Instabilités

Références

- [1] L.J. Gibson, M.F. Ashby, Cellular Solids : Structure and Properties, Cambridge University Press., 1999.
- [2] G. Bordiga, L. Cabras, A. Piccolroaz, D. Bigoni, Dynamics of prestressed elastic lattices : Homogenization, instabilities, and strain localization, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 146 (2021).
- [3] M. Bornert, T. Bretheau, P. Gilormini, Homogénéisation en mécanique des matériaux, Tome 1 : Matériaux aléatoires élastiques et milieux périodiques, Hermes science, 2001.
- [4] M.L.M. Francois, L. Chen, M. Coret, Elasticity and symmetry of triangular lattice materials, International Journal of Solids and Structures, 129 (2017) 18-27.
- [5] N. Triantafyllidis, M.W. Schraad, Onset of failure in aluminum honeycombs under general in-plane loading. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 46.6 (1998) 1089-1124, 1992.

Effect of waste rubber addition on the properties of PA12/C30B blends

Friday Nwankwo Archibong^{1*}, Pascal Médéric², Michel Gratton¹,
Nourredine Aït Hocine¹

a. INSA CVL, Univ. Tours, Univ. Orléans, LaMé, 3 rue de la Chocolaterie, CS 23410, 41034 Blois, Cedex, France + friday.archibong@insa-cvl.fr; nourredine.aithocine@insa-cvl.fr

b. Univ. de Bretagne Occidentale, IRDL, CNRS-UMR 6027, 6 avenue Victor Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest Cedex 3, France + pascal.mederic@univ-brest.fr

Abstract

Recycling waste rubber today is a serious topic and should be regarded as a good resource. For this reason, this work is based on providing eco-friendly solutions aimed at reducing the amount of waste rubber in our environment for public health/industrial benefits. The study simply deals with mixing of non-polar ethylene propylene diene monomer (EPDM) into polyamide-12 and organically modified montmorillonite (OMMT). Organoclay montmorillonite is used as third constituent to serve as a compatibilizer for rubber dispersion as reported in [1]. To overcome the demerits arising from inclusion of elastomer particles only, some research works have been done on polymer/elastomer/filler ternary networks, where both rigid fillers and rubber were used to improve the properties of the host polymer matrix [2][3][4]. These ternary nanocomposites are prepared by melt compounding using an internal mixer (Haake Rheomix 600). The effects of EPDM amount on the rheological, thermal stability and mechanical properties of the nanocomposites were investigated. The rheological result shows that complex viscosity increases with increasing mass fraction of EPDM. Notably from the rheological properties, EPDM entities slightly weakens the percolation network of PA12/3%OMMT nanocomposite. The thermal results showed that crystallinity (X_c) decreases significantly with an increase in EPDM concentration. The addition of EPDM into nanocomposite showed a drop in both linear and non-linear mechanical properties except the ternary composite with 10 % mass fraction of EPDM which showed higher Young's modulus value only. The ternary material from 5 to 20 % mass fraction of EPDM has the advantage to recycle waste rubber while exhibiting mechanical properties close to those of corresponding PA12/OMMT nanocomposite.

Keywords: nanocomposite, thermoplastic, waste rubber, nanoclay, recycling.

References

- [1] Z. Benneghmouche and D. Benachour, "Effect of organophilic clay addition on properties of SAN/EPDM blends," *Compos. Interfaces*, vol. 26, no. 8, pp. 711–727, 2019, doi: 10.1080/09276440.2018.1531655.
- [2] J. Jeddi, O. Yousefzade, A. Babaei, S. Ghanbar, and A. Rostami, "Morphology, microstructure and rheological properties of SAN (styrene-acrylonitrile)/EPDM (ethylene-propylene-diene monomer) nanocomposites: Investigating the role of organoclay type and order of mixing," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 187, pp. 191–202, 2017, doi: 10.1016/j.matchemphys.2016.12.001.
- [3] M. R. A. and M. M. M. S Hajibabazadeh, "Stiffness-toughness balance in PP/EPDM/ SiO₂ ternary blend-nanocomposites: The role of microstructural evolution," *J. Compos. Mater.*, pp. 1–11, 2020, doi: 10.1177/0021998320948125.
- [4] K. Wang *et al.*, "Effects of clay on phase morphology and mechanical properties in polyamide 6/EPDM-g-MA/organoclay ternary nanocomposites," *Polymer (Guildf)*, vol. 48, no. 7, pp. 2144–2154, 2007, doi: 10.1016/j.polymer.2007.01.070.

Fatigue des polycristaux : Vers une analyse probabiliste incluant des descripteurs statistiques des microstructures

Insaf Echerradi^a, Daniel Weisz-Patrault^b, Michael Peigney^c

a. Laboratoire Navier, CNRS, École Ponts ParisTech + insaf.echerradi@enpc.fr

b. LMS, CNRS, École Polytechnique, Institut Polytechnique de Paris + daniel.weisz-patrault@polytechnique.edu

c. Laboratoire Navier, CNRS, École Ponts ParisTech + michael.peigney@enpc.fr

1 Introduction

La durée de vie des structures étant essentielle doit être correctement prédite. Cependant, les phénomènes de fatigue dans les polycristaux sont probabilistes : pour un même chargement cyclique, deux éprouvettes macroscopiquement identiques ont en général des durées de vie différentes. Ceci provient de la variabilité des microstructures. L'approche traditionnelle consiste à établir expérimentalement des courbes S-N, qui relie le nombre de cycles à rupture et l'amplitude du chargement cyclique. On considère en général [1] que la prédiction sécuritaire de la durée de vie pour un niveau de chargement donné se situe à la moyenne du nombre de cycles à rupture moins deux fois l'écart-type. Non seulement cette approche est extrêmement lourde en termes d'efforts expérimentaux, mais elle est aussi insuffisante du point de vue de l'analyse des risques. L'ambition principale du projet est alors de développer une approche entièrement probabiliste, qui permette de quantifier les densités de probabilité de rupture en fonction de la microstructure ainsi que l'histoire du chargement. Le premier pas vers la réalisation de cette approche est de construire tout d'abord un modèle de polycristal avec rupture, suffisamment rapide en temps de calcul pour permettre ce genre d'analyse. Ce modèle mésoscopique est basé sur la résolution du problème d'inclusion d'Eshelby [2] ainsi que sur des calculs énergétiques en plasticité cristalline dans des tessellations orientées générées par le logiciel NEPER et traitées sur SCILAB [3]. Plusieurs hypothèses ont été mises en place afin de simplifier le modèle. Pour valider ce dernier on compare les résultats obtenus à ceux issus d'un modèle éléments finis (modèle de plasticité polycristalline sur Freefem). L'erreur entre les deux modèles est tracée en fonction des paramètres microstructuraux et analysée. Des applications pour des tessellations à orientations aléatoires sont présentées avec un nombre de grain représentatif (500 grains). Dans un volume élémentaire représentatif donné et pour un chargement connu, on arrive ainsi à prédire les grains critiques et la durée de vie (nombre de cycles à rupture) avec une erreur acceptable. Les prochaines étapes envisagées pour l'approche probabiliste seront de d'abord appliquer le modèle pour différentes textures morphologiques et cristallographiques, respectant les bornes limites trouvées, pour non seulement établir une courbe de Wöhler statistique mais pour construire également une base de données et puis, à l'aide d'une identification Bayésienne, de développer un modèle de probabilité de survie.

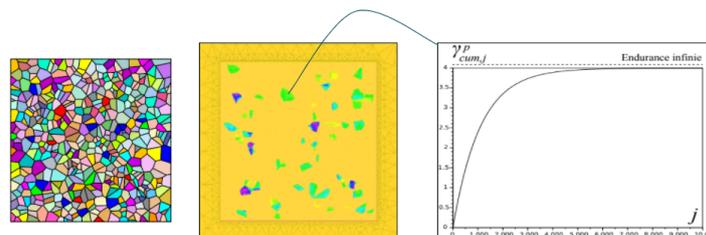


FIGURE 1 – Résultats du modèle mésoscopique : tessellation orientée (gauche), calcul des glissements plastiques (milieu), évolution du glissement plastique cumulé dans un grain critique (droite).

Mots clefs : Fatigue à haut cycle, Modèle mésoscopique, Plasticité cristalline, Principe énergétique, inclusion d'Eshelby

Références

- [1] Eurocode 3 : design of steel structures : part 1-5 : plated structural elements, BSI, London, 2010.
- [2] T. Mura, Micromechanics of Defects in Solids (Kluwer Academic, Dordrecht, 1987) second edition 324 Dordrecht : Martinus Nijhoff.
- [3] S. Sakout, D. Weisz-Patrault, A. Ehrlicher, Energetic upscaling strategy for grain growth. 2020.

Natural Densification of Moon Regolith Simulant EAC-1A

Y. AKISHEVA^a, Y. GOURINAT^b, J.-E. CHAMBE^c

a. Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace (ISAE-SUPAERO), 10 av. Edouard Belin, 31055

Toulouse, yulia.akisheva@isae-supaero.fr

b. ISAE-SUPAERO, yves.gourinat@isae-supaero.fr

c. ISAE-SUPAERO, jean-emmanuel.chambe@isae-supaero.fr

1 Abstract

The space sector is looking to return to the Moon for a permanent human presence and lunar exploration (Smith, et al. 2020). This goal demands investment into the in-situ resource utilisation (ISRU) technology. It is cheaper and more sustainable to use local resources for supporting life on the Moon than to bring all the building materials from the Earth (Benaroya et Bernold 2008). The main such material on the Moon is regolith. It is abundant on the surface and can be manipulated relatively easily. In fact, to be able to use regolith in habitat construction, the global scientific community needs to further develop the technological capacity and the know-how of regolith utilisation and properties (Colwell, Batiste, Horanyi, Robertson, & Sture, 2007). The main influencing factors of powdery materials such as regolith are grain shape and size, their distributions and angularity. They will affect the static, sliding, rolling and electrostatic friction between particles and thus the flow and behaviour of the material (Jaumann, et al. 2012; McKay, et al. 1991). One important property to study is the densification of the loose granular soil in the lunar environment. The average bulk density of the top surface layers of the lunar crust have been investigated substantially, both through sample return from Apollo missions (Colwell, Batiste, Horanyi, Robertson, & Sture, 2007; McKay, et al. 1991) and satellite observations. This work aims to determine the density profile of a naturally piled up regolith simulant of the European Space Agency, EAC-1A (Engelschion, et al., 2020). For this, an experiment is proposed through which the profile may be obtained and studied through microscopy. The considerations, hypothesis and drawbacks of the experimental setup will be discussed.

Knowing the density profile that regolith adopts when simply poured into a pile has important potential applications for sustaining the human presence on the surface. Astronaut habitats may rely or be enhanced by the use of regolith for structural, thermal and radiation protection. Feasibility of this concept is largely augmented when the manipulation is as straightforward as piling up natural regolith, without the addition of adhesives or significant power inputs. For radiation protection, the nature and amount of material present in the way of incoming particles is the key to diminish ionising radiation doses. Areal density of shielding is the baseline unit upon which calculations are built. Therefore, studying the natural piling up of regolith and its density profile has direct utility in proposing sustainable and feasible options for habitat construction and radiation protection.

Keywords: Moon regolith; habitat construction; densification; radiation protection.

Acknowledgements

The authors would like to express gratitude to the experts of the European Space Agency Dr. Aidan Cowley and Dr. Advenit Makaya for their support of this research.

References

- Benaroya, H., & Bernold, L. (2008). Engineering of lunar bases. *Acta Astronautica*, 62, 277-299.
- Colwell, J., Batiste, S., Horanyi, M., Robertson, S., & Sture, S. (2007). Lunar surface: dust dynamics and regolith mechanics. *Reviews of Geophysics*(45), 1-26.
- Engelschion, V. S., Eriksson, S. R., Cowley, A., Fateri, M., Meurisse, A., Kueppers, U., et al. (2020). EAC-1A: A novel large-volume lunar regolith simulant. *Scientific Reports*, 10:5473.
- Jaumann, R., Hiesinger, H., Anand, M., Crawford, I., Wagner, R., Sohl, F., et al. (2012). Geology, geochemistry, and geophysics of the Moon: Status of current understanding. *Planetary and Space Science*, 74, 15-41.
- McKay, D., Heiken, G., Basu, A., Blanford, G., Simon, S., Reedy, R., et al. (1991). The Lunar Regolith. In *Lunar Sourcebook* (pp. 285-356). Cambridge: Cambridge University Press.
- Smith, M., Craig, D., Herrmann, N., Mahoney, E., Krezel, J., McIntyre, N., et al. (2020). The Artemis program: an overview of NASA's activities to return humans to the Moon. *IEEE Aerospace Conference*. Big Sky, MT.

Modélisation micromécanique à variables internes du comportement viscoélastique linéaire des matériaux hétérogènes

L.M. TORRES COSTA, F. DINZART, H. SABAR

Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux, 7 rue Félix Savart, 57070 Metz, France, luan-mayk.torres-costa@univ-lorraine.fr

Résumé

Ce travail propose une nouvelle approche micromécanique pour prédire le comportement viscoélastique linéaire de matériaux hétérogènes. Nous proposons une méthode à variables internes pour résoudre le problème d'une inclusion dans une matrice infinie dans l'espace-temps. Le comportement des inclusions et de la matrice est du type viscoélastique linéaire défini par une fonctionnelle suivant une forme intégrale de Volterra. La méthode micromécanique est basée sur la formulation d'une équation intégrale utilisant les techniques des fonctions de Green. La solution du problème d'une inclusion ellipsoïdale dans une matrice infinie est obtenue. Les expressions de la localisation sont analytiques et exactes et font intervenir des champs de variables internes décrivant l'histoire du matériau. La méthode est validée dans l'espace de Laplace-Carson dans le cas d'une fonctionnelle exponentielle. Nous obtenons des modules de relaxation effectifs d'un composite soumis à un champ de déformation constant. Les résultats concernent le cas général de la forme ellipsoïdale et du comportement anisotrope des inclusions. Les schémas d'homogénéisation sont le dilué et le Mori-Tanaka. Les résultats sont proposés pour une matrice décrite par un modèle de Burgers contenant des inclusions élastiques. Une étude paramétrique est menée pour analyser l'effet de la fraction volumique et le rapport de forme des inclusions ainsi que le contraste de propriétés viscoélastiques des phases.

Mots clefs : composites, inclusion d'Eshelby, viscoélasticité linéaire, intégrale de Volterra, homogénéisation.

Equilibre d'une goutte métallique liquide déposée sur un support quelconque dans le cadre de la fabrication additive arc-fil métallique

Chetra MANG^a, François ROUCHON^{a,b}, Xavier LORANG^a

a. Institut de Recherche Technologique SystemX

chetra.mang@irt-systemx.fr, francois.rouchon@irt-systemx.fr, xavier.lorang@irt-systemx.fr

b. Université Paris-Saclay, ENS Paris-Saclay, LURPA, 91190 Gif-sur-Yvette, France

Résumé

Une goutte liquide peut adhérer sur une surface inclinée non-plane lorsque les angles de contacts avant et arrière de la goutte sont différents (angle de contact hystérétiques) [2, 3]. L'adhésion de cette goutte est liée aux forces capillaires qui s'équilibrent avec la pression hydrostatique de la goutte [4]. Guéré [3] a proposé une formulation analytique du critère d'équilibre d'une goutte d'eau sur un plan incliné (hypothèse de goutte sphérique).

Cette communication présente l'extension du travail de Guéré [3] pour l'équilibre de la goutte liquide sur un support quelconque. Ce travail réalisé dans le cadre du projet WAS [1] est motivé par le procédé de fabrication additive WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing). Ce procédé se base sur le procédé de soudage automatisé, où une pièce est construite par dépôt de cordons successifs. Un cordon est généré par dépôt de gouttes métalliques issu de fil fondu.

Nous proposons un modèle géométrique de cordon déposé. Le profil du cordon est obtenu grâce à la résolution de l'équation de Young-Laplace sous l'hypothèse de rayon de courbure sphérique. Dans le cadre de cette hypothèse [3], la méthode des volumes finis est utilisée pour l'évaluation numérique du critère d'équilibre d'une goutte sur un support 3D quelconque. Le critère d'équilibre est ensuite validé par l'expression analytique de Guéré [3] dans le cas du support plan incliné. Enfin, en utilisant le critère d'équilibre de la goutte sphérique, nous évaluons le critère de humping [5] en déterminant une taille limite de goutte, garantissant un cordon rectiligne sans défauts géométriques.

Mots clefs : tension superficielle, angle de contact hystérésis, phénomène de humping, équation de Young-Laplace.

Remerciement

Les auteurs remercient les partenaires industriels du consortium AFH ainsi que le CETIM pour leur soutien dans la réalisation du projet WAS. Ce projet a bénéficié d'une aide de l'état au titre du programme d'investissements d'avenir dans le cadre de l'institut de recherche technologique SystemX.

Références

- [1] <https://www.irt-systemx.fr/projets/was/>
- [2] Bikerman, J.J. Sliding of drops from surfaces of different roughnesses, *Journal of Colloid Science*, 5(1950)349–359.
- [3] Guéré, D., Azzopardi, M. J., Delattre, L. Drops at Rest on a Tilted Plane, *Langmuir* 14(1998)2213–2216.
- [4] Nosonovsky, M. and Ramachandran, R., Geometric Interpretation of Surface Tension Equilibrium in Superhydrophobic Systems, *Entropy* 17(2015)4684–4700.
- [5] Gratzke, U., Kapadia, P.D., Dowden, J., Kroos, J., and Simon, G. Theoretical approach to the humping phenomenon in welding processes *Journal of Physics D : Applied Physics* 25(1992)1640–1647.

Modélisation du gonflement par reprise d'eau des enrobés bitumineux

Y.Chen^{ab}, J.B. Champenois^c, P.Dangla^a, S.Granet^b, G.Melot^b

a. Navier, Ecole des Ponts, Univ Gustave Eiffel, CNRS, Marne la Vallée, France

6 - 8 avenue Blaise Pascal F-77455 Marne la Vallée

b. EDF R&D Saclay, France

c. CEA, DES, ISEC, DE2D, Univ Montpellier, Marcoule, France

La gestion des déchets radioactifs est une problématique importante pour la filière nucléaire. Parmi les déchets de Moyenne Activité à vie longue (MA-VL), les boues issues du traitement chimique d'effluents radioactifs sont séchées puis enrobées dans une matrice bitumineuse réputée stable et dont les propriétés permettent le confinement des radionucléides. La solution de référence pour la gestion de ces déchets est le stockage géologique au centre de stockage souterrain Cigéo (Centre Industriel de stockage Géologique). Dans ce cadre, après une période de l'ordre de la centaine de milliers d'années, l'eau provenant de la roche hôte va complètement resaturer l'alvéole de stockage contenant ces colis. L'eau au contact de l'enrobé bitumineux va conduire à la dissolution des sels solubles contenus dans l'enrobé et provoquer son gonflement par un phénomène osmotique rendu possible par les capacités semi-perméables de la matrice bitumineuse. La porosité des enrobés augmente par l'action combinée de la dissolution des sels solubles et du gonflement. Cette augmentation de la porosité conduit à l'évolution des propriétés matériaux (mécaniques, diffusion, perméabilité, etc...).

L'objectif de ce travail est de mieux comprendre les mécanismes de reprise d'eau par un enrobé bitumineux en modélisant des essais de lixiviation effectués au CEA sur des échantillons simplifiés (matrice bitumineuse contenant un seul sel). Le modèle utilisé est le prolongement de celui développé dans la thèse de G. Mélot [1]. Les mécanismes de transport pris en compte sont la diffusion fickienne, le transport darcéen, l'osmose et la dissolution/précipitation des sels. Ces mécanismes sont couplés avec la mécanique (modèle visco-élastique de Maxwell). Le modèle actuel ne traite que d'un sel soluble, les sels peu solubles sont traités comme une partie de la matrice bitumineuse supposée incompressible. Des méthodes d'homogénéisation sont utilisées pour traiter l'évolution des paramètres matériaux en fonction de la porosité. Ainsi les paramètres mécaniques (viscoélastiques) évoluent selon la loi d'homogénéisation de Mori-Tanaka. Pour la diffusion et la perméabilité, une comparaison des schémas classiques de la littérature a été réalisée. Etant donné le manque de résultats dans la littérature pour l'osmose, la loi d'évolution de l'efficacité osmotique sera recalée sur les résultats expérimentaux.

Le modèle a été recalé sur des essais de lixiviation en milieu libre réalisés sur des enrobés monosel 20wt% NaNO₃. En tenant compte des incertitudes de mesure, le modèle permet de bien reproduire les résultats expérimentaux (Figure 1). Le recalage a ensuite été validé sur des essais de lixiviation réalisés sur d'autres compositions d'enrobés bitumineux. Les perspectives de ce travail sont la prise en compte de l'impact des sels peu solubles ainsi que la modélisation d'essais expérimentaux de lixiviation en milieu confiné.

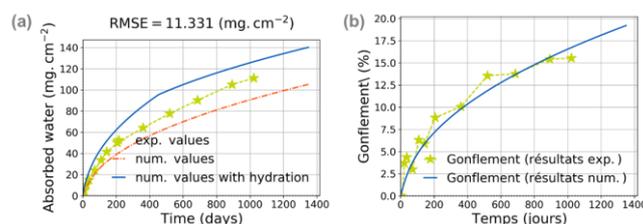


Figure 1 Comparaison des résultats expérimentaux et numériques sur (a) Reprise en eau ; (b) Gonflement.

Mots clefs : déchets radioactifs, enrobé bitumineux, modélisation chimico-hydro-mécanique, lois d'homogénéisation

Références

[1] G. MELOT, Modélisation poromécanique du gonflement d'enrobés bitumineux par reprise d'eau, 2019

Effet des UVs et de la température sur le polycarbonate

S. REDJALA^a, S. AZEM^a, N. AIT HOCINE^b

- a. Département de génie mécanique, l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie ; radjalasonya@gmail.com, azemsaid@yahoo.fr
b. LaMé, INSA Centre Val de Loire, 3 rue de la Chocolaterie, BP 3410, 41034 Blois, France ; nourredine.aithocine@insa-cvl.fr

1 Introduction

Récemment, les matériaux inorganiques classiques très chers pour les composants optiques comme les verres et les semi-conducteurs ont été progressivement remplacés par les matériaux polymériques qui sont rentables avec une facilité de mise en œuvre [1]. En effet, les polymères semblent intéressants en raison de leurs propriétés spécifiques comme l'inertie chimique, le faible poids moléculaire et la facilité de mise en œuvre, etc. [2]. Le polycarbonate (PC) est généralement classé comme un polymère amorphe thermoplastique. Cependant, il peut avoir une nano-cristallinité en raison d'un mode de refroidissement spécifique. Ses diverses propriétés importantes font de lui l'un des polymères techniques très demandé sur le marché. Il est connu pour son excellente transparence dans le visible, ses propriétés mécaniques à savoir sa résistance aux chocs ainsi que sa grande rigidité [3]. En outre, il jouit également d'une bonne stabilité en température. Le PC est utilisé dans différents domaines comme le vitrage, les serres, les phares, les écrans de protection, casques, etc. L'objectif de notre travail est de mettre en exergue l'effet des UVs combinés à la température de 80°C sur les propriétés d'un polycarbonate commercialisé. Il consiste à faire vieillir ce matériau pendant de différentes durées, et de révéler les changements physico-chimiques et mécaniques causés par le vieillissement.

2 Vieillissement

Les échantillons du polycarbonate ont été vieillis dans une enceinte chauffante équipée de lampes UV produisant un rayonnement de 253nm de longueur d'onde et d'énergie de 4,3eV. A l'intérieur de l'enceinte, une résistance électrique permet de chauffer les échantillons à une température contrôlée. Les échantillons sont placés sur une grille métallique permettant une homogénéisation rapide de la température. L'isolation thermique est assurée par une couche de laine d'alumine placée sur les parois et le plancher de l'enceinte. Les lampes, installées sous la voute, permettent une exposition directe de la face supérieure au rayonnement ultraviolet.

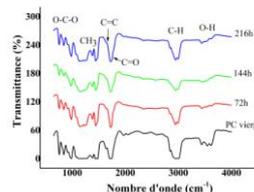


Figure : Spectres IRTF PC vieilli sous UV combiné 80°C en fonction des durées du vieillissement

Mots clés: PC, Radiation UV, vieillissement, IRTF, DRX, HV

Références

- [1] S. Eve, J. Mohr, Study of the surface modification of the PMMA by UV-radiation, *Procedia Engineering*, 1 (2009) 237–240
[2] J. Jagielski, A. Turos, D. Bielinski, M. Abdul-Kader, A. Piatkowska, Ion-beam modified polymers for biomedical applications, *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms* 261(2007) 690–693
[3] S. Collin, Etude du vieillissement des disques optiques numériques : recherche de corrélations entre évolution des constituants et perte de l'information, thèse (2013).

Analysis of data from in-situ monitoring of the LPBF additive manufacturing process

Robin Kromer (1), Elise Gruhier (2), Corinne Arvieu (1), Eric Lacoste(1)

(1) Univ. Bordeaux, I2M, UMR 5295, Bordeaux, France

(2) Arts et métiers ParisTech, I2M, UMR 5295, Bordeaux France

Abstract

The material health of parts developed by the Laser powder bed fusion additive manufacturing process (LPBF process) is directly related to laser-matter interactions resulting from the powder bed layer, parameters and previous layers. It varies mainly according to the choice of many operating parameters (laser parameters, laser beam displacement strategy and gas environment to name a few) and material. In-situ measurements when the powder bed is fused are now possible via optical sensors [1]. They generate data associated with the fusion bath. An instrumented bench reproducing the experimental conditions of the LPBF process has been developed for this purpose. Temperature, photons or weld bed can be observed in real time and place with a spatio-temporal resolution. Different approaches are possible such as analyzing the laser fusion mechanisms of powder bed and associating them with the parameters of the machine. Mean, Fourier transform and derivative analysis were conducted with Kriging algorithms. It was suggested that a more macroscopic approach could be applied to associate data with object-wide analyses. The learning phase by "Artificial Intelligence" algorithms could be directly between Design and Manufacturing phases [2]. Transfer functions is developed using some of the information using these methods to predict areas of poor matter health based on meta-models in this study. This development is dedicated to obtain a surface diagnostic and a complete build with health matter diagnostic. The objective is to develop threshold definition above compliance threshold. A result was used to illustrate (Figure 1). If specific threshold is made, highlightment is provided on the geometric representation. It will be interesting to do diagnostic deviation with their localization and the defect approximate size.

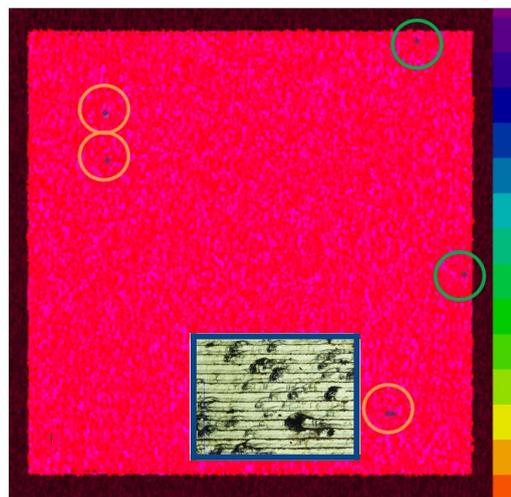


Figure 1: Example of signal 2d reconstruction and bullet link to deviation localization

[1] Marco Grasso and Bianca Maria Colosimo. Process defects and in situ monitoring methods in metal powder bed fusion: a review. *Measurement Science and Technology*, 28(4), 2019

[2] Luke Scime and Jack Beuth, Using Machine Learning to identify In-Situ Melt Pool Signatures Indicative of Flaw Formation in a Laser Powder Bed Fusion Additive Manufacturing Process, *Additive Manufacturing*, 25, 2018

Mots clefs : Additive Manufacturing, Laser, In-situ, Data, Kriging, Ranking

Conception et réalisation de métasurfaces à loi de frottement pilotée

Antoine Aymard^a, Emilie Delplanque^a, Davy Dalmas^a et Julien Scheibert^a

a. Univ Lyon, Ecole Centrale de Lyon, ENISE, ENTPE, CNRS, LTDS, UMR 5513, F-69134, Ecully, France. Contact : antoine.aymard@ec-lyon.fr

1 Introduction

Le frottement sec d'interfaces rugueuses est au cœur du fonctionnement de nombreux outils, des préhenseurs de bras robotisés à certains microsystèmes électromécaniques (MEMS). Une maîtrise de ce frottement serait ainsi très bénéfique mais modéliser le frottement de surfaces rugueuses aléatoire est très complexe [1] et concevoir des surfaces à loi de frottement non conventionnelle et prédéfinie reste inaccessible. Nous surmontons ici cette limitation en introduisant une nouvelle stratégie de conception de surfaces rugueuses simplifiées.

2 Méthodes

Notre stratégie se base sur une simplification de l'interface étudiée, de sorte que la rugosité soit contenue sur une seule des deux surfaces, sous la forme d'aspérités sphériques (Fig.1a). L'interface est alors créée par la mise en contact de ces aspérités avec une contre-surface lisse et rigide. Les microcontacts ainsi formés possèdent des propriétés tribologiques bien connues, déterminées par une calibration préliminaire similaire à celle réalisée par Sahli et al [2]. Dans ces conditions, concevoir une interface pour reproduire une loi de frottement définie à l'avance consiste à déterminer le rayon de courbure et l'altitude de chacune des microaspérités qui, collectivement, pilotent le comportement macroscopique de l'interface. La définition de la géométrie de ces aspérités repose sur une étape d'inversion dépendante de l'allure globale de la loi de frottement souhaitée.

Les propriétés de l'interface formée entre la surface rugueuse conçue de cette manière et une lame de verre sont mesurées à l'aide d'un tribomètre développé au laboratoire. Ce dernier fournit, en plus d'une mesure des forces et déplacements macroscopiques, des images in situ de l'interface, ce qui permet de suivre l'évolution de la zone réelle de contact au cours des expériences.

Pour démontrer le potentiel d'une telle stratégie, 5 surfaces qui présentent des lois de frottements d'allures diverses et non linéaires ont été réalisées (Fig.1b) et caractérisées. On montrera au cours de la présentation que les lois de frottement désirées et mesurées sont comparable quantitativement.

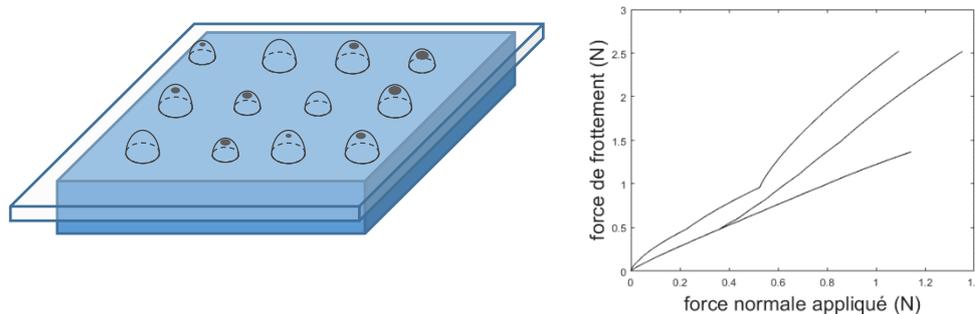


Figure 1 a : exemple de surface rugueuse simplifiée. **b** : exemples de lois de frottement prédéfinies accessibles via la stratégie décrite ici.

Mots clefs : Métamatériaux, modèles d'aspérités, interfaces rugueuses

Références (10 gras)

[1] Vakis, A.I. et al., "Modeling and Simulation in Tribology Across Scales: an Overview," Tribol. Int., 92, 2018, 169-199.

[2] Sahli, R. et al., "Evolution of real contact area under shear and the value of static friction of soft materials," PNAS, 115, 2018, 471-476.

De la structure et de la composition des membranes biologique à leur modélisation mécanique

Djibaoui Mohammed Adel^a, R. Bouzerar^a, M. Guedda^b

a : Laboratoire de physique de la matière condensée LPMC, EA 2081 - UFR Sciences, Université de Picardie Jules Verne, Amiens, France. djibaoui.med.adel@gmail.com · robert.bouzerar@u-picardie.fr

b : Laboratoire Amiénois de Mathématiques Fondamentales et Appliquées (LAMFA) – UMR CNRS – UFR Sciences – France. mohamed.guedda@u-picardie.fr

Introduction

Omniprésentes dans le monde vivant, les membranes cellulaires sont du fait de leurs organisations, structures et fonctions multiples, le siège de phénomènes biologiques complexes[1] exploitant harmonieusement les couplages naturels entre divers processus physiques et chimiques. Visant une description réaliste des propriétés mécaniques de la membrane et éventuellement prévoir les comportements pathologiques de la cellule, une multitude de modèles, reposant le plus souvent sur la fonctionnelle de Helfrich[2-3], ont été élaborés dans le but de mieux appréhender cette complexité organisationnelle et fonctionnelle.

Notre étude propose un modèle de la dynamique des déformations cellulaires [4-5] prenant en compte la géométrie exacte de la membrane et réalisant une extension simple de la fonctionnelle de Helfrich. Prenant appui sur la géométrie différentielle des surfaces de l'espace usuel et le formalisme lagrangien de la théorie classique des champs, cette extension prend en compte l'influence des objets transmembranaires ou autres grosses molécules baignant dans la membrane et perturbant localement la géométrie de celle-ci.

Après avoir présenté le cheminement suivi dans la construction de cette extension, nous en discutons deux conséquences fondamentales : la prédiction d'ondes de courbure (non linéaires) pilotées par les déformations normales de la membrane et leur relation avec les molécules transmembranaires agissant comme des sources 'chargées' de ces excitations. Le rôle des fluctuations thermiques [6] de position des objets transmembranaires dans la génération de ces charges effectives est discuté ainsi que l'interaction effective entre objets transmembranaires qui en résulte et son rôle potentiel dans l'organisation de ces objets au sein de la membrane [5].

Les perspectives ouvertes par ces premières études sont également présentées avec une insistance particulière sur les couplages entre la courbure locale de la membrane et l'activité des protéines transmembranaires. Les réorganisations possibles des objets transmembranaires 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-clés : membrane cellulaire, fonctionnelle de Helfrich, biomécanique, géométrie différentielle, activité flippase, physique du cancer, propriétés électriques.

Références

[1] D. Voet et J. G. Voet, 'Biochemistry', John Wiley and Sons (2011)

[2] P. B. Canham, 'The minimum energy of bending as a possible explanation of the biconcave shape of the human red blood cell', J. Theor. Biol. 26, 61–76 (1970); W. Helfrich, 'Elastic properties of lipid bilayers: Theory and possible experiments', Zeitschrift für Naturforschung C vol.28 n°11-12, pp. 693-703(1973) ; E. Evans, 'Bending resistance and chemically induced moments in lipid bilayers', Biophys. J. 14, p.923 (1974)

[3] W. Helfrich, R.-M. Servuss, 'Undulation, steric interaction and cohesion of fluid membranes', Il Nuovo Cimento D 3 (1984), pp. 137-151

[4] M.D. Houslay, K.K. Stanley, 'Dynamics of Biological Membranes', Wiley, New York (1982)

[5] U. Seifert, 'Configurations of fluid membranes and vesicles', Advances in Physics 46 (1997), pp. 13-137; R. Lipowsky, E. Sackmann (Eds.), 'Structure and Dynamics of Membranes', Elsevier, Amsterdam (1995)

[6] J. Prost, R. Bruinsma, 'Shape fluctuations of active membranes', Europhys. Lett. 33 (1996), pp. 321-326

Développement et caractérisation d'un composite à base de coproduits de la viticulture pour une application dans le bâtiment

C. BADOUARD^{a,b}, F. BOGARD^{a,b}, C. BLIARD^c, M. LACHI^a, B. ABBES^a, G. POLIDORI^{a,b}

^a MATIM, Université de Reims Champagne Ardenne, Moulin de la Housse, BP 1039, 51687 Reims Cedex 2, France ; mohammed.lachi@univ-reims.fr ; boussad.abbes@univ-reims.fr ; guillaume.polidori@univ-reims.fr

^b Pôle de Recherche Châlonnais, Campus URCA Châlons, Université de Reims Champagne Ardenne, Chaussée du Port, 51000 Châlons en Champagne, France ; celine.badouard@univ-reims.fr ; fabien.bogard@univ-reims.fr

^c Institut de Chimie Moléculaire de Reims, ICMR-UMR 7312 CNRS, Université de Reims Champagne Ardenne, Moulin de la Housse, BP 1039, 51687 Cedex 2, France ; christophe.bliard@univ-reims.fr

Résumé

Le secteur du bâtiment est l'un des plus gros consommateurs de ressources naturelles et d'énergie au monde. L'isolation est l'un des paramètres clés pour les performances énergétiques des bâtiments. La raréfaction des ressources fossiles nécessite le développement de nouveaux matériaux. L'élimination des déchets/sous-produits générés par les activités agricoles diverses permet de combiner les deux problématiques en développant des matériaux de construction issus d'agroressources.

En France, la production de vin génère une quantité considérable de marc de raisin, 850 000 tonnes par an [1]. L'objectif est de trouver une voie de valorisation pour les sous-produits de la viticulture. Une des motivations était de concevoir un matériau 100% bio-sourcé issu des ressources de la région Champagne-Ardenne. Le développement actuel des matériaux bio-sourcés répond à une logique de recherche d'un matériau unique aux propriétés multifonctionnelles, efficace d'un point de vue mécanique, thermique et acoustique, plutôt qu'une juxtaposition de matériaux répondant à l'une de ces trois fonctions.

Différentes formulations d'un agro-composite ont été élaborées à partir d'amidon de pomme de terre, de marc de raisin, de peaux de raisin, de rafles, de rafles broyées (Figure 1), donnant des écomatériaux d'origine naturelle, recyclables, renouvelables et stockant du carbone. Pour déterminer le potentiel de tels matériaux, des critères de performance ont été mesurés en commençant par la thermique via la conductivité thermique (méthode du fil chaud) puis l'acoustique par le coefficient d'absorption acoustique (Tube de Kundt) suivi de la résistance et de la dureté du matériau avec les propriétés mécaniques en compression et en flexion.

Le coefficient d'absorption acoustique montre que ces matériaux sont de bons absorbeurs de sons. Les quatre composites ont une faible conductivité thermique inférieure à $0.08 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Dans l'ensemble, les composites sous-produits/amidon présentent de bonnes performances thermiques, mécaniques et acoustiques pour une utilisation comme matériaux d'isolation dans la construction de bâtiments.

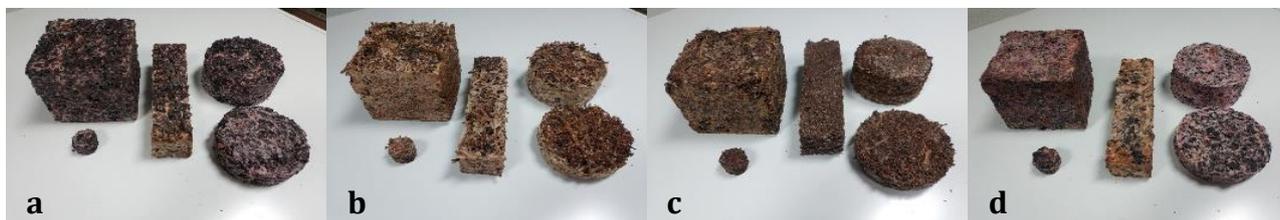


Figure 1: Composites fabriqués à base d'amidon de pomme de terre et de marc de raisin (a), de rafles (b), de rafles broyées (c) et de peaux (d)

Mots clefs :

Isolation des bâtiments, composite biosourcé, propriétés mécaniques, flexion, compression, absorption acoustique, conductivité thermique, amidon de pomme de terre

Références

[1] Institut Français du Vin, Marcs de raisins, lies de vin et bourbes : Quelle gestion des sous-produits vinicoles, Rapport Itinéraires n°25, (2013).

Rhéologie des pâtes de plâtre armé de fibres

A.D.O. BETENE^{a,b}, F. MARTOÏA^a, P.J.J. DUMONT^a, F.E. BETENE^b, A. ATANGANA^a

a. Université de Lyon, INSA-Lyon, LaMCoS CNRS UMR5259, F-69621, Lyon, France

b. Université de Douala, Laboratoire de Mécanique (LM), B.P. 1872 Douala, Cameroun

Résumé

Les propriétés d'écoulement de pâtes de plâtre armé de mèches de fibres de verre et de faisceaux de fibres naturelles extraites de la racine aérienne du *Rhectophyllum camerunense* (RC) ont été étudiées au moyen d'essais rhéologiques de compression simple lubrifiée [1]. Les faisceaux de RC ont été extraits comme décrit dans [2], puis coupés pour avoir un même élanement (rapport longueur sur diamètre $l/d = 58$) que les mèches de fibres de verre. Différentes formulations ont été préparées en faisant varier le taux de fibres de 0,7 à 2 %, avec le même taux de gâchage de (rapport massique eau sur plâtre E/P = 0,8) du plâtre. Des échantillons cylindriques ont été ensuite fabriqués de sorte à garantir une orientation aléatoire dans le plan des mèches de fibres. Ces échantillons (de diamètre initial avant essai $D_0 = 123 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$) ont été soumis à des essais de compression simple lubrifiée sur un rhéomètre équipé de plateaux parallèles à des vitesses de déformation axiales $|D_{33}|$ comprises entre 3.10^{-3} s^{-1} et 1 s^{-1} . Les courbes donnant l'évolution de la contrainte nominale en fonction de la déformation logarithmique axiale (cf. figure 1) issues de ces essais montrent l'effet important du taux de fibres et de la vitesse de déformation $|D_{33}|$ sur la réponse rhéologique des différentes sortes de plâtre armé. Trois régimes d'écoulement ont ainsi été identifiés : un premier correspondant à un régime de déformation quasi incompressible à fortes vitesses de déformation, un second associé à des phénomènes de consolidation pour des vitesses de déformation intermédiaires, et un troisième associé à des phénomènes de consolidation, et aussi de ségrégation entre les fibres et la suspension granulaire pour des vitesses de déformation faibles. L'apparition de ces régimes est fortement influencée par le taux de fibres et dans une moindre mesure de leur nature. Ce dernier phénomène est associé à la nature hydrophile et à la composition chimique des fibres de RC. Dans le régime d'écoulement incompressible, les données obtenues ont été analysées au regard de modèles rhéologiques de la littérature [3] pour les suspensions de fibres.

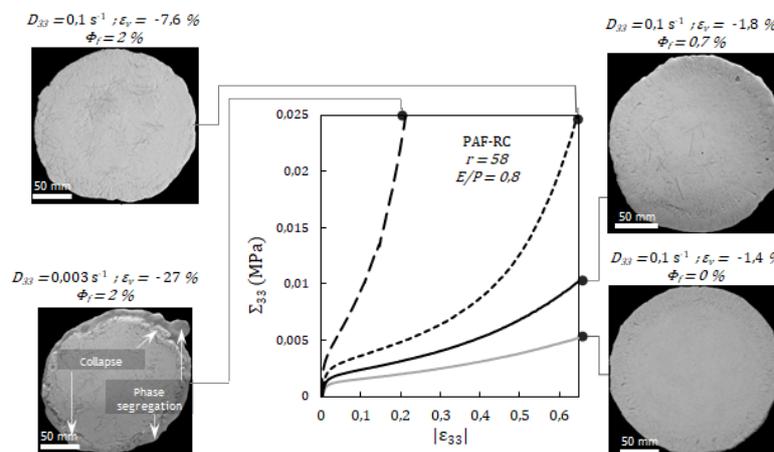


Figure 1. Courbes contrainte-déformation ($\Sigma_{33} - \epsilon_{33}$) typiques d'essais de compression simple lubrifiée réalisés sur des échantillons de pâte de plâtre renforcé de fibres de RC de facteur d'aspect $r = 58$. La fraction volumique des fibres ϕ_f a été prise entre 0,7 % et 2 %. Les tests ont été réalisés avec différentes vitesses de déformation constante D_{33} ($0,003 \text{ s}^{-1}$ et $0,1 \text{ s}^{-1}$) à t_0 .

Mots clefs : plâtres armés de fibres, compression lubrifiée, régimes d'écoulement, modèles rhéologiques

Références

- [1] F.Chalencón et al., Homogeneous and heterogeneous rheology and flow-induced microstructures of a fresh fiber-reinforced mortar, Cement and Concrete Research 82 (2016) 130-141. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.12.012>
- [2] A.D.O Betene et al., Physico-Chemical and Thermal Characterization of Some Lignocellulosic Fibres: *Ananas comosus* (AC), *Neuropeltis acuminatas* (NA) and *Rhectophyllum camerunense* (RC), J. of Minerals and Materials Characterization and Eng., 8 (2020) 205-222. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2020.84014>
- [3] E.S.G. Shaqfeh, G.H. Fredrickson, The hydrodynamic stress in a suspension of rods, Physics of Fluids A: Fluid Dynamics, 2 (1990) 7–24. <https://doi.org/doi:10.1063/1.857683>

Formulation d'un modèle Cam-Clay modifié, avec écrouissage déviatorique non linéaire

G. BACQUAERT^{a, b, *}

^a Sorbonne Université, Institut Jean Le Rond d'Alembert

^b École des Ponts ParisTech, Laboratoire Navier

* goustan.bacquaert@enpc.fr

Résumé

La caractérisation du comportement mécanique des géomatériaux représente un intérêt majeur dans les évaluations de sûreté des structures du Génie Civil. On cherche à évaluer la tenue des ouvrages géotechniques à l'aide de simulations numériques jusqu'à la ruine, par exemple pour évaluer le tassement sous charges statiques ou sismiques. En conséquence, des avancées tant au niveau théorique que numérique sont nécessaires pour proposer des modèles de géomatériaux expérimentalement pertinents et numériquement robustes.

Pour des géomatériaux granulaires, nous proposons d'établir une nouvelle formulation basée sur la thermodynamique des processus irréversibles. Nous nous appuyons sur le modèle Cam-Clay modifié [1] (MCC) décrivant un écrouissage durcissant ou adoucissant avec l'évolution de l'indice de vide plastique. Nous proposons une extension du modèle MCC par l'introduction d'un écrouissage déviatorique non linéaire à l'aide d'une variable d'état dissipative supplémentaire, couplée par un unique critère de plasticité elliptique à la déformation plastique, dans l'esprit des modèles multi-mécanismes pour la plasticité cristalline [2]. Nous aboutissons à un nouveau modèle à état critique, nommé « deviatoric bounded hardening - modified Cam-Clay » (DBH-MCC), permettant d'asymptotiquement restituer le modèle MCC ou une loi à écrouissage déviatorique linéaire.

DBH-MCC requiert 7 paramètres matériau, dont la signification permet une calibration en laboratoire aisée. Sa pertinence est validée par comparaison à de précédents résultats expérimentaux de compressions triaxiales monotones sur du sable de Karlsruhe [3] et de torsions isotropes cycliques sur du sable de Toyoura [4] (voir FIGURE 1).

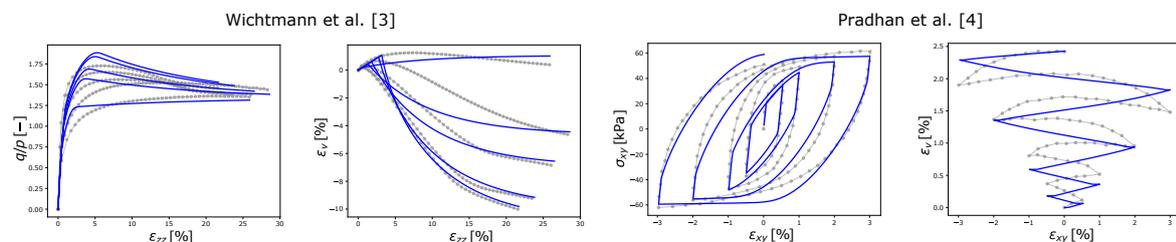


FIGURE 1 – Prédictions du modèle DBH-MCC en bleu face aux résultats expérimentaux [3, 4] (n.b. : $q = |\sigma_{xx} - \sigma_{zz}|$ et $p = -(2\sigma_{xx} + \sigma_{zz})/3$)

Mots clés : géomatériaux granulaires, Cam-Clay modifié, état critique, écrouissage déviatorique non linéaire.

Références

- [1] K.H. Roscoe, J.B. Burland, On the generalized stress-strain behavior of wet clay, Engineering Plasticity Cambridge University Press, (1968) 535–609.
- [2] G. Cailletaud, K. Sai, L. Taleb, Multi-mechanism modeling of inelastic material behavior. Chapter 2. Model formulation, ISTE-Wiley, (2018).
- [3] T. Wichtmann, J.H. Triantafyllidis, An experimental data base for the development, calibration and verification of constitutive models for sand with focus to cyclic loading. Part I : tests with monotonic loading and stress cycles, Acta Geotechnica, 11 (2016) 739–761.
- [4] T.B.S Pradhan, F. Tatsuoka, Y. Sato, Experimental stress-dilatancy relations of sand subjected to cyclic loading, Soils and Foundations, 29 (1989) 45–64.

Effets de la vitesse et de la température sur le comportement en compression des composites à matrice organique

A. MONTES^a, F. LAURO^b, F. COUSSA^c, J. BERTHE^d, B. BENNANI^e

a. Doctorante en 1ère année ONERA DMAS/CRD andrea.montes_alvis@onera.fr

b. Directeur de thèse LAMIH UPHF franck.lauro@uphf.fr

c. Encadrant ONERA DMAS/CRD fabien.coussa@onera.fr

d. Encadrant ONERA DMAS/CRD julien.berthe@onera.fr

e. Encadrant LAMIH UPHF bruno.bennani@uphf.fr

Les structures composites aéronautiques peuvent être soumises à des sollicitations mécaniques multiaxiales et à des situations exceptionnelles tel qu'un crash pouvant mener à un départ de feu. Afin d'aboutir à une conception optimisée de ces structures vis-à-vis de leur tenue structurelle à ces sollicitations complexes, il est nécessaire d'enrichir les modèles de comportement. Pour enrichir les modèles, il faut accroître la connaissance des propriétés mécaniques et de l'influence que peuvent avoir certains paramètres comme la vitesse et la température sur ces propriétés. Vis-à-vis de cette thématique, le sujet de ces travaux de thèse s'intéresse à l'analyse de la réponse mécanique du CFRP T700/M21 en compression longitudinale pour différentes températures d'environnement (25°C – 150°C) et de différentes vitesses. Le but de la thèse est de développer un protocole d'essais permettant de caractériser de façon maîtrisée et répétable les propriétés mécaniques en compression du matériau étudié. Cependant, la caractérisation en compression longitudinale des matériaux composites à température ambiante reste actuellement un challenge pour les industriels et la communauté scientifique.

Le phénomène macroscopique de rupture en compression longitudinale est un phénomène instable. Cette instabilité provient des mécanismes à l'échelle microscopique qui sont difficilement maîtrisables et quantifiables en amont des essais et qui peuvent être associés à l'importante dispersion des propriétés à rupture obtenues lors des essais. Plusieurs normes permettant de réaliser des essais de compression ont été élaborées afin d'uniformiser les pratiques expérimentales. Ces normes se distinguent par la méthode d'introduction du chargement et par la configuration géométrique des éprouvettes. Malgré les efforts des scientifiques et des industriels, la réalisation des essais de compression n'est pas encore bien maîtrisée [1]. De plus, les normes ne donnent pas de recommandations afin d'étudier le comportement en compression à hautes températures. La rupture en compression est précédée et se caractérise par l'apparition d'une bande de plissement *kinking* qui est provoquée par la propagation du micro-flambage des fibres. Ce phénomène implique ainsi une forte interaction entre la fibre et la matrice. Les matrices époxydes sont sensibles à l'augmentation de la température. Cependant, il existe peu d'études sur le comportement des CMO en compression à hautes températures. Les travaux de Karayaka et Sehitoglu [2] montrent une diminution de la contrainte à rupture de 60 % d'un stratifié unidirectionnel AS4/3501-6 entre 23°C et 200°C. De plus, il semble qu'il existe une transition du mode de rupture autour de 100°C qui avait été aussi observée par Ewins et Potter pour un CFRP HT-S [3] et qui est un axe de recherche à investiguer.

Un état de l'art portant sur l'analyse de l'influence des conditions d'essais (conditions limites, géométrie des éprouvettes, température, vitesse et pression hydrostatique) et des défauts de fabrication (désalignement des fibres et porosité) sur le comportement en compression longitudinale du CFRP a permis de proposer une première campagne d'essais dont l'objectif est d'analyser les différentes configurations d'essais issues des normes. Les résultats de cette première campagne d'essais en conjonction avec l'étude bibliographique, vont nous permettre de mener une réflexion sur un protocole d'essais de compression en quasi-statique à température ambiante pour ensuite développer un protocole pour les essais à hautes températures ainsi que pour les essais dynamiques.

Mots clefs : CMO, Compression longitudinale, Effet de la température, Effet de la vitesse.

Références

- [1] D. Thomson, H. Cui, B. Erice et N. Petrinic. A study on the longitudinal compression strength of fibre reinforced composites under uniaxial and off-axis loads using cross-ply laminate specimens. *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, 121, pp. 213–222 (2019).
- [2] M. Karayaka et H. Sehitoglu. Failure Behavior of Unidirectional AS4/3501-6 Carbon/Epoxy Laminates. *Journal of Composite Materials*, 30 (10), pp. 1150–1176 (1996).
- [3] P. Ewins et R. Potter. Some observations on the nature of fibre reinforced plastics and the implications for structural design. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 294 (1411), pp. 507–517 (1980).

Etude théorique de la faisabilité de la variation de la permittivité d'un matériau sous contrainte mécanique, cas d'un matériau piézoélectrique

F. Rasoanoavy^a, H. Razafiarison^a, J. Randriatahina^a, L. Razafindratoandro^a

a. Université d'Antananarivo fa.xspnova@yahoo.com

1 Introduction

La caractérisation électromagnétique (EM) des matériaux est une étape indispensable avant leur utilisation pratique pour de nombreuses applications du domaine des hyperfréquences. Cette étape permet de prendre en compte de manière réaliste les propriétés électromagnétiques des matériaux lors des phases de conception des composants, des dispositifs et des systèmes les intégrant. Elle permet également de contrôler la qualité des processus de fabrication, ou encore de valider les modèles d'interaction entre les ondes EM et la matière par confrontation avec l'expérience. La mesure de la permittivité et de la perméabilité hyperfréquences des matériaux diélectriques et des matériaux magnétiques massifs isotropes est actuellement bien maîtrisée, grâce à une grande diversité de techniques basées sur l'utilisation conjointe des analyseurs de réseaux de dernière génération et des structures résonantes. Par ailleurs les substrats à base de matériau électriquement déformable ouvre de grandes perspectives sur les technologies hyperfréquences. Il est donc rendu possible de varier la polarisation électrique sous contrainte mécanique via le couplage piézoélectrique.

2 Résultats

La présente méthode est basée sur l'extraction des paramètres de répartition (paramètres S), via la simulation en élément fini, d'un guide d'onde rectangulaire contenant le substrat épais de piézoélectrique, sans et avec contrainte mécanique extérieure. L'échantillon à caractériser, de forme carrée, est déposé sur l'une de ses tranches dans le plan médian du guide de type bande X (8-12 GHz). Après dépouillement des données, deux spectres de permittivité différents sont obtenus, ce qui est due à la forte variation des propriétés électriques du matériau suivant la contrainte mécanique appliquée. Ce résultat préliminaire informe mieux le comportement du matériau en fréquence et donc la synthèse optimale de dispositifs hyperfréquence intégrant des matériaux composites piézoélectriques.

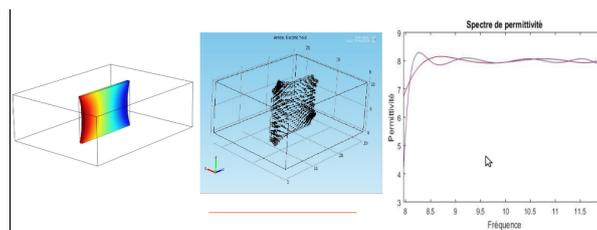


FIGURE 1 – Déformation mécanique de la structure (à gauche), champ électrique induit par la contrainte mécanique (milieu), spectres de permittivités sans et avec contrainte mécanique

Mots clefs : Piézoélectricité, méthode large bande, spectre de permittivité, MEF, moindre carré é non linéaire

Références

- [1] F. Rasoanoavy, V. Laur, P. Queffelec, J-M. Le Floch, D. Passerieux, D. Cros, V. Madrangeas, A. Le Febvrier, S. Députier, M. Guilloux-Viry, G. Houzet, T. Lacrevez, C. Bermond, B. Fléchet
Intercomparaison de caractérisations électromagnétiques de couches minces ferroélectriques, JCMM, (2012).
- [2] F. Rasoanoavy, V. Laur, R. Smaali, P. Queffelec, Modeling of Magnetodielectric Effects in Magnetostrictive/Piezoelectric Multi-layers Using a Multiphysics Simulator, Comsol Conference, Paris, 2010.

Extraction et caractérisation de faisceaux de fibres végétales de *Rhectophyllum Camerunense* (RC)

A.D.O. BETENE^{a,b}, F. MARTOÏA^a, P.J.J. DUMONT^a, F.E. BETENE^b, A. ATANGANA^a

a. Université de Lyon, INSA-Lyon, LaMCoS CNRS UMR5259, F-69621, Lyon, France

b. Université de Douala, Laboratoire de Mécanique (LM), B.P. 1872 Douala, Cameroun

Résumé

Des faisceaux ou mèches de fibres de *Rhectophyllum Camerunense* (RC) ont été extraits par rouissage à l'eau à partir des racines aériennes (Fig. 1b) de plantes de RC (Fig. 1a) originaires de la forêt équatoriale du Cameroun. Les faisceaux de fibres de RC ainsi extraits (Fig. 1c) comme recommandé par Betené et al. [1] présentent une longueur moyenne de l'ordre de 1000 mm (de même ordre que la racine de base) et un diamètre moyen de $370 \pm 60 \mu\text{m}$. Leur microstructure a ensuite été examinée au microscope électronique à balayage (MEB). L'analyse des micrographies MEB a montré que la section droite des faisceaux de fibres de RC est de forme circulaire (Fig. 1e) et que ces faisceaux sont constitués de plusieurs dizaines de fibres unitaires creuses ayant un diamètre de l'ordre de $22 \mu\text{m}$. En outre, ces observations MEB ont révélé qu'environ 87 % des faisceaux de fibres de RC extraits se distinguent par la présence d'un canal central (Fig. 1). Le premier type a été identifié par Béakou et al. [1]. Les mesures de masse volumique par gravimétrie et analyse d'images MEB montrent que les faisceaux de fibres de RC présentant un canal central ont une masse volumique apparente égale à $1260 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ tandis que les faisceaux de fibres de RC sans canal central ont une masse volumique apparente bien supérieure et égale à $1400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Des essais de traction simple ont été réalisés sur les faisceaux de fibres conformément à la norme NF T25-501-2. De manière surprenante, ces essais mécaniques ont révélé que les propriétés en traction, notamment le module de Young et la contrainte à rupture, des faisceaux de fibres de RC avec canal central sont presque équivalentes aux propriétés obtenues pour les faisceaux de fibres de RC sans canal central. Ces essais ont également montré que les faisceaux de fibres présentent des propriétés mécaniques spécifiques équivalentes à celles des faisceaux de fibres de sisal et une déformation à la rupture en traction accrue [1,2]. Ces résultats montrent que les faisceaux de fibres de RC pourraient être notamment être utilisés comme renforts biosourcés dans des matrices céramiques et/ou polymères.

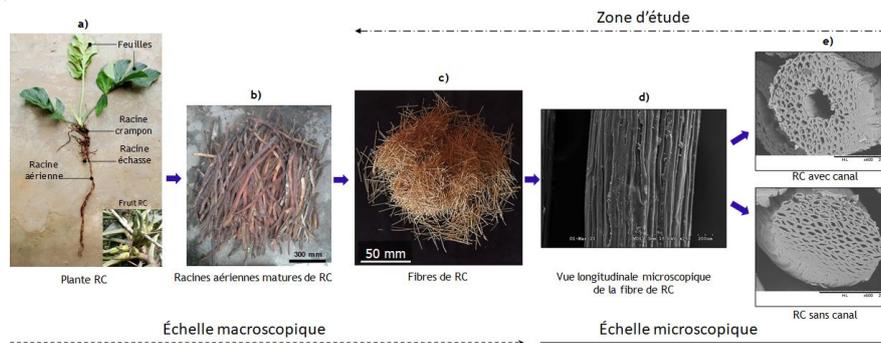


Figure 1. Illustration montrant à différentes échelles (c, d, e) des faisceaux de fibres de *Rhectophyllum Camerunense* (RC) extraits à partir des racines aériennes (b) de plantes de RC (a) originaires de la forêt équatoriale du Cameroun en utilisant un procédé de rouissage à l'eau.

Mots clés : faisceaux de fibres végétales, *Rhectophyllum camerunense* (RC), microstructure, propriétés mécaniques

Références

- [1] A.D.O Betene et al, Physico-Chemical and Thermal Characterization of Some Lignocellulosic Fibres: *Ananas comosus* (AC), *Neuropeltis acuminatas* (NA) and *Rhectophyllum camerunense* (RC), J. of Minerals and Materials Characterization and Eng., 8 (2020) 205-222. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2020.84014>
- [2] A. Béakou et al., L.O. Ayina, Physico-chemical and microstructural characterization of "*Rhectophyllum camerunense*" plant fiber, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 39(2008) 67–74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.09.002>
- [3] E.F. Betene, Étude des Propriétés Mécaniques et Thermiques du Plâtre Renforcé de Fibres Végétales Tropicales, Thèse de l'université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II / Université de Douala, 2012. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36627.53284>

Mécanique des fluides

Approche numérique et expérimentale de la transition inertielle-visqueuse des écoulements instationnaires

A. BOUGOUIN^a, L. LACAZE^b

a. Laboratoire Ondes et Milieux Complexes (LOMC) - Université Le Havre Normandie, UMR 6294 CNRS,
76063 Le Havre, France - alexis.bougouin@univ-lehavre.fr

b. Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT), Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, Toulouse,
France - laurent.lacaze@imft.fr

Résumé

Les écoulements gravitaires géophysiques (coulées de boue, avalanches de neige et rocheuses) sont des aléas naturels fréquents pouvant causer des dégâts humains et matériels [1]. Afin de modéliser ces écoulements instationnaires en laboratoire, une configuration académique consiste à libérer une colonne de fluide, initialement maintenu dans un réservoir rectangulaire, sur un plan horizontal. Cette configuration idéalisée a été particulièrement utilisée afin de prédire les lois de propagation de différents types de fluides (Newtonien, non-Newtonien, suspension, granulaire). Dans le cas d'un fluide Newtonien libéré dans l'air, deux régimes sont généralement distingués : (i) un régime d'effondrement inertiel dans lequel la position du front évolue à vitesse constante [2], et (ii) un régime visqueux caractérisé par une décélération du front [3]. En revanche, la transition de l'un vers l'autre n'a jamais été décrite dans la littérature, et la question d'une transition continue ou de l'émergence d'un régime transitoire reste encore ouverte. En particulier, nous montrons dans cette étude que la transition inertielle-visqueuse peut s'accompagner d'un régime intermédiaire caractérisé par un dépassement suivi d'une forte décélération de la position du front et d'un excès de fluide au front, relatif à la solution théorique visqueuse obtenue aux temps longs. Malgré que ce régime transitoire est attribué à l'inertie initiale du système, le nombre de Reynolds $Re = (gH)^{1/2}H/\nu$ et le rapport de forme $a = H/L$, avec H et L la hauteur et longueur respective de la colonne initiale, ν la viscosité cinématique du fluide dense, et g l'accélération de la pesanteur, doivent être considérés pour le décrire pleinement. Nous montrons que les différentes quantités définies pour quantifier l'écart à la solution visqueuse suivent des lois d'échelle avec aRe . Ces résultats soulignent le fait que la transition inertielle-visqueuse ne correspond pas nécessairement à une évolution continue de l'un vers l'autre, mais peut s'accompagner d'un régime intermédiaire d'adaptation.

Références

- [1] R. Delannay, A. Valance, A. Mangeney, O. Roche et P. Richard, Granular and particle-laden flows : from laboratory experiments to field observations, *J. Phys. D*, 50 (2017) 053001.
- [2] A. Ritter, Die Fortpflanzung der Wasserwellen, *Z. Verein Deutch. Ing.*, 36 (1892) 947–954.
- [3] H. E. Huppert, The propagation of two-dimensional and axisymmetric viscous gravity currents over a rigid horizontal surface, *J. Fluid Mech.*, 120 (1982) 43–58.

Turbulence sans étirement de vorticité

T. WU^a, W. J. T. BOS^b

a. LMFA-CNRS, Ecole Centrale de Lyon, Université de Lyon, Ecully, France. E-mail : tong.wu@ec-lyon.fr

b. LMFA-CNRS, Ecole Centrale de Lyon, Université de Lyon, Ecully, France. E-mail : wouter.bos@ec-lyon.fr

1 Résumé

Richard Feynman appelait la turbulence le dernier problème non résolu important de la physique classique. La turbulence désigne l'état de l'écoulement d'un fluide dans lequel la vitesse présente en tout point un caractère tourbillonnaire. Les écoulements turbulents se caractérisent donc par une apparence très désordonnée, un comportement difficilement prévisible et l'existence de nombreuses échelles spatiales et temporelles. Un sujet important dans la recherche sur la turbulence est le transfert de l'énergie cinétique où l'étirement de vorticité joue un rôle primordial. Dans l'équation de vorticité, le terme non linéaire $\boldsymbol{\omega} \cdot \nabla \mathbf{u}$ représente l'étirement de vorticité. Notre objectif est de comprendre l'effet de l'étirement de vorticité en supprimant ce terme dans les équations de Navier-Stokes et en comparant les résultats au système d'origine. Le système que nous considérons est donc

$$\frac{\partial \boldsymbol{\omega}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \boldsymbol{\omega} = \lambda \boldsymbol{\omega} \cdot \nabla \mathbf{u} + \nu \Delta \boldsymbol{\omega}, \quad (1)$$

avec $\boldsymbol{\omega} = \nabla \times \mathbf{u}$ et ν la viscosité. On compare les cas $\lambda = 1$ (dynamique de Navier-Stokes classique) et $\lambda = 0$ ( coulement 3D sans étirement de vorticité).

Notez que le terme d'étirement de vorticité est naturellement éliminé dans la turbulence bidimensionnelle (2D). Ainsi, le système 3D sans étirement de vorticité crée un pont entre les turbulences 2D et 3D. Il est montré que le système non visqueux conserve l'entropie, comme la turbulence 2D, et l'hélicité, comme la turbulence 3D non visqueuse. Les cascades associées sont évaluées à l'aide de simulations numériques directes pseudo-spectrales[1] et d'une modélisation de fermeture à deux points [2].

Le système non visqueux s'organise pour former une structure à grande échelle qui ressemble à un écoulement ABC, contrairement à la turbulence 3D où aucune structure cohérente à grande échelle n'est observée dans l'état d'équilibre non visqueux. La composante de direction x de la vitesse est représentée sur Fig. 1(b)   partir de laquelle nous pouvons voir la structure cohérente. De plus, le système non visqueux se détend vers un état d'équilibre absolu pour lequel nous évaluons des prédictions analytiques.

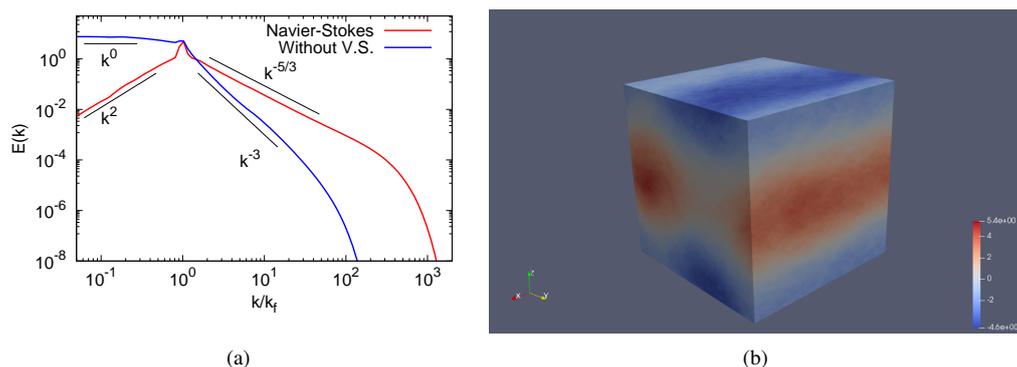


FIGURE 1 – (a) Spectre d'énergie comparant le système sans étirement de vorticité à la turbulence Navier-Stokes (résultats EDQNM)[2]. (b) Visualisations de la vitesse dans la direction x pour le système non visqueux tronqué sans étirement de vorticité (résultats DNS)[1].

Mots clefs : turbulence, étirement de vorticité

Références

- [1] T. Wu and W. J. T. Bos. Statistical mechanics of the Euler-equations without vortex stretching. *under review* (2021)
- [2] W. J. T. Bos, Three-dimensional turbulence without vortex stretching, *Journal of Fluid Mechanics*, 915 (2021).

Mass transfer at a wall under acoustically driven flow

N. EL GHANI^a, S. MIRALLES^a, V. BOTTON^a, D. HENRY^a, B. TER-OVANESSION^b, S. MARCELLIN^b.

a. Univ Lyon, INSA Lyon, Ecole Centrale de Lyon, Université Claude Bernard Lyon I, CNRS, Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR 5509, 20 avenue Albert Einstein, F-69621, Villeurbanne, France. sophie.miralles@insa-lyon.fr
 b. Laboratoire MATEIS UMR CNRS 5510, Université Lyon 1 / INSA de Lyon, Bat L. de Vinci, 21 Avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne cedex, France

Acoustic streaming flows are very promising for stirring or controlling instabilities into convecting liquids ([1]). Some of the possible applications concern the directional solidification of metallic alloys and semi-conductors. Inside the melt, cooled from the bottom, a solidification front grows and a concentration boundary layer forms at the interface because of segregation phenomena. Indeed, due to differential solubility in the liquid and the solid, the impurities are rejected in the remaining liquid during solidification and lie in a thin layer at the interface. Among the different stirring techniques used to homogenize the liquid, we explore the generation of a flow by propagation and attenuation of ultrasound continuous waves, also called Eckart streaming. We investigate the potential of this kind of flow to improve the mass transfer in the vicinity of the solid/liquid interface. To do so, our approach relies on water experiment ([2]), in analogy with industrial crucibles containing the melt. The solid-liquid interface and the accumulation of impurities are modeled in our experimental setup by a fixed glass wall equipped with several electrodes, and electrolyte ions accumulating at the electrodes by redox reaction (see Fig. 1(a)). We then use polarography techniques, also referred as chronoamperometry, to monitor the mean concentration boundary layer thickness. We first calibrate the system without any external forcing and then, we investigate the influence of an acoustic streaming jet impinging the wall. We present how the acoustically driven flow can enhance the mass transfer at the wall or interface by following the evolution of the Sherwood number with the acoustic power (see Fig. 1(b)). Numerical simulations of the flow are also presented to check the consistency of the experimental results ([3]).

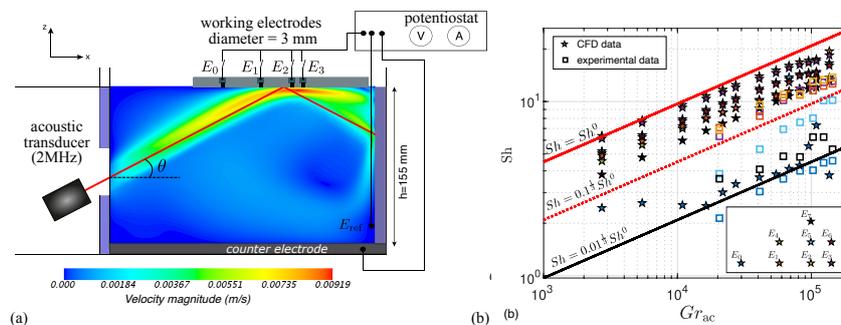


FIGURE 1 – (a) Side-view of the experimental setup with superimposed norm of the velocity in the mid plane of the tank (numerical simulations). (b) Evolution of the local wall mass transfer (Sherwood number) with the acoustic forcing (denoted acoustic Grashoff number). Continuous lines are the predicted order of magnitude of Sherwood number.

Mots clefs : acoustic streaming, mass transfer (10 gras)

Références

[1] G. Launay, T. Cambonie, D. Henry, A. Pothérat and V. Botton, Transition to chaos in an acoustically driven cavity flow, Physical Review Fluids 4, 044401, 2019
 [2] B. Moudjed, V. Botton, D. Henry, S. Millet, H. Ben Hadid, Y-shaped jets driven by an ultrasonic beam reflecting on a wall, Ultrasonics 68, 33, 42, 2016
 [3] N. El Ghani, S. Miralles, V. Botton, D. Henry, H. Ben Hadid, B. Ter-Ovanessian, S. Marcelin, Acoustic streaming enhanced mass transfer at a wall, International Journal of Heat and Mass Transfer 172, 121090, 2021

Stability of pulsatile plane channel flow between compliant walls

Smail LEBBAL, Benoît PIER, Frédéric ALIZARD.

Laboratoire de mécanique des fluides et d'acoustique,
CNRS-École centrale de Lyon-Université de Lyon 1-INSA de Lyon,
36 avenue Guy-de-Collongue, 69134 Écully, France.

The stability of pulsatile channel flow between compliant walls is investigated. The results obtained include the dynamics of Tollmien-Schlichting (TS) modes as well as flow-induced surface instability (FISI) modes. It is found that varicose perturbations are generally more unstable than sinuous perturbations.

The base flow is a Poiseuille channel flow superimposed with oscillatory components [1]. This pulsatile channel flow is completely determined by the Reynolds number Re (based on the mean flow rate), the Womersley number Wo (nondimensional frequency) and the pulsation amplitude \tilde{Q} . The compliant wall is modeled as a spring-backed plate with a viscous substrate deformable in the wall-normal direction [2]. The flow is governed by the complete Navier-Stokes equations and coupled to the compliant walls via interface boundary conditions, including both viscous and pressure contributions.

The FISI modes (both varicose and sinuous) and TS modes are then investigated for a range of a non-dimensional control parameters, among which the reduced velocity (V_r) defined as the ratio of the flexible wall characteristic time to the base flow advection time scale [3]. The figure (1) plots the critical reduced velocity V_r^c for onset of instability as \tilde{Q} is increased for a range of Wo numbers and shows that varicose modes always dominate. In order to perform a complete stability analysis, we systematically explore the multi-dimensional control parameter space. Both FISI modes are primarily found to be governed by V_r and almost not affected by the Re number.

To provide further physical insight, we also investigate the perturbative energy equations for both FISI and TS modes for a wide range of wall parameters and wavenumbers.

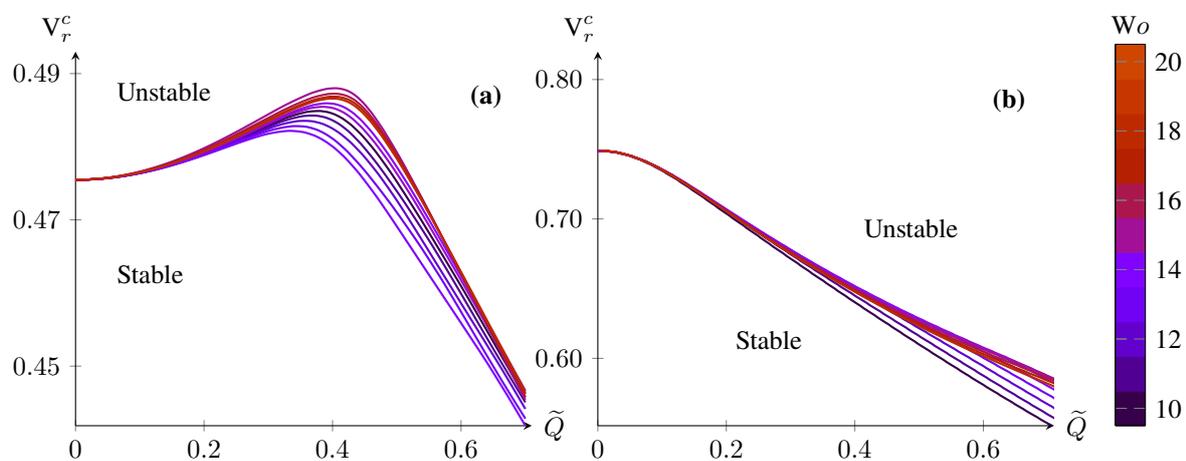


Figure 1: Critical reduced velocity for onset of FISI modes. a) varicose and b) sinuous modes.

Keywords : Linear stability, pulsatile base flow, Floquet analysis, fluid-structure interaction.

References

- [1] B. Pier and P. J. Schmid. Linear and nonlinear dynamics of pulsatile channel flow. *J. Fluid Mech.* **815**, 435–480, (2017).
- [2] C. Davies and P. W. Carpenter. Instabilities in a plane channel flow between compliant walls. *J. Fluid Mech.* **352**, 205–243, (1997).
- [3] E. de Langre. Analyse dimensionnelle en interaction fluide-structure. *La Houille Blanche.* **2-3**, 14–18, (2000).

Modélisation numérique CFD du comportement thermique cutané humain en Cryothérapie Corps Entier

R. Elfahem ^a, G. Polidori ^a, B. Abbès ^a, F. Beaumont ^a, B. Bouchet ^b.

- a. Université de Reims Champagne Ardenne, MATIM, UFR Sciences Exactes et Naturelles, , France
rim.elfahem@etudiant.univ-reims.fr
- b. Pôle de Cryothérapie, 2 Rue Jules Méline, 51430 Bezannes, France
contact@cryotera.fr

1 Introduction

La Cryothérapie Corps Entier consiste à exposer le corps à un froid sec à -110°C pendant une durée de 3 à 4 minutes. Ce traitement a des effets bénéfiques dans trois domaines : le sport, la santé et le bien-être [1]. Depuis une dizaine d'années, le nombre de publications scientifiques sur le sujet s'est accru bien qu'il soit fait mention d'un manque de données manifeste à propos des protocoles utilisés et des températures requises. Il n'existe aujourd'hui aucun outil capable de prédire le refroidissement cutané d'un individu dans une atmosphère à -110°C . L'objectif de ce travail est de modéliser numériquement le comportement thermique cutané de populations statistiquement ciblées (sexe, âge, morphotype, % tissu adipeux) en vue de fournir un outil prédictif amenant le thérapeute à établir des protocoles de cryothérapie spécifiques et propres à chaque personne.

2 Procédure numérique

La procédure numérique consiste à modéliser une cinétique cutanée de refroidissement, à partir du scan 3D d'un sujet placé au centre d'une chambre de cryothérapie corps entier et exposé à un air froid et sec. Les simulations numériques sont réalisées à partir du code de calcul CFD Ansys Fluent qui est basé sur la méthode des volumes finis. Les premiers calculs sont réalisés en régime permanent. Les équations de Navier Stokes sont résolues à l'aide de solveur « pressure based ». La turbulence de l'écoulement a été prise en compte avec le modèle k- ϵ . Le but est d'étudier l'effet du changement des conditions aux limites thermiques (températures de la peau du corps et de la chambre) sur les structures de l'écoulement intérieur et sur le panache thermique dissipé par le corps, considéré comme une source de chaleur à l'intérieur de la chambre (voir Figure). Cette première approche vise à montrer la répartition des différentes températures au cours d'une séance et les phénomènes de transferts thermiques entre le corps humain et son environnement dans une pièce de petites dimensions ainsi que le développement et l'évolution du panache thermique à l'intérieur de cette pièce.

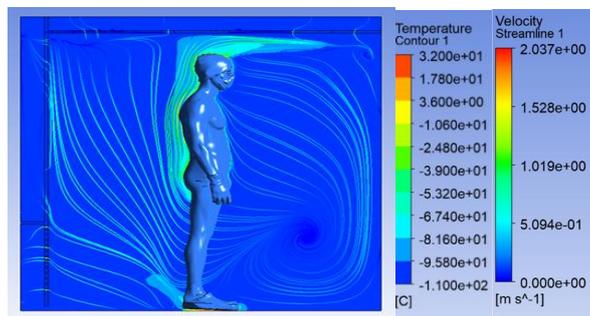


Figure : Panache thermique et lignes de courant en coupe pour une simulation numérique 3D dans une atmosphère à -110°C .

Mots clés :

Simulation numérique (CFD), Bio-transfert de chaleur, Cryothérapie Corps Entier, Températures cutanées,

Références

[1] R., Bouzigon, F., Grappe, G., Ravie, B., Dugue. Whole-and partial- body cryostimulation/cryotherapy: Current technologies and practical applications, Journal of Thermal Biology 61 (2016) 67-81.

La résolution des équations de Navier-Stokes incompressibles bidimensionnelles en régime permanent par la méthode spectrale

M. Drissi ^a, M. Mansouri^b, K. saadouni^c

a. Mohamed Drissi, Hassan First University of Settat, ENSA Berrechid, Laboratory LAMSAD, Morocco. email : M.drissi@uhp.ac.ma

b. Hassan First University of Settat, ENSA Berrechid, Laboratory LAMSAD, Morocco. email : mansouri1969@yahoo.fr

c. Hassan First University of Settat, ENSA Berrechid, Laboratory LISA, Morocco. email : saadouni.khalid@gmail.com

1 abstract

La modélisation des équations de Navier-Stokes incompressibles bidimensionnelles en régime permanent dans la formulation de la fonction d'écoulement d'une classe générale de problèmes limites d'ordre 4, qui seront traités dans ce travail. Plusieurs méthodes numériques sont proposées pour la résolution d'une classe générale de problèmes limites d'ordre 4. Ainsi, la méthode spectrale (pseudo-spectrale) a été proposée pour la résolution des problèmes de valeurs limites d'ordre supérieur. En particulier, l'équation biharmonique unidimensionnelle complétée par des conditions aux limites de Dirichlet. Des expériences numériques sont incluses pour démontrer l'applicabilité et la précision des schémas proposés et pour les comparer à d'autres techniques disponibles dans la littérature.

keyword : Pseudo-spectral, Navier-Stokes equations, biharmonic.

Reference

- [1] A. Tri, O. Askour, B. Braikat, H. Zahrouni, M. Potier-Ferry, Fundamental solutions and asymptotic numerical methods for bifurcation analysis of nonlinear bi-harmonic problems, *Numerical Methods for Partial Differential Equations* 35 (6) (2019) 2091–2102
- [2] C. Fu, T. Wang, F. Xu, Y. Huo, M. Potier-Ferry, A modeling and resolution framework for wrinkling in hyperelastic sheets at finite membrane strain, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 124 (2019) 446–470.
- [3] N. Mai-Duy, R. I. Tanner, A spectral collocation method based on integrated chebyshev polynomials for two-dimensional biharmonic boundary-value problems, *Journal of Computational and Applied Mathematics* 201 (1) (2007) 30–47
- [4] L. N. Trefethen, *Spectral methods in matlab*, volume 10 of software, environments, and tools, Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Philadelphia, PA 24.

Etude expérimentale d'écoulements 3D entraînés par ultrasons avec une méthode lagrangienne de suivi de particules

B. VINCENT^a, S. MIRALLES^a, D. HENRY^a, V. BOTTON^a

a. Univ Lyon, INSA Lyon, CNRS, Ecole Centrale de Lyon, Univ Claude Bernard Lyon 1, Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR5509, 69621, Villeurbanne France. Email : bjarne.vincent@insa-lyon.fr

Résumé

L'*acoustic streaming* désigne un type d'écoulements quasi-stationnaires créés par la présence d'ondes sonores dans un fluide [1]. En raison de l'atténuation de l'amplitude de l'onde, l'énergie acoustique est peu à peu convertie en énergie mécanique au cours du parcours de l'onde. L'*acoustic streaming* constitue ainsi un moyen peu intrusif de mettre en mouvement un fluide dans le but par exemple d'améliorer les transferts de chaleur et de masse à proximité de parois, ou encore de brasser des métaux liquides et semi-conducteurs en cours de solidification afin d'améliorer la qualité des lingots obtenus.

Dans le but de remplir ce dernier objectif, un démonstrateur en eau, déjà utilisé pour étudier des écoulements de *streaming* "carrés" [3], a été adapté. L'écoulement étudié est créé par un faisceau d'ultrasons entrant dans la partie supérieure d'une cavité presque cubique et se réfléchissant sur les parois de la cuve, décrivant ainsi un champ de force acoustique en forme d'hélice (figure 1(a)). Afin de mieux connaître, à terme, l'applicabilité d'un tel écoulement au brassage de bains fondus, celui-ci est étudié expérimentalement par une méthode dite PTV (*Particle Tracking Velocimetry*), dont les mesures lagrangiennes sont traitées et projetées sur une grille eulérienne afin d'obtenir le champ de vitesse 3D-3C de l'écoulement. La figure 1(b) montre la structure principale de l'écoulement moyen, constitué de jets impactant les parois de la cuve et dont les détails dépendent de la puissance acoustique injectée. L'écoulement secondaire, composé de cellules de recirculation favorisant le mélange global, sera analysé, ainsi que le champ de vorticité. Des corrélations du nombre de Reynolds dans les jets en fonction du forçage acoustique (nombre de Grashof acoustique) seront présentées.

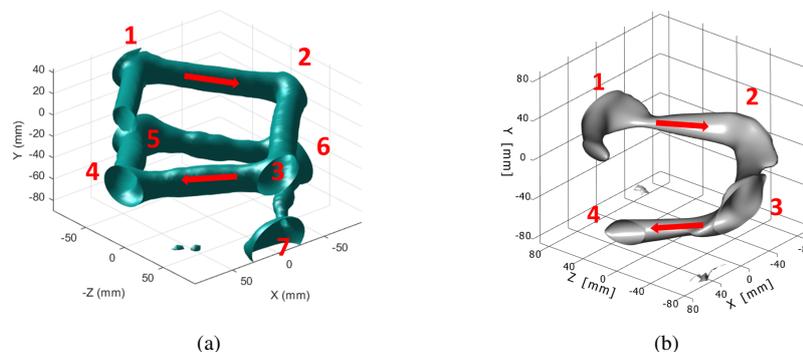


FIGURE 1 – A gauche : isosurface de la norme de la force acoustique (5,5% de sa valeur maximale) obtenue numériquement. A droite : isosurface (3,0 mm/s) du champ de vitesse de l'écoulement moyen résultant. Le faisceau acoustique entre en $(X, Y, Z) \approx (-80, 35, 0)$. Les flèches rouges montrent le sens du forçage acoustique (à gauche) et de l'écoulement résultant (à droite). La numérotation indique l'ordre et la position des impacts du faisceau et des jets produits.

Mots clefs : Acoustic streaming, ultrasons, PTV

Références

- [1] Nyborg, W. (1953) 'Acoustic streaming due to attenuated plane waves', *Journal of the Acoustical Society of America*, 25(1), pp. 69–75.
- [2] Lighthill, J. (1978) 'Acoustic streaming', *Journal of Sound and Vibration*, 61(3), pp. 391–418.
- [3] Cambonie, T. et al. (2017) 'From flying wheel to square flow : Dynamics of a flow driven by acoustic forcing', *Physical Review Fluids*, 2(12), pp.123901.

Identification par méthode inverse des coefficients aérodynamiques d'un projectile gyrostabilisé.

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

a. Laboratoire de Mathématiques Nicolas Oresme, Normandie Univ, UNICAEN, CNRS 14032 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. De nos jours, plusieurs méthodes existent pour déterminer ces coefficients tels que: les essais en soufflerie, les calculs CFD, les tirs avec instrumentations embarquées...

Le principal objectif de ce travail est de proposer une méthode inverse 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 et sans aucune instrumentation embarquée. Cette méthode doit être robuste puisque les données sont plus ou moins bruitées.

Le modèle balistique utilisé est le modèle du Point Matériel Modifié (PMM) à cinq degrés de liberté proposé par Lieske et al. [1]. Ce dernier a été standardisé par l'OTAN [2] et permet une très bonne approximation de la trajectoire des projectiles gyrostabilisés.

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. Une telle méthode a déjà été proposée dans des travaux antérieurs [3,4].

Nous proposons ici une variante de la méthode [3,4] qui consiste à proposer une identification séquentielle au lieu d'une identification simultanée des différents coefficients aérodynamiques. En effet, une étude préalable de l'influence des différents coefficients sur l'évolution des paramètres d'état du modèle PMM a été réalisée. Les conclusions sont que les différents coefficients n'agissent pas de la même manière sur les différents paramètres d'état et cela nous a amené à proposer un développement asymptotique du modèle balistique PMM en fonction d'un paramètre adimensionnel, supposé petit, jusqu'à l'ordre deux. L'identification séquentielle utilise alors les modèles balistiques obtenus aux différents ordres du développement asymptotique. On remarque qu'à l'ordre zéro, le modèle balistique correspond au modèle du point matériel classique sans effet Coriolis. Le développement met, ainsi, en évidence que le coefficient de traînée est le coefficient le plus influent et est le seul coefficient qui intervient à l'ordre zéro. La suite du développement fait apparaître le rapport entre le coefficient de portance et le coefficient de tangage à partir de l'ordre un et le rapport entre le coefficient lié à la force de Magnus et le coefficient de tangage à partir de l'ordre deux. L'identification se fait donc par étape. A chaque étape d'identification une éventuelle correction des coefficients déjà identifiés est prise en compte. L'identification du coefficient d'amortissement en roulis est effectuée indépendamment des autres identifications grâce à l'équation supplémentaire du PMM régissant l'évolution du taux de roulis.

La méthode séquentielle est tout d'abord validée en utilisant des données générées numériquement puis est testée en utilisant des données réelles obtenues par un radar de trajectographie.

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

Références

- [1] R. F. Lieske and M.L. Reiter, Equations of motion for a modified point mass trajectory. Technical Report No 1314, Ballistic Research Laboratories (1966)
- [2] STANAG 4355(Edition3), The modified point mass and five degrees of freedom trajectory models (2009)
- [3] V. Condaminet, F. Delvare, D. Choi, H. Demailly, C. Grignon, S. Heddadj, Identification of aerodynamic coefficients of a projectile and reconstruction of its trajectory from partial flight data, Computer Assisted Methods in Engineering and Science (2014) 177-186
- [4] V. Condaminet, F. Delvare, C. Grignon, S. Heddadj, Identification of a spin-stabilized projectile from free flight data, 29th International Symposium on Ballistics, Edinbourg (2016)

Modeling of Air –Water Flow in a Rock&Roll Flow Loop

M. NAUKANOVA^a, J. DOUZET^a, G. LAVALLE^a, A. CAMEIRAO^a et J.M. HERRI^a

^a Mines Saint-Etienne, Université de Lyon, CNRS, UMR 5307 LGF, Centre SPIN, Département PEG, 42023, Saint-Etienne, France

1 Introduction

Gas-liquid flow dynamics in pipes is a complex phenomenon encountered in many industrial spheres. Particularly, in petroleum production and transportation the design of the facilities, safety, and efficiency of the industrial operations strongly depend on accurate prediction of flow behavior. Since the seventies, two-phase flow models and correlations predicting the liquid holdup and pressure drop, have been actively developed^{[1][2]}. However, there are still mismatches between model predictions and experimental results. These discrepancies may be attributed to the benchtop limitations in length, complexity of the gas-liquid interface, and accuracy of empirical correlations used within a model.

2 Results

In order to overcome this problem, current work presents an experimental study of air-water flow patterns in an in-house made Ring flow loop called Rock&Roll (Figure 1). The Rock&Roll Loop is an innovative, compact, easy-to-build, and endless flow testing loop similar to a rocking cell. It consists of a ring-tube installed on a disk, that tilts sequentially to 4 sides to induce the circular motion of the fluid. By varying the inclination angle, the rotation speed, and initial liquid volume, different flow structures were classified. On the basis of qualitative observations of the air-water flow, a flow regime map was produced. Considering that the solution of the system will be the one that minimizes the total energy, a two-phase flow model predicting liquid holdup and pressure drop is under development.

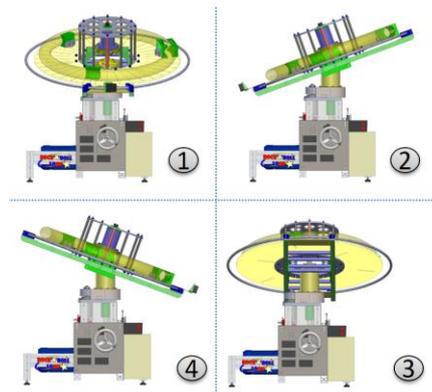


Figure 1 - 3D model of Rock&Roll Ring Flow Loop inclined in four positions.

Mots clés : gas-liquid flow, two-phase flow pattern, rock&roll ring flow loop, energetic approach

References

- [1] D. Thibault, J.-M. Munoz, A. Liné, Multiple holdup solutions in laminar stratified flow in inclined channels, *International Journal of Multiphase Flow*, 73 (2015) 275-288.
- [2] A. Sharma, A. Al-Sarkhi, C. Sarica, H.-Q. Zhang, Modeling of oil–water flow using energy minimization concept, *International Journal of Multiphase Flow*, 37 (2011) 326-335.

Compressibilité d'un bouchon formé de cellules vivantes (*Saccharomyces cerevisiae*) placé sous contraintes fluides

T. DESCLAUX^{a,b*}, P. DURU^a, P. JOSEPH^b, M. DELARUE^b, O. LIOT^a

a. IMFT, Equipe MPB, 2 Allée du Professeur Camille Soula, 31400 Toulouse

b. LAAS-CNRS, Equipe MILE, Univ. de Toulouse, CNRS, INP, 7 av. du Colonel Roche, 31400 Toulouse

*contact : terence.desclaux@imft.fr

La capture de particules solides dans un milieu poreux est inévitable pour de nombreux domaines tels que la chromatographie liquide, ou l'infiltration des eaux souterraines [1]. Cependant, ces procédés présentent un inconvénient majeur : les membranes poreuses peuvent s'encrasser, voire se colmater. Même si le colmatage d'un pore par des particules déformables commence à être rapporté [2], l'étude du bio-colmatage - colmatage par des objets biologiques - est un domaine de recherches émergent. En effet, les cellules vivantes ont des propriétés particulières qui peuvent impacter celles du bouchon résultant : ce sont des objets déformables, anisotropes, dotés de mécanismes d'adhésion spécifiques et de comportements propres au monde vivant (reproduction, consommation de nutriments, mort). En particulier, il a été rapporté qu'à l'échelle macroscopique la résistance hydraulique du bouchon augmente avec le forçage hydrodynamique [3]. Mais certains auteurs rapportent qu'à la micro-échelle, la morphologie du bouchon reste inchangée lorsque le forçage varie [4]. L'objet de ce travail est donc l'étude de la compressibilité d'un bouchon formé par des particules biologiques aux propriétés bien contrôlées : les levures du boulanger, *Saccharomyces cerevisiae*.

Une suspension de levure est poussée à l'aide d'un dispositif de contrôle de pression à travers un dispositif microfluidique, dans une configuration simple et maîtrisée consistant en un canal suivi d'une constriction légèrement plus grande que les cellules. La différence de pression à travers le dispositif est maintenue constante jusqu'à ce que le bouchon atteigne la taille désirée. Il est alors soumis à des cycles successifs de compression/décompression, tandis que les mouvements des particules dans le gâteau sont imaged en microscopie à champ brillant et en microscopie de fluorescence. Deux types d'expériences sont menées : en présence ou en absence de cycloheximide (CHX), une molécule qui inhibe la synthèse de protéines dans les cellules, ce qui revient à inhiber la croissance et donc la reproduction cellulaire.

Lorsque le forçage hydrodynamique varie, deux types de mouvements sont visibles : des réarrangements locaux, concernant quelques particules, se superposent à des mouvements collectifs, concernant des groupes entiers de cellules. Ces derniers dominent les premières secondes du mouvement, tandis que les réarrangements se déclenchent plus tardivement. Spatialement, les mouvements sont plus importants loin du pore que proche du pore. Lorsque la synthèse de protéines est bloquée (présence de CHX), le bouchon a un comportement identique au comportement décrit pour des bouchons formés d'hydrogels. Lors du premier cycle de compression/décompression, le déplacement et les réarrangements sont plus importants lors de la compression que lors de la décompression : l'agrégat se compacte. Lors des cycles suivants, le gradient de déplacement est uniforme dans le bouchon : le squelette poreux se compacte de la même manière partout dans le bouchon. En absence de CHX, le comportement mécanique du bouchon change radicalement. Le déplacement moyen est plus important lors de la phase de décompression que lors de la compression, ce qui suggère que la croissance et la reproduction des cellules sont ralenties pendant la compression et accélérées pendant la décompression. De plus, au delà d'un cycle de compression/décompression, le gradient de déplacement peut être non-uniforme à l'intérieur du bouchon, et les déplacements relatifs de certaines couches peuvent être quasi-nuls, ce qui suggère que certaines zones du bouchon peuvent se comporter de manière incompressible. Tous ces résultats révèlent que les propriétés biologiques des cellules vivantes interagissent fortement avec les processus, notamment pomécaniques, qui ont lieu dans les bouchons (réduction du flux, compressibilité, réarrangements).

Mots clés : biocolmatage, agrégats, compressibilité

Références

- [1] Zhang, W., Tang, X., Weisbrod, N. & Guan, Z. A review of colloid transport in fractured rocks. *J. Mt. Sci.* 9, 770–787 (2012).
- [2] Bouhid de Aguiar, I. et al. Deswelling and deformation of microgels in concentrated packings. *Sci Rep* 7, 10223 (2017).
- [3] Meireles, M., Molle, C., Clifton, M. J. & Aïmar, P. The origin of high hydraulic resistance for filter cakes of deformable particles: cell-bed deformation or surface-layer effect? *Chemical Engineering Science* 59, 5819–5829 (2004).
- [4] Ben Hassan, et al. Study of the separation of yeast by microsieves: In situ 3D characterization of the cake using confocal laser scanning microscopy. *Food and Bioproducts Processing* 92, 178–191 (2014).

Modèle théorique de courant de densité issu d'un rejet continu sur un plan horizontal dans un milieu ouvert

Safir HADDAD^a, Samuel VAUX^a, Kevin VARRALL^b, Olivier VAUQUELIN^b

a. Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), PSN-RES, SA2I, LIE, Cadarache, 13115 Saint-Paul-lez-Durance, France

b. Aix-Marseille Université (AMU), Laboratoire IUSTI, UMR 7343, 5 Rue Enrico Fermi, 13453 Marseille Cedex, France

safir.haddad@irsn.fr, samuel.vaux@irsn.fr, kevin.varrall@univ-amu.fr, olivier.vauquelin@univ-amu.fr

Mots clés : Courant de densité - Saut de densité - Non-Boussinesq - Entraînement - Inclinaison - Simulations LES

1 Abstract

Nous nous intéressons à la modélisation théorique d'un courant de densité. Ce courant de densité est issu d'un rejet continu d'un fluide léger (Air/He) de vitesse et de masse volumique contrôlées depuis une buse de hauteur connue. Ce courant se propage longitudinalement en entraînant l'air environnant jusqu'à la fin du plan horizontal, correspondant à la sortie du domaine de calcul.

Dans les travaux relatifs à ces courants de densité, une grande partie se concentre sur la phase transitoire, durant laquelle le courant avance sous la paroi. Il semble se dégager un consensus sur les lois horaires régissant l'avancée du front ($V_{front} \propto B^{1/3}$, où B est le flux de flottabilité c.f. [1]). La phase stationnaire est, pour sa part, moins documentée. Notons néanmoins que ces écoulements peuvent être caractérisés par le nombre de Richardson (rapport flottabilité/inertie) et on aura un écoulement "inertiel" pour $Ri < 1$ ou "flottant" pour $Ri > 1$. L'objectif est ici de déterminer l'évolution longitudinale des grandeurs qui caractérisent ce courant de densité (vitesse, masse volumique, et épaisseur) en régime permanent.

A partir des équations bilan (masse, quantité de mouvement et énergie) sur un volume de contrôle associé à une tranche de la couche du courant, nous établissons un système de trois équations différentielles ordinaires couplées, établies dans le cadre général "non-Boussinesq", permettant d'estimer théoriquement la variation longitudinale des trois quantités d'intérêt [2]. Ces équations n'admettant pas de solutions analytiques, elles sont résolues numériquement.

Dans le cas d'un courant initialement très inertiel ($Ri \ll 1$) les solutions sont continues et monotones entre l'injection et la sortie du domaine. En revanche, quand Ri croit vers l'unité avant la sortie du domaine, une singularité mathématique apparaît. Afin de pouvoir résoudre le modèle et retranscrire une physique correspondante à celle de l'entraînement, on introduit une discontinuité (semblable à celle bien connue dans l'étude d'un ressaut hydraulique [3]).

Parallèlement à cette approche théorique, nous avons réalisé des simulations LES avec le logiciel CALIF³S-ISIS qui confirment l'existence des deux régimes (monotones et non-monotones), en fonction de la valeur du nombre de Richardson à l'injection. Elles permettent par ailleurs de valider la capacité du modèle théorique à reproduire, avec un niveau de précision acceptable, l'évolution des vitesses, températures et épaisseur de la couche.

Références

- [1] R. Hanouzet, Propagation et mélange d'un fluide léger issu d'une source de flottabilité : application aux incendies dans les galeries souterraines à forte pente Thèse, Université d'Aix-Marseille, 2019.
- [2] Ellison, T. H. and Turner, J. S. Turbulent entrainment in stratified flows, J. Fluid Mech. 6 (1959) 423–448.
- [3] Wilkinson, D. L. and Wood, I. R. A rapidly varied flow phenomenon in a two-layer flow, J. Fluid Mech. 47 (1971) 241–256.

Écoulement potentiel couplé à une structure flexible : approche linéarisée appliquée au cas d'un dirigeable

R. LE MESTRE^a, J.S. SCHOTTÉ^a, O. DOARÉ^c

a. IMSIA, CNRS, ENSTA Paris, EDF, CEA, Institut Polytechnique de Paris, France,
robin.le-mestre@ensta-paris.fr

b. ONERA Châtillon, DAAA, France

c. IMSIA, CNRS, ENSTA Paris, EDF, CEA, Institut Polytechnique de Paris, France

1 Résumé

Alors que les structures de dirigeables deviennent plus légères et flexibles, le couplage dynamique avec le gaz porteur interne et l'écoulement externe s'accroît, comme par exemple la masse ajoutée par le fluide, et le comportement dynamique de structures à si grande échelle est difficile à prédire. Des études de la littérature ont prédit les déformations statiques induites par écoulement à l'aide de méthodes numériques de type RANS [1]. Cependant, de telles méthodes ne sont pas transposables à des problèmes dépendant du temps : leur coût deviendrait prohibitif. Ainsi, une hypothèse courante pour l'étude des dirigeables est celle du fluide potentiel [2]. L'objectif de cette étude est de résoudre l'écoulement potentiel couplé à une structure en mouvement, quelle que soit sa géométrie et ses mouvements. Pour cela, l'écoulement est obtenu à l'aide de la Méthode des Éléments de Frontière (Boundary Element Method, BEM) selon un formalisme Arbitraire Lagrangien Eulérien (ALE) afin de décrire les effets des déformations de l'interface. Afin d'obtenir des opérateurs BEM indépendants du temps, les variables de l'écoulement et les opérateurs sont linéarisés par rapport aux petites déformations élastiques de la structure. On peut ainsi calculer les efforts de pression du fluide sur la structure, comme illustré FIGURE 1, sous la forme de termes de raideur, d'amortissement et de masse ajoutés, exprimés sur une interface de référence indépendante du temps. De plus, les effets de circulation propres aux ailerons sont superposés à cette solution par linéarité afin de prendre en compte les effets de portance associés. L'approche linéaire permet une étude de stabilité aérodynamique. Des résultats préliminaires ont été obtenus, basés sur les équations fluide-structure projetées sur la base modale de la structure en vibration *in vacuo*. En fonction de la vitesse de l'écoulement, deux instabilités peuvent alors être observées : à faible vitesse, une instabilité statique par couplage entre mouvement de tangage et translation verticale. Au-delà d'une vitesse critique, les mouvements de tangage et translation verticale se couplent avec le premier mode de flexion longitudinal de la structure, avec pour conséquence une divergence par flottement du dirigeable.

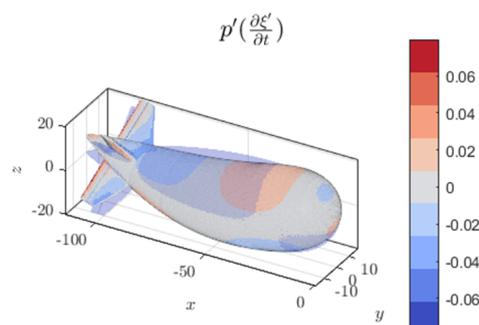


FIGURE 1 – Mode de flexion d'un dirigeable souple et fluctuation de pression (sans dimension) associée à la vitesse de la structure.

Mots clés : Interaction fluide-structure, Ecoulement potentiel, Arbitraire Lagrangien Eulérien, Méthode des Éléments de frontière, Dirigeable

Références

- [1] Wu, X., Wang, Y., Huang, C., Liu, Y. and L. Lu, Experiment and numerical simulation on the characteristics of fluid-structure interactions of non-rigid airships, *Theoretical and Applied Mechanics Letters* 5 (2015), 258-261.
- [2] Li, Y., Meyer, N. and Sharf, I., Airship dynamics modeling : A literature review, *Progress in Aerospace Sciences* (2011), 217-239.

Le mélangeur chaotique idéal existe-t-il ?

N. POUMAËRE, F. RAYNAL, B. PIER

Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique

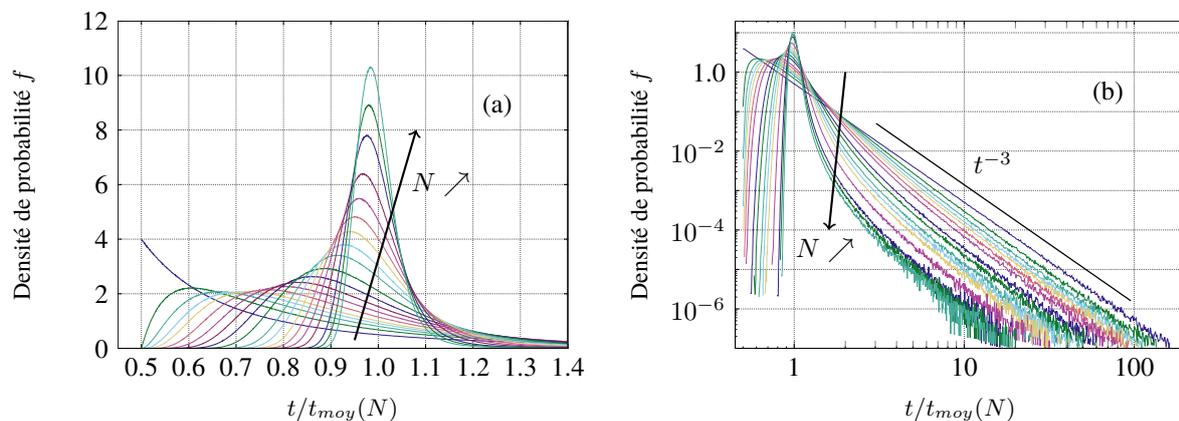
CNRS, Univ. Lyon, ECL, Univ. Claude Bernard Lyon 1, INSA Lyon, F-69134, France

Résumé

Le mélangeur idéal est-il réalisable ? Les mélangeurs statiques en ligne, à l'instar du Kenics[®], sont composés par la juxtaposition de N éléments identiques, réalisant par exemple la transformation du boulanger. Ils sont principalement caractérisés par (i) leur capacité à mélanger efficacement et (ii) leur distribution de temps de résidence - le temps t que met une particule fluide à traverser le mélangeur. Vis-à-vis de cette seconde propriété, le mélangeur idéal posséderait une distribution de temps de résidence correspondant à un Dirac, ou *a minima* à une gaussienne centrée sur le temps de résidence moyen dans le mélangeur.

À partir d'un modèle analytique simulant un comportement lagrangien totalement chaotique en écoulement de Poiseuille cylindrique, nous montrons que la distribution de temps de résidence $f(t)$ dans ce type d'écoulement suit une loi de Pareto [1], caractérisée par une « queue algébrique » en t^{-3} . Cette propriété, que l'on retrouve pour tous les écoulements réels à paroi [2], est conservée lorsque l'on additionne un nombre quelconque N d'éléments (voir figure). La persistance de cette queue algébrique montre l'impossibilité théorique, et *a fortiori* pratique, de réaliser un mélangeur à distribution gaussienne de temps de résidence. Cela est confirmé par une étude sur des mélangeurs réels.

Cette queue algébrique en t^{-3} entraîne également l'inexistence d'un moment d'ordre 2 pour ces distributions ($\int_{\Omega} t^2 f(t) dt = \infty$), ce qui rend discutable le fait de calculer un écart-type dans ce cas précis, puisque cette quantité diverge dans la limite des grands échantillons. Nous proposons en remplacement de l'écart-type d'autres outils permettant de caractériser plus finement des échantillons de temps de résidence, par exemple le moment relatif d'ordre 3/2 ou le temps de résidence médian.



Densités de probabilité des distributions de temps de résidence (normalisées par le temps de résidence moyen dans N éléments, $t_{moy}(N) = N t_{moy}(1)$) pour le modèle, pour $N = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 14, 20, 30, 50, 70, 100, 140, 200, 300, 500, 700$ et 1000 éléments ; (a) : échelle linéaire ; (b) : échelle logarithmique.

Mots clefs : chaos lagrangien, temps de résidence, lois de probabilité.

Références

- [1] C. M. RAMSAY, The distribution of sums of certain I.I.D. Pareto variates, *Communications in Statistics - Theory and Methods* (2006), DOI : 10.1080/03610920500476325
- [2] F. RAYNAL, P. CARRIÈRE, The distribution of “time of flight” in three dimensional stationary chaotic advection, *Physics of Fluids* (2015), DOI : 10.1063/1.4918750

A relevant phase-field-based lattice-Boltzmann method for water-air capillary interfaces

N. Younes, Z. Benseghier, O. Millet

LaSIE, UMR CNRS 7356, University of La Rochelle, 17042 La Rochelle Cedex 1, France.

Emails : nabil.younes@univ-lr.fr ; zeyd.benseghier@univ-lr.fr ; olivier.millet@univ-lr.fr

1 Abstract

In this study, we investigate the shapes of capillary bridges between two identical spherical solid grains, in an air-water system, using the Lattice Boltzmann Method (LBM). The model used consists in solving the Navier-Stokes equation (NSE) for the bulk fluids and Allen-Cahn equation (ACE) for tracking the interface between water and air [1, 2]. By taking advantage of the simplicity of parallelizing the LBM, all the simulations are carried out in Graphical Processing Units (GPUs). At the equilibrium of an LBM simulation, we analyze the profiles of capillary bridges between two spherical particles for several separation distances. To do so, the mean curvature H is computed and compared to experimental and theoretical results, as represented in Figure 1. The comparison revealed a very good agreement [3], especially in catching the inversion of the sign of H (positive to negative) which corresponds to a switching of shapes between a portion of nodoid to a portion of undoloid [4]. The provided findings confirm that LBM is a powerful tool for treating capillary bridges and may be considered as a promising tool to study more complex granular systems.

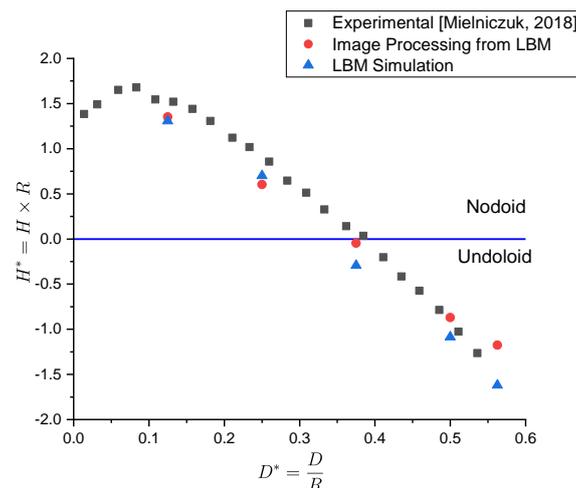


FIGURE 1 – Dimensionless mean curvature H^* vs. D^* dimensionless separation distances between two particle grains

Keywords : Lattice Boltzmann Method (LBM), Capillary bridges, Graphical Processing Units (GPUs).

Références

- [1] Hong LIANG et al. “Phase-field-based lattice Boltzmann modeling of large-density-ratio two-phase flows”. *Physical Review E* 97.3 (2018), p. 033309.
- [2] Hong LIANG et al. “Lattice Boltzmann method for contact-line motion of binary fluids with high density ratio”. *Physical Review E* 99.6 (2019), p. 063306.
- [3] Boleslaw MIELNICZUK et al. “Characterisation of pendular capillary bridges derived from experimental data using inverse problem method”. *Granular Matter* 20.1 (2018), p. 1-11.
- [4] Gérard GAGNEUX et Olivier MILLET. “Analytic calculation of capillary bridge properties deduced as an inverse problem from experimental data”. *Transport in porous media* 105.1 (2014), p. 117-139.

Dynamique de l'écoulement autour d'un cylindre vertical partiellement immergé soumis à l'action d'un courant et/ou de la houle

V. AGEORGES^a, W. ANISZEWSKI^b, G. PERRET^a, J. PEIXINHO^{a,c},
V. MOUREAU^b

a. Laboratoire Ondes et Milieux Complexes, (LOMC) CNRS et Université Le Havre Normandie : UMR6294, valentin.ageorges@univ-lehavre.fr

b. COMplexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie (CORIA) CNRS et Université de Rouen Normandie : UMR6614

c. Laboratoire Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux [Paris] (PIMM) Arts et Métiers, CNAM, Hésam Université, CNRS : UMR8006

...

1 Résumé

Toute structure immergée en zone côtière subit les efforts liés aux courants marins et à la houle. La quantification de ces efforts est un enjeu majeur pour la filière d'énergies marines renouvelables. Dans certaines conditions, les déformations de la surface libre autour de la structure sont suffisamment importantes pour que celle-ci se rompe et génère l'inclusion de bulles d'air dans le sillage.

Les efforts de traînée de cylindres de diamètre D , partiellement immergés, soumis à un courant uniforme seul, de vitesse U ont été caractérisés expérimentalement et numériquement [1]. Numériquement, les simulations ont été réalisées à l'aide du code de calcul YALES2 basé sur le couplage d'une méthode des volumes finis et d'une méthode level-set pour la modélisation de l'interface. Ce travail a mis en regard la chute du coefficient de traînée avec l'augmentation des nombres de Froude $Fr = U/\sqrt{gD}$ et de Reynolds $Re=UD/\nu$, et les phénomènes d'entraînement d'air [2]. Il existe une coïncidence entre l'évolution du coefficient de traînée, la dynamique de la surface libre décrite par la théorie des ondes capillaro-gravitaires [3, 4] et la dynamique tourbillonnaire sous la surface. En particulier, lorsque le coefficient de traînée chute, la surface libre montre une structure en V derrière le cylindre et l'émission tourbillonnaire sous la surface est inhibée.

La houle fait apparaître un caractère oscillatoire à l'écoulement autour du cylindre, générant un terme inertiel en plus de celui de traînée auparavant considéré pour l'estimation de l'effort axial. L'effet combiné des deux, pose de nouvelles questions liées à la génération de tourbillons, aux processus d'entraînement d'air autour du cylindre et aux efforts exercés sur le cylindre. L'effort axial s'appliquant sur un objet soumis à un écoulement oscillant peut être estimé par l'équation de MOJS (Morison, O'Brien, Johnson and Schaaf) [5], mais il est important de noter que cette formule empirique ne tient pas compte des effets de proximité de surface libre.

L'objectif principal de ces travaux consiste à établir le lien entre les efforts liés à la houle et/ou au courant, des effets dus à la proximité de la surface libre et des phénomènes d'entraînement d'air.

Mots-clés : Surface libre, Efforts de traînée, Coefficient de traînée, Coefficient inertiel.

Références

- [1] V. Ageorges, Écoulement et entraînement d'air autour d'un cylindre vertical partiellement immergé, Thèse, Université Le Havre Normandie, 2019
- [2] V. Ageorges, J. Peixinho, G. Perret, Flow and air-entrainment around partially submerged vertical cylinders, *Physical Review Fluids*, 4.6 (2019) 064801
- [3] A.M. Binnie, Solutions of the fish-line problem at intermediate velocities, *British Journal of Applied Physics*, 16.11 (1965) 1755
- [4] F. Moisy, M. Rabaud, Mach-like capillary-gravity wakes, *Physical Review E*, 90.2 (2014) 023009
- [5] Morison, JR and Johnson, JW and Schaaf, SA and others, The force exerted by surface waves on piles, *Journal of Petroleum Technology*, 1950, pp. 149–154

Turbulence inhomogène et isotrope des écoulements incompressibles à densité variable

Loïc Reynier^{a,b}, Bastien Di Pierro^{a,b}, Frédéric Alizard^{a,b}

a. Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, b. Université Lyon1

Qu'ils soient issus de dispositifs industriels ou de phénomènes naturels, les rejets atmosphériques génèrent une pollution aérienne pouvant contaminer une grande étendue spatiale. Ces écoulements sont généralement lents (devant la vitesse du son) mais présentent de fortes variations de masse volumique.

Cette étude vise à comprendre comment les variations de masse volumique influencent la dynamique turbulente d'un écoulement incompressible. Pour cela, une formulation originale a été adoptée où la masse volumique est traitée comme un scalaire *actif* de l'écoulement alors que le champs de vitesse conserve son caractère incompressible [2]. Les équations sont résolues par un solveur parallèle de précision spectrale [1] et la turbulence est forcée par l'injection d'un terme source dans les équations de la dynamique [3]. Le modèle numérique est validé par reproduction des résultats connus de la littérature à densité constante [4]. Les premiers résultats à densité variable obtenus par analyses statistiques de simulations DNS (figure 1) montrent que le spectre caractéristique de Kolmogorov en $k^{-5/3}$ est préservé tandis que les fonctions de densité de probabilité sont fortement impactées. Cette dissymétrisation de l'écoulement serait due à des effets inertiels supplémentaires au sein de l'écoulement à de petites échelles.

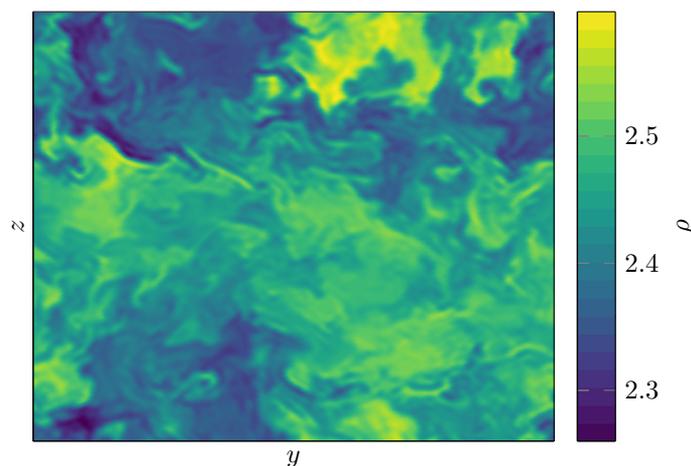


FIGURE 1 – Champs de densité lors d'une simulation turbulence inhomogène isotrope dans une boîte de taille $2\pi \times 2\pi \times 2\pi$ avec un maillage $256 \times 256 \times 256$. $Re = 1000$, $Sc = 1$, $s = \rho_{0,max}/\rho_{0,min} = 4$.

Mots clefs : Mécanique des Fluides, Mécanique des Fluides incompressible, Turbulence, Turbulence Homogène Isotrope, Turbulence Inhomogène Isotrope, Simulation Numérique Directe

Références

- [1] Bastien DI PIERRO et Malek ABID. "A projection method for the spectral solution of non-homogeneous and incompressible Navier-Stokes equations". Dans : *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 71.8 (juin 2012), p. 1029-1054.
- [2] F. GUILLÉN-GONZÁLEZ, P. DAMÁZIO et M. A. ROJAS-MEDAR. "Approximation by an iterative method for regular solutions for incompressible fluids with mass diffusion". Dans : *Journal of Mathematical Analysis and Applications* 326.1 (fév. 2007), p. 468-487.
- [3] T.S. LUNDRGEN. *Linearly forced isotropic turbulence*. Rapp. tech. NASA Center for Turbulence Research, 2003.
- [4] A. VINCENT et M. MENEGUZZI. "The spatial structure and statistical properties of homogeneous turbulence". Dans : *Journal of Fluid Mechanics* 225 (avr. 1991), p. 1-20.

Modélisation numérique du malaxage de fluides chargés

Q. THOMAS^a, E. ARQUIS^b, M. AZAIEZ^c

a) : Université de Bordeaux étudiant I2M, quentin.thomas@u-bordeaux.fr, b) : Bordeaux INP et I2M, azaiez@bordeaux-inp.fr, c) : Bordeaux INP et I2M, arquis@bordeaux-inp.fr

1 Résumé

La technologie de malaxage RAM (ResonantAcoustic[®] Mixing) est une approche unique de la manière de mélanger. Ce procédé génère, à l'aide d'un système mécanique fonctionnant à ou près des fréquences de résonance du mécanisme, un mouvement vibratoire à un réservoir contenant un ou plusieurs fluides. Les vibrations imposées permettent l'expression de l'instabilité de Faraday, entraînant un mixage plus ou moins intense selon les propriétés du système. Le mélangeur de type RAM est caractérisé par l'utilisation donc d'une méthode non intrusive basée sur l'oscillation rapide du système. Il est composé d'un châssis contenant des ressorts et trois masses, d'un amortisseur et d'un moteur permettant la mise en mouvement d'un plateau sur lequel se trouve un système de fixation adapté à des récipients de petits volumes, présenté sur la figure suivante.

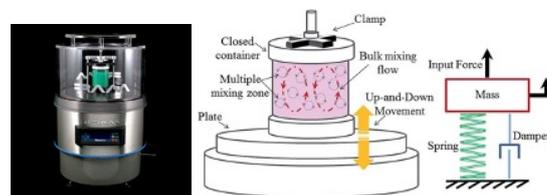


FIGURE 1 – Présentation d'un exemple de mélangeur RAM

Une des difficultés essentielles présentes dans le processus du mélange concerne la dynamique et la topologie complexe des interfaces. Des surfaces souvent de formes extrêmement complexes et façonnées par la dynamique, comme par exemple lors de l'éclatement, ou lors de la formation de microstructures dans les mélanges. Le but de cette contribution est de présenter quelques stratégies de choix de méthodes de suivi d'interfaces et de leurs capacités et limites à reproduire les comportements les plus proches de la réalité physique. Nous présenterons le modèle mathématique qui rentre dans le cadre des équations de Navier-Stokes pour des fluides incompressibles. Nous expliquerons la modélisation de la vibration par le biais de forces volumiques. La description des différentes étapes d'approximation spatio-temporelle sera décrite. Enfin plusieurs expérimentations numériques seront discutées.

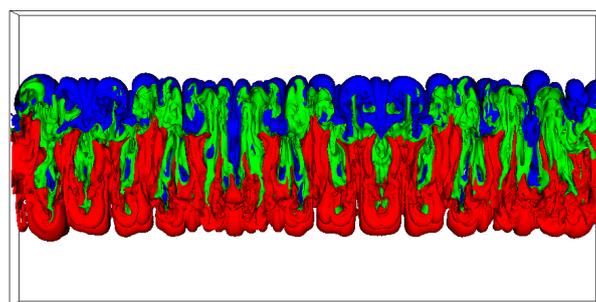


FIGURE 2 – Isovaleurs de la fraction volumique de poudre au cours d'un mixage vibratoire (valeurs : bleu 25%, vert 50%, rouge 75%)

Mots clés : Navier-Stokes, Mixage, Instabilité de Faraday, Suspension, fluide diphasique, CFD

Références

- [1] A. Briard, L. Gostiaux, B.J. Gréa, The turbulent Faraday instability in miscible fluids, J. Fluid Mech., 883 (2020) A57
- [2] R.J. Phillips, R.C. Armstrong, R.A. Brown, A.L. Graham, J.R. Abbott, A constitutive equation for concentrated suspensions that accounts for shear-induced particle migration, Phys. Fluids, A 4 (1992) 30-40

Stabilité temporelle des écoulements non-visqueux cisailés à masse volumique variable : approche théorique

C. JACQUES-YASSINE^{ab}, B. DI PIERRO^{ab}, M. BUFFAT^{ab}

a. Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique (LMFA), UMR 5509

b. Université Claude Bernard Lyon 1 (UCBLyon1)

Les rejets atmosphériques (*e.g* éjection de gaz de cheminée) sont de plus en plus nombreux [1] et sont souvent sujets à de grandes variations de masse. Ces écoulements cisailés et hétérogènes (supposés incompressibles) sous forme de couche de mélange ou de jet, sont généralement étudiés en supposant la masse volumique comme étant un scalaire passif de l'écoulement [2]. Cette hypothèse est toutefois remise en question lorsque le gradient de masse volumique est important, entraînant une modification de la dynamique inertielle de l'écoulement [3], définissant notre prisme de recherche. On étudie ici la stabilité temporelle de la dynamique non-visqueuse autour d'un écoulement de base ouvert, bidimensionnel, parallèle et stationnaire de vitesse U et de masse volumique ρ . En introduisant la fonction de courant de la perturbation ψ , on obtient l'équation régissant la solution instable du problème :

$$\psi'' + \frac{\rho'}{\rho}\psi' - \left(\frac{U''}{U - \frac{\omega}{k}} + \frac{\rho'U'}{\rho \left(U - \frac{\omega}{k} \right)} + k^2 \right) = 0 \quad (1)$$

avec k, ω respectivement le nombre et la pulsation de l'onde. Cette équation est une extension de celle obtenue par Rayleigh en 1879 (cas homogène) puis Goldstein et Taylor en 1931 (cas hétérogène avec approximation de boussinesq). Il n'existe pas de solution analytique à cette équation mais elle est le point de départ des résultats théoriques obtenus ici. En utilisant la même démarche que celles proposées par Rayleigh [4] et Fjortoft [5] pour démontrer les théorèmes éponymes, les critères d'instabilités des écoulements sont obtenus et montrent l'importance des gradients de masse volumique et de vitesse couplés. Par une analyse asymptotique de cette équation analogue à celle de Drazin [6], le taux de croissance pour de faibles nombre d'onde est obtenu avec une forte dépendance du rapport de masse volumique. De plus, on détermine le nombre d'onde critique au delà duquel aucune instabilité n'est possible. Finalement, la relation de dispersion est obtenue par extension des approches de Drazin [7] et Yu [8] en considérant des profils de vitesses linéaires par morceaux et des variations de masse volumique continus par morceau pour les deux types de configurations : couche de mélange et jet.

Mots clefs : Stabilité temporelle, écoulement hétérogènes, écoulements non-visqueux, analyse théorique

Références

- [1] O. EDENHOFER, *IPCC, 2014 : Climate change 2014 : mitigation of climate change. Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York, NY : CUP, 2014.
- [2] S. GOLDSTEIN et al. "On the stability of superposed streams of Fluids of different densities". In : *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character* 132.820 (1931), p. 524-548.
- [3] S. RAVIER. "Étude des instabilités d'un jet plan à masse volumique variable". Thèse de doct. Université de la Méditerranée - Aix-Marseille II, juin 2004.
- [4] L. RAYLEIGH. "On the Stability, or Instability, of certain Fluid Motions". In : *Proc. London Math. Soc.* s1-11.1 (nov. 1879), p. 57-72.
- [5] R. FJØRTOFT. *Application of integral theorems in deriving criteria of stability for laminar flows and for the baroclinic circular vortex*. Grøndahl & søns boktr., I kommisjon hos Cammermeyers boghandel, 1950.
- [6] P. G. DRAZIN et al. "The instability to long waves of unbounded parallel inviscid flow". In : *J. Fluid Mech.* 14.2 (oct. 1962), p. 257-283.
- [7] P. G. DRAZIN et al. *Hydrodynamic stability*. Cambridge, UK New York : CUP, 2004.
- [8] M.-H. YU et al. "The effect of nonuniform density on the absolute instability of two-dimensional inertial jets and wakes". In : *Phys. Fluids* 2.7 (juill. 1990), p. 1175-1181.

Dynamique de l'écoulement autour d'un cylindre vertical partiellement immergé soumis à l'action d'un courant et/ou de la houle

V. AGEORGES^a, W. ANISZEWSKI^b, G. PERRET^a, J. PEIXINHO^{a,c},
V. MOUREAU^b

a. Laboratoire Ondes et Milieux Complexes, (LOMC) CNRS et Université Le Havre Normandie : UMR6294, valentin.ageorges@univ-lehavre.fr

b. COMplexe de Recherche Interprofessionnel en Aérothermochimie (CORIA) CNRS et Université de Rouen Normandie : UMR6614

c. Laboratoire Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux [Paris] (PIMM) Arts et Métiers, CNAM, Hésam Université, CNRS : UMR8006

...

1 Résumé

Toute structure immergée en zone côtière subit les efforts liés aux courants marins et à la houle. La quantification de ces efforts est un enjeu majeur pour la filière d'énergies marines renouvelables. Dans certaines conditions, les déformations de la surface libre autour de la structure sont suffisamment importantes pour que celle-ci se rompe et génère l'inclusion de bulles d'air dans le sillage. Ces phénomènes d'entraînement d'air impactent les efforts subis par la structure.

Les efforts de traînée de cylindres de diamètre D , partiellement immergés, soumis à un courant uniforme seul, de vitesse U ont été caractérisés expérimentalement et numériquement [?]. Numériquement, les simulations ont été réalisées à l'aide du code de calcul YALES2 basé sur le couplage d'une méthode des volumes finis et d'une méthode level-set pour la modélisation de l'interface. Ce travail a mis en regard la chute du coefficient de traînée avec l'augmentation des nombres de Froude $Fr = U/\sqrt{gD}$ et de Reynolds $Re=UD/\nu$, et les phénomènes d'entraînement d'air [?]. Il existe une coïncidence entre l'évolution du coefficient de traînée, la dynamique de la surface libre décrite par la théorie des ondes capillaro-gravitaires [?, ?] et la dynamique tourbillonnaire sous la surface. En particulier, lorsque le coefficient de traînée chute, la surface libre montre une structure en V derrière le cylindre et l'émission tourbillonnaire sous la surface est inhibée.

La houle fait apparaître un caractère oscillatoire à l'écoulement autour du cylindre, générant un terme inertiel en plus de celui de traînée auparavant considéré pour l'estimation de l'effort axial. L'effet combiné des deux, pose de nouvelles questions liées à la génération de tourbillons, aux processus d'entraînement d'air autour du cylindre et aux efforts exercés sur le cylindre. L'effort axial s'appliquant sur un objet soumis à un écoulement oscillant peut être estimé par l'équation de MOJS (Morison, O'Brien, Johnson and Schaaf) [?], mais il est important de noter que cette formule empirique ne tient pas compte des effets de proximité de surface libre.

L'objectif principal de ces travaux consiste à établir le lien entre les efforts liés à la houle et/ou au courant, des effets dus à la proximité de la surface libre et des phénomènes d'entraînement d'air.

Mots-clés : Surface libre, Efforts de traînée, Coefficient de traînée, Coefficient inertiel.

Références

- [1] V. Ageorges, Écoulement et entraînement d'air autour d'un cylindre vertical partiellement immergé, Thèse, Université Le Havre Normandie, 2019
- [2] V.Ageorges, J.Peixinho, G.Perret, Flow and air-entrainment around partially submerged vertical cylinders, Physical Review Fluids, 4.6 (2019) 064801

- [3] A.M. Binnie, Solutions of the fish-line problem at intermediate velocities, *British Journal of Applied Physics*, 16.11 (1965) 1755
- [4] F. Moisy, M. Rabaud, Mach-like capillary-gravity wakes, *Physical Review E*, 90.2 (2014) 023009
- [5] Morison, JR and Johnson, JW and Schaaf, SA and others, The force exerted by surface waves on piles, *Journal of Petroleum Technology*, 1950, pp. 149–154

Measuring The Heat Transfer Coefficients In Anisotropic Carbon

Fiber Felt

S.LIU^a, J. LACHAUD^b, A.AHMADI^a, H.SCANDELLI^a, C.LEVET^a,

a. Arts et Metiers Institute of Technology, University of Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, INRAE, I2M
Bordeaux, F-33400 Talence, France.

b. University of Bordeaux, CNRS, Arts et Metiers Institute of Technology, Bordeaux INP, INRAE, I2M
Bordeaux, F-33400 Talence, France.

1 Abstract

The application of thermal protection system (TPS) to spacecraft has received great attention in industrial fields. Carbon fiber felt is widely used in TPS systems due to its high porosity and low thermal conductivity [1]. It is an anisotropic material. In local thermal non-equilibrium (LTNE) models, the heat transfer coefficient (HTC) is used to represent the internal heat exchange between the fluid and solid phases. Some correlations for metal foam, packed beds and ceramic foam are obtained for prediction of the HTC [2]. However these correlations are not suitable for carbon fiber felt due to its geometric parameters (smaller fiber diameter ($50 \mu\text{m}$), lower thermal conductivity ($0.23\text{W}/(\text{m}^3 \text{K}))$) and structural characteristics (anisotropic). In this work, an inverse method was used to determine the anisotropic HTC between gas stream and carbon fiber felt. This method consists of three steps, experimental research, macroscopic numerical simulation and error minimization. The transient single-blow technique (TSBT) is used in the experiment. To research the anisotropic of the materials, different experiments were performed by changing the orientation of the sample (Through-Thickness (TT), In-Plane (IP)). The inlet gas velocity varying from 0.23m/s to 0.94m/s . Next, the experimental data are input into the macroscopic simulation process as initial conditions and boundary conditions. The computational area includes fluid (gas flow in the tube) and solid (porous Material) domain. The governing conservation equations of energy are solved using a finite volume method in the Porous material Analysis Toolbox based on OpenFoam (PATO) [3]. Besides, the thermocouple model is build to compute the temperature difference between the gas and the thermocouple probe. At last, a method about minimizing the error between calculated and measured temperatures is introduced, so that we can get the most suitable value of HTC. When we change the orientation of the sample. With the same condition, different values of the HTC were founded. To take explicitly into account the flow direction, a new formviation with a vector HTC have been proposed. This hypothesis will be verified from the pore-scale simulation in the future.

Keywords : Carbon fiber felt ; Anisotropic materials ; Macroscopic numerical simulations ; error minimization

Références

- [1] Panerai F, White J D, Cochell T J, Experimental measurements of the permeability of fibrous carbon at high-temperature, International Journal of Heat and Mass Transfer, 101 (2016) 267–273.
- [2] Younis L B, Viskanta R, Experimental determination of the volumetric heat transfer coefficient between stream of air and ceramic foam, International Journal of Heat and Mass Transfer, 36 (1993) 1425–1434.
- [3] J. Lachaud and N.N. Mansour. Porous-material analysis toolbox based on openfoam and applications, Journal of Thermophysics and Heat Transfer, 28 (2014) 191–202.

Étude théorique de l'effet d'un faible courant sur les interactions houle/membrane flexible : application à la récupération d'énergie

N. ACHOUR^a, J. MOUGEL^a, D. FABRE^a

a. Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT), Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France.
nabil.achour@imft.fr ; jerome.mougel@imft.fr ; david.fabre@imft.fr

1 Résumé

Dans la perspective de l'utilisation de structures flexibles pour la récupération d'énergies renouvelables, nous nous intéressons dans cette étude [1] à l'effet d'un faible courant sur les performances d'un récupérateur d'énergie de la houle par une membrane flexible. La configuration étudiée théoriquement correspond au forçage par une houle incidente monochromatique, d'une membrane flexible immergée parallèlement à la surface libre en présence d'un courant et reliée à un amortisseur linéaire ponctuel modélisant l'extraction d'énergie. L'effet de l'écoulement incident (vagues/courant) sur l'efficacité de la récupération d'énergie est étudié pour un récupérateur aux caractéristiques données (immersion, propriétés structurelles et dimensions fixées). L'étude révèle notamment que la présence d'un faible courant peut augmenter significativement l'efficacité de la récupération d'énergie des vagues.

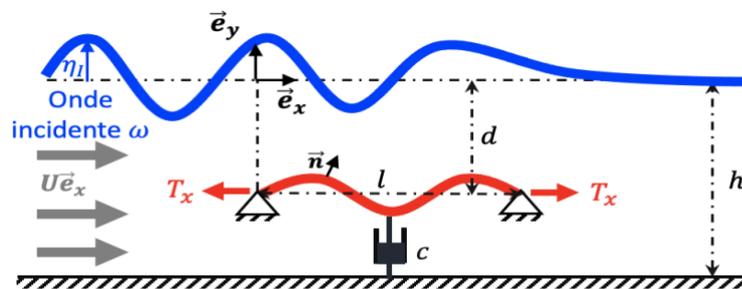


FIGURE 1 : Représentation schématique du problème étudié

Mots clefs : Interaction fluide-structure, Interaction ondes/courant, Récupération d'énergie.

Références

[1] A. Nabil, M. Jérôme, L-J. David, & F. David. Étude théorique de l'effet d'un faible courant sur les interactions houle/membrane flexible : application à la récupération d'énergie. Revue Paralia, 2020, p. 495-504.

Effet du débit sur le bruit propre d'un étage soufflante/redresseur en régime d'approche

J. Al-Am^a, V. Clair^a, A. Giauque^a, J. Boudet^a, F. Gea-Aguilera^b

a. Univ Lyon, École Centrale de Lyon, INSA Lyon, Université Claude Bernard Lyon I, CNRS, Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR 5509, 36 Avenue Guy de Collongue, F-69134, Ecully, France.
jean.al-am@ec-lyon.fr

b. Safran Aircraft Engines, 77550 Moissy-Cramayel, France. fernando.gea-aguilera@safrangroup.com

1 Introduction

La formation d'une bulle de recirculation est souvent observée sur les pales de turbomachines en régime partiel. Pour ces régimes, la vitesse de l'écoulement est réduite, entraînant des angles d'attaque importants au niveau du bord d'attaque (BA) de la soufflante, et générant une séparation locale de l'écoulement et la formation d'une bulle de recirculation. Cette bulle a une composante instationnaire importante, contribuant donc au du bruit propre de l'étage. La réduction du bruit généré par l'étage soufflante des turbomachines étant une problématique importante, ce mécanisme doit être étudié. Dans ce travail, l'effet du débit sur les caractéristiques de la bulle et sur le bruit associé à celle-ci sont analysés par des simulations grandes échelles (SGE).

2 Instructions

Les SGE sont effectuées avec le solveur fluide AVBP [2] sur une tranche radiale d'un secteur périodique de l'étage soufflante/redresseur ECL5 conçu à l'école Centrale de Lyon. Le maillage non structuré est constitué de prismes et de tétraèdres, et est dimensionné à partir de critères turbulents et acoustiques [1]. La figure 1 (gauche) montre les structures turbulentes autour du rotor à travers la représentation d'une iso-surface du critère Q colorée par la vitesse axiale. Une zone de séparation est observée proche du BA montrant la présence d'une bulle de recirculation. L'effet du débit sur les caractéristiques de cette bulle est étudié au travers de quatre SGE résolues en paroi pour des débits de 19Kg/s à 22Kg/s. La distribution du coefficient de pression est tracée dans la Figure 1 (droite) pour les différents débits. Un plateau peut être directement observé proche du BA montrant la présence de la bulle. La grande variabilité de l'extension de la bulle en fonction du point de fonctionnement montre la sensibilité du phénomène par rapport au débit.

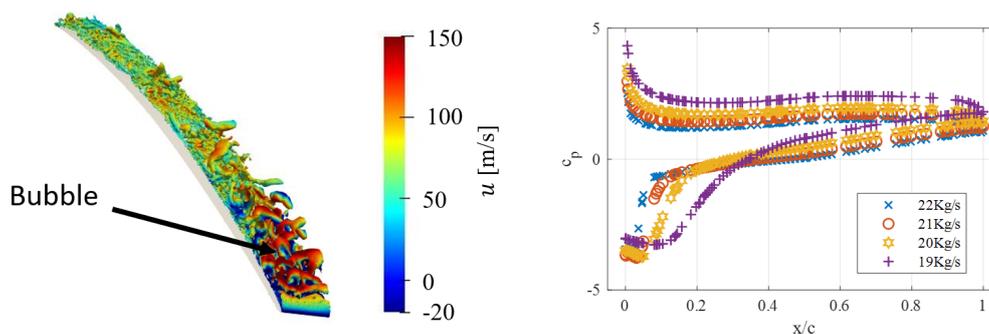


FIGURE 1 – Iso-surface du critère Q colorée par la vitesse axiale u (gauche) et C_p autour du rotor (droite).

Mots clefs : Turbomachines, aéroacoustiques, turbulence, simulations aux grandes échelles.

Références

- [1] Jean Al-Am, Vincent Clair, Alexis Giauque, Jérôme Boudet, and Fernando Gea-Aguilera. A parametric study on the numerical setup to investigate fan/ogv broadband noise. *International Journal of Turbomachinery, Propulsion and Power*, 6(2) :12, 2021.
- [2] Thilo Schonfeld and Michael Rudgyard. Steady and unsteady flow simulations using the hybrid flow solver avbp. *AIAA journal*, 37(11) :1378–1385, 1999.

Une méthode de décomposition équilibrée des bassins versants

Application à HEC-RAS

S. HARIRI ^a, S. WEILL ^b, J. GUSTEDT ^{a,c}, I. CHARPENTIER ^a

a. ICube UMR 7357, Université de Strasbourg and CNRS, 67412 Illkirch, France

b. ITES, UMR 7063, Université de Strasbourg, CNRS and ENGEES, 67084 Strasbourg, France

c. INRIA, France

1 Introduction

L'application des modèles hydrologiques aux bassins versants à grande échelle est coûteuse en temps et en mémoire. Le couplage des méthodes de décomposition de domaine avec des techniques de parallélisme offre des possibilités de calculs plus rapides, tant qu'un certain équilibre entre les tâches est maintenu. A partir d'un modèle numérique de terrain et de l'exutoire d'un bassin, nous proposons un outil SIG permettant de générer une partition équilibrée des bassins versants [1]. Le logiciel HEC-RAS est choisi pour l'application hydrologique. Des simulations numériques d'un bassin versant rural évaluent les propriétés de la décomposition de domaine et montrent les gains potentiels de la méthode en matière de calcul parallèle.

2 Méthodes

En général, la partition du bassin versant est effectuée aux confluences des cours d'eau [2]. Cette méthode n'est pas en mesure de garantir une décomposition équilibrée en sous-unités hydrologiques d'aires semblables. Les systèmes linéaires résultants sont alors de tailles très différentes ce qui réduit l'efficacité d'une méthode de décomposition de domaine exécutée sur une machine parallèle.

Ceci a motivé notre conception d'une nouvelle méthode de partition qui répartit équitablement la surface entre les sous-domaines. Notre méthode est basée sur l'information de l'accumulation de flux, permettant de délimiter un bassin, puis de le décomposer en deux sous-bassins de surface similaire. Les gains en temps de calcul sont évalués sur des simulations 2D en couplant la méthode de décomposition de domaine avec HEC-RAS 2D. La séquence de décomposition du domaine et les communications sont automatisées au moyen d'un script (Virtual Basic Application) écrit en utilisant les fonctions de l'outil HECRAS Controller. L'application de la méthode de décomposition équilibrée dans HEC-RAS a montré une performance supérieure à celle de la décomposition aux confluences. Pour notre cas d'étude, la méthode de décomposition équilibrée réduit de 50 % le temps de calcul nécessaire pour la simulation d'un bassin versant lorsqu'il est décomposé en 8 sous-domaines.

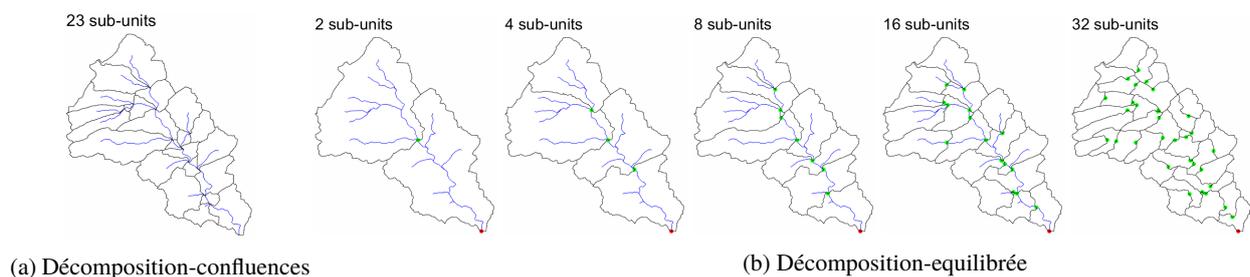


FIGURE 1 – Méthodes de décomposition de domaine

Mots clefs : partition équilibrée, sous-domaines, systèmes linéaires, parallélisme, HEC-RAS 2D

Références

- [1] Hariri. Sleimane, Weill. Sylvain, Gustedt. Jens, Charpentier. Isabelle, A balanced watershed decomposition method Application to HEC-RAS 2021,
- [2] T. K. Apostolopoulos, K. P. Georgakakos, Parallel computation for streamflow prediction with distributed hydrologic models, Journal of Hydrology 197 (1-4) (1997) 1–24,

Étude expérimentale du comportement de particules colloïdales confinées dans une gouttelette microfluidique

L. CHAGOT*, M. KALLI and P. ANGELI

ThAMeS Multiphase, Department of Chemical Engineering, University College London, UK

*l.chagot@ucl.ac.uk

L'utilisation de particules pour remplacer l'usage de surfactants comme agent de surface actif lors de la formation de gouttelettes peut être privilégié afin d'améliorer leur stabilité [1,2]. En général, il est supposé que les particules suivent un mouvement Brownien à l'intérieur d'un milieu liquide. Cependant, comme illustré expérimentalement par Ghosh et al. [3] pour des micro-cylindres, si les particules sont confinées, leur comportement peut être modifié. Ce résultat a aussi été observé numériquement par Li et al. [4] pour des particules sphériques ou cylindriques à l'intérieur d'une cavité sphérique rigide. Ces dernières années, la micro-fluidique a donné lieu à de nombreuses études sur la génération et le contrôle des gouttelettes. Cependant, la dynamique de particules confinées dans des gouttelettes générées dans des micro-canaux reste très peu documentée. Dans cette étude, le déplacement de particules colloïdales à l'intérieur d'une gouttelette au repos a été étudié en utilisant des particules de polystyrène fluorescentes (avec une absorbance de 532 nm et une émission de 612 nm) illuminées par un laser continu. Ce dispositif expérimental permet de suivre l'évolution temporelle et spatiale des particules à l'intérieur de la gouttelette. Différentes concentrations ont été étudiées. Les gouttelettes ont été générées à l'intérieur d'un micro-canal en verre (avec une largeur de 390 μm et une hauteur de 190 μm) et capturées grâce à un système de valves bloquantes. Pour suivre les particules, des images ont été prises à l'aide d'une caméra haute résolution (2048 \times 2048 pixels) équipée d'une lentille microscopique ($\times 20$). Les trajectoires des particules ont permis de calculer l'écart type des déplacements des composantes radiale et tangentielle permettant ainsi d'évaluer la diffusivité des particules. Les résultats montrent que la diffusivité, et plus particulièrement sa composante tangentielle, est très fortement influencée par la concentration en particules et/ou par le positionnement de ces particules dans la gouttelette.

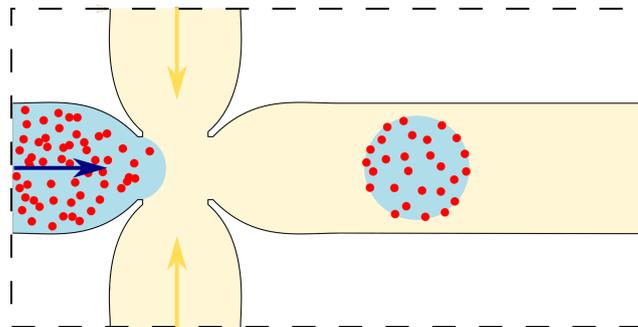


FIGURE 1 – Schéma du microcanal permettant de générer les micro-gouttelettes (environ 120 μm de rayon)ensemencées de particules colloïdales (1.6 μm de rayon).

Mots clefs : microcanaux, gouttelette, particules coloïdales, effet de confinement, mouvement brownien.

Références

- [1] Ridel, L., Bolzinger, M., Gilon-Delepine, N., Dugas, P., Chevalier, Y. Pickering emulsions stabilized by charged nano-particles, *Soft Matter*, (2016) 12, 7564.
- [2] Albery, C., Beladjine, M., Tsapis, N., Fat-tal, E., Agnely F., Huang N. Pickering emulsions : Preparation processes, key parameters governing their properties and potential for pharmaceutical applications (2019) 309 :302-332
- [3] Ghosh, S., Wijnperlé, D., Mugele, F., Duits, M. H. G. Dynamics of col-lids in microcylinders, *Soft Matter*, (2016) 12, 1621
- [4] Li, J., Jiang, X., Singh, A., Heinonen, O. G., Hernández-Ortiz, J. P., de Pablo, J. J. Structure and dynamics of hydrody-namically interacting finite-size Brownian particles in a spherical cavity : Spheres and cylinders, *J. Chem. Phys.*, (2020) 152. 204109

Modélisations numériques des systèmes d'équilibre de l'oreille interne

M. BLAISE^a, D. BAUMGARTNER^{a,b}, A. CHARPIOT^{a,c}

a. Laboratoire ICube, UMR 7357, Université de Strasbourg – manon.blaise@icube.unistra.fr

b. Télécom Physique Strasbourg, Illkirch-Graffenstaden – daniel.baumgartner@unistra.fr

c. Service ORL, Hôpital universitaire Hautepierre de Strasbourg – anne.charpiot@chru-strasbourg.fr

1 Résumé

L'équilibre de l'homme se traduit par la stabilisation de son corps et de son regard dans l'espace dans lequel il évolue. Cette stabilisation résulte du traitement central des informations sensorielles recueillies par (i) les récepteurs vestibulaires de l'oreille interne, (ii) les récepteurs visuels et (iii) les récepteurs proprioceptifs de la peau et des chaînes musculaires. En particulier, une stimulation de l'oreille interne engendre un mouvement de l'œil dans son orbite afin de conserver une image fixe sur la rétine lorsque la tête ou le corps de l'individu sont en mouvement. Ce réflexe vestibulo-oculaire (RVO) est une composante quantifiable du système de l'équilibre vestibulaire. Dès lors que le vestibule est déficient, l'information sensorielle afférente est erronée et il en résulte des saccades oculaires qui traduisent une sensation d'instabilité et ce que l'on appelle communément des « vertiges ». En particulier, un déséquilibre pressionnel des fluides de l'oreille interne peut constituer un des facteurs déclenchant de ces vertiges. Pour autant, la biomécanique des structures de l'oreille interne et la physiopathologie de certaines maladies demeurent mal connues et mal référencées [1,2]. L'enfouissement du labyrinthe osseux dans l'os temporal et sa petitesse rendent son accès difficile y compris par l'expérimentation chirurgicale et les techniques d'imagerie actuelles. Si des approches analytiques et numériques bidimensionnelles permettent de prédire les mouvements fluidiques dans l'oreille interne, il manque une compréhension globale de son fonctionnement physiologique et pathologique notamment au niveau de l'interaction entre les fluides et les structures tissulaires. A ce titre, une modélisation numérique des labyrinthes osseux et membraneux de l'oreille interne utilisant la méthode des éléments finis permet d'affiner les connaissances biomécaniques de son fonctionnement, en étant par ailleurs validée par des tests cliniques de référence. Dans cette optique, divers modèles sont étudiés afin de recenser les données anatomiques des labyrinthes osseux et membraneux conjoints en conditions physiologiques et pathologiques. Les lois rhéologiques des composants du système vestibulaire, et en particulier les modèles numériques qui s'appuient sur la méthode des éléments finis ayant une prise en compte du couplage fluide-structure sont abordés.

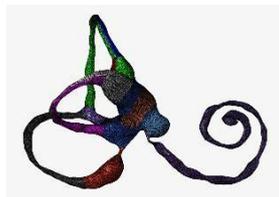


Figure 1 : Modélisation par éléments finis du labyrinthe membraneux de l'oreille interne

Mots clés : vestibule, oreille interne, biomécanique, éléments finis, interaction fluide-structure

Références

- [1] A. Charpiot, L. Fath, F. Veillon, A. Venkatasamy, D. Baumgartner, The dynamics of endolymphatic hydrops and vestibular disorders, *J Vestib Res.* (2021)
- [2] H. Li, G. P. Rajan, J. Shaw, S. A. Rohani, H. M. Ladak, S. Agrawal, H. Rask-Andersen, A Synchrotron and Micro-CT Study of the Human Endolymphatic Duct System: Is Meniere's Disease Caused by an Acute Endolymph Backflow?, *Frontiers in surgery* (2021) 8, 662530.

Convection naturelle dans un matériau à changement de phase

J. NOEL^a, C. METIVIER^b, S. LECLERC^c

a. Université de Lorraine, CNRS, LEMTA, F-54000 Nancy, France justine.noel@univ-lorraine.fr

b. Université de Lorraine, CNRS, LEMTA, F-54000 Nancy, France christel.metivier@univ-lorraine.fr

c. Université de Lorraine, CNRS, LEMTA, F-54000 Nancy, France sebastien.leclerc@univ-lorraine.fr

Les matériaux à changement de phase (MCP) sont aujourd'hui largement étudiés dans le contexte du stockage d'énergie. Ces matériaux peuvent libérer une quantité importante d'énergie sous forme de chaleur latente. Cependant, la conductivité thermique des MCP est généralement faible, ce qui entraîne un processus de changement de phase lent. Plusieurs méthodes existent pour améliorer ce processus. L'une d'entre elles consiste à augmenter le transfert de chaleur par convection. La convection naturelle dans les MCP est largement étudiée par des moyens théoriques et numériques [1, 2]. Madruga & Curbelo [2] et Favier *et al.* [1] se sont intéressés à la dynamique de l'instabilité thermoconvective en déterminant le seuil, les structures convectives et leur évolution avec l'augmentation de Ra . Cependant, il existe peu d'études expérimentales, seuls Davis et al. et Dietsche et al. ont apporté des résultats expérimentaux validant leurs analyses théoriques de la stabilité sur un seul matériau et leurs résultats n'ont jamais été comparés à d'autres matériaux. Ceci est dû au fait que les MCP sont opaques en phase solide et ne peuvent donc pas être facilement étudiés par des méthodes optiques classiques telles que PIV ou LIF. Pour résoudre ce problème, nous proposons d'utiliser l'imagerie par résonance magnétique (IRM) qui permet d'obtenir des images à travers des matériaux opaques et de mesurer les champs de vitesse à l'intérieur de la partie liquide. Nous utilisons ces techniques pour étudier l'influence de la convection de Rayleigh-Bénard lors du changement de phase solide-liquide.

Le matériau utilisé est l'hexadécane défini par une température de fusion $T_m = 17.9^\circ\text{C}$. Le dispositif expérimental est une cavité cylindrique, deux rapports d'aspect - diamètre / hauteur - sont utilisés. Initialement, le matériau est maintenu en conditions isothermes à l'état solide. Ensuite, le matériau est chauffé par le bas caractérisé par l'apparition d'une couche inférieure liquide. L'interface de fusion reste plate tant que le régime est conductif dans le liquide. Lorsque la hauteur de liquide est suffisamment importante, une convection se produit des motifs convectifs apparaissent dans le liquide, conduisant à une interface ondulée (Fig. 1). Grâce à des mesures de vitesse et de hauteur locale du fluide h , nous caractérisons le démarrage de la convection, l'augmentation de l'amplitude de la convection ainsi que le transfert de chaleur et l'évolution des motifs thermoconvectifs.

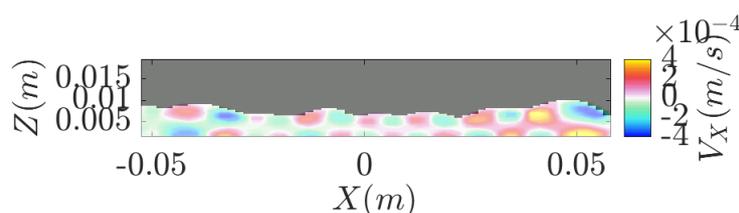


FIGURE 1 – Vitesse horizontale dans l'hexadécane avec $T_u = 14^\circ\text{C}$ et $T_d = 20.2^\circ\text{C}$ (températures aux parois resp. supérieure et inférieure) - La région grise correspond à la phase solide.

Convection naturelle, Rayleigh-Bénard, Changement de phase solide/liquide

Références

- [1] Favier, Purseed, Duchemin, Rayleigh-Bénard convection with a melting boundary. JFM, Cambridge University Press (CUP), 2019, 858, pp.437-473.
- [2] Madruga and Curbelo, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2018, 126, pp. 206-220
- [3] Davis, Müller, Dietsche, Pattern selection in single-component systems coupling Bénard convection and solidification, JFM, 1984, 144, pp. 133-151
- [4] Dietsche, Müller, Influence of Bénard convection on solid-liquid interfaces, JFM, 185, 161, pp. 249-265

Colmatage d'un milieu poreux modèle 2D par une suspension

Y. SOUMANE^a, A. NAILLON^b et H. BODIGUEL^a

a. Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, LRP, Grenoble, France

b. Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, 3SR, Grenoble, France

1 Introduction

Le transport de particules dans les milieux poreux est d'une grande importance pour de nombreuses applications telles que les écoulements dans les systèmes biologiques [1], la filtration [2], la mécanique des sols, le génie pétrolier.... Lors de l'écoulement d'une suspension dense, les particules peuvent s'accumuler dans certaines régions, former des bouchons, réduire la perméabilité et éventuellement colmater l'ensemble du milieu. Afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents de ce colmatage, une observation directe semble intéressante. Récemment, la formation de bouchons a été étudiée à la fois à l'échelle du pore à l'aide de structures élémentaires telles que des constriction simples [3], et à l'échelle du milieu entier, mais uniquement pour des milieux poreux uniformes [4]. Dans ce travail, nous cherchons à étendre ces résultats dans des micromodèles désordonnés. Dans un premier temps, notre objectif est d'analyser l'effet des conditions d'écoulement et des propriétés de la suspension sur la dynamique du colmatage. Dans un deuxième temps, nous proposons une méthode pour éviter ou retarder le colmatage, en faisant varier les conditions d'injection.

2 Discussion

Afin d'étudier la dynamique du colmatage, nous avons conçu un modèle 2D de milieu poreux désordonné en PDMS (Figure 1). Nous avons évalué l'effet du débit, de la concentration de la suspension et de la taille des particules sur le colmatage. Ce dernier paramètre a eu les conséquences les plus importantes. En effet, pour certaines tailles aucun colmatage n'a été observé alors que pour d'autres le milieu est toujours colmaté. Entre les deux, le milieu était colmaté ou non, selon le débit et la concentration de la suspension.

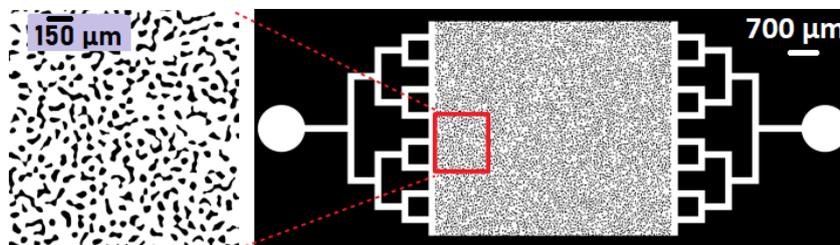


FIGURE 1: Image du modèle de milieu poreux. Le blanc représente l'espace vide, le noir les parois.

Ensuite, une analyse quantitative a été réalisée pour caractériser ce bouchage. Nous avons déterminé le pourcentage d'espace bouché dans le milieu, appelé accumulation, la taille moyenne des amas, et la mobilité des amas, qui quantifie la dynamique de croissance et d'érosion de ceux-ci. Enfin, Nous avons étudié l'effet d'un signal carré de pression sur la dynamique du colmatage, et comment celui-ci peut diminuer l'accumulation, éviter le colmatage ou le retarder selon des conditions d'injection.

Mots clefs : milieu poreux, micromodèle, colmatage, suspension de particule, microfluidique

Références

- [1] Sanderson, S Laurie and Cheer, Angela Y and Goodrich, Jennifer S and Graziano, Jenny D and Callan, W Todd, Crossflow filtration in suspension-feeding fishes, *Nature*, 412, 439–441 (2001).
- [2] Datta, Somalee and Redner, S, Gradient clogging in depth filtration, *Journal*, 58, R1203 (1998).
- [3] Marin, Alvaro and Lhuissier, Henri and Rossi, Massimiliano and Kähler, Christian J, Clogging in constricted suspension flows, *Physical Review E*, 97, 021102 (2018).
- [4] Jung, Jongwon and Cao, Shuang Cindy and Shin, Young-Ho and Al-Raoush, Riyadh I and Alshibli, Khalid and Choi, Jin-Woo, A microfluidic pore model to study the migration of fine particles in single-phase and multi-phase flows in porous media, *Microsystem Technologies*, 24, 1071–1080 (2018).

Analyse et Modélisation du Moussage par Extrusion du Polyéthylène Basse Densité avec de l'Isobutane

C. SANDINO^a, S.A.E. BOYER^a, E. PEUVREL-DISDIER^a, P. LAURE^a,
G. HIBERT^b and Y.TROLEZ^b

a. MINES ParisTech, PSL Research University, CEMEF – Centre de Mise en Forme des Matériaux, UMR CNRS 7635, CS 10207, 06904 Sophia Antipolis (France)

carlos.sandino_de_benito@mines-paristech.fr

b. Total Research & Technology Feluy, Zone Industrielle Feluy C, 7181 Feluy (Belgique)

Dans ce travail, la modélisation du moussage physique par extrusion à partir de polyéthylène basse densité (LDPE) est réalisée afin de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans la fabrication des mousses. Le moussage par extrusion est un processus en quatre étapes. Dans un premier temps, les granulés sont introduits et fondus dans une extrudeuse. Le gaz est ensuite injecté sous pression et dissous dans la matrice polymère. Le mélange est ensuite significativement refroidi pour donner plus de tenue au matériau, tout en maintenant un certain niveau de pression. Enfin, l'expansion de la mousse se produit à la sortie de la filière. A cet endroit, le gaz dissous subit une forte décompression conduisant à la nucléation et à la croissance de bulles. L'objectif de cette étude est de mieux comprendre l'origine de la limitation du moussage en s'appuyant sur la combinaison d'une analyse expérimentale du processus de moussage et de la prédiction d'un modèle.

Les outils de modélisation sont focalisés sur l'expansion se produisant en sortie de filière, afin de quantifier tous les paramètres importants pour le contrôle de la structure de la mousse. Ce modèle d'expansion d'une bulle unique est basé sur des travaux antérieurs [1,2] et considère la croissance d'une seule bulle dans un mélange de matrice polymère et de gaz dissous (agent gonflant) [3]. Afin de prendre en considération le caractère viscoélastique du polymère, le comportement rhéologique est représenté par un modèle multi-Maxwell.

Le comportement moussant de deux grades commerciaux de LDPE fournis par Total Research & Technology Feluy (Belgique) est comparé, en utilisant de l'isobutane comme agent gonflant. L'expansion de l'extrudat à la sortie de la filière est analysée expérimentalement pour différentes conditions (principalement température et concentration de gaz). Une analyse des paramètres d'extrusion est effectuée pour déterminer la quantité de gaz dissous qui est effectivement utilisée pour le processus de moussage. Afin de comparer avec les résultats expérimentaux, le modèle considère la concentration de gaz et le spectre de relaxation de chaque grade de LDPE. En conséquence, une attention particulière est accordée à la détermination de la solubilité et de la diffusivité de l'agent gonflant dans le polymère fondu. L'effort principal porte sur l'analyse de l'influence des propriétés rhéologiques des deux grades de LDPE et des propriétés de l'agent gonflant sur la taille et la stabilité des cellules.

Les prédictions du modèle sont comparées avec l'expansion et la densité de la mousse, révélant que l'utilisation du modèle fournit une estimation précise des propriétés finales de la mousse. La différence de densité finale est utilisée pour faire des hypothèses sur les phénomènes physiques qui peuvent limiter l'expansion de la mousse. En effet, la perte de gaz ou la cristallisation du polymère peuvent limiter l'expansion et ceci est lié à la température en sortie de filière [4]. Néanmoins, il existe une question ouverte sur le rôle du rhéo-durcissement sur l'expansion de la mousse [3,5]. Ces différentes hypothèses seront discutées.

Mots clefs : Modélisation, Moussage Physique, Extrusion, Rhéologie, LDPE

Références (10 gras)

- [1] Reglero Ruiz, J.A., Vincent, M., Agassant, J.- F., Claverie, A. and Huck, S. (2015), Morphological analysis of microcellular PP produced in a core- back injection process using chemical blowing agents and gas counter pressure. *Polym Eng Sci*, 55: 2465-2473.
- [2] Reglero Ruiz, J.A., Vincent, M. and Agassant, J.- F. (2016). Numerical Modeling of Bubble Growth in Microcellular Polypropylene Produced in a Core-Back Injection Process Using Chemical Blowing Agents, *Int. Polym. Proc.*, 31: 26-36.
- [3] Otsuki, Y. and Kanai, T. (2005), Numerical simulation of bubble growth in viscoelastic fluid with diffusion of dissolved foaming agent. *Polym Eng Sci*, 45: 1277-1287.
- [4] Naguib, H.E., Park, C.B. and Reichelt, N. (2004), Fundamental foaming mechanisms governing the volume expansion of extruded polypropylene foams. *J. Appl. Polym. Sci.*, 91: 2661-2668.
- [5] Weingart, N., Raps, D., Lu, M., Endner, L. and Altstädt, V. (2020). Comparison of the Foamability of Linear and Long-Chain Branched Polypropylene—The Legend of Strain-Hardening as a Requirement for Good Foamability. *Polymers*, 12(3):725.

Gravitatory settling of inertial particles in turbulent environments

A. FERRAN^a, N. MACHICOANE^a, N. MORDANT^a, A. ALISEDA^b, M. OBLIGADO^a

a. Université Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble-INP, LEGI, F-38000, Grenoble, France

b. Department of Mechanical Engineering, University of Washington, Seattle, Washington 98195-2600, USA

Turbulent flows laden with particles are ubiquitous in both environmental and industrial systems [1]. This study focuses on dense sub-Kolmogorov inertial particles. They consist in water droplets advected in air with diameters smaller than the smallest turbulent scale. Particles advected in a turbulent flow can experience both enhanced and hindered settling velocities, when compared to the terminal velocity V_T in a stagnant fluid. In this study we focus on the settling velocity modification of inertial particles in homogeneous and isotropic turbulence.

Experiments were carried out in the Lespard wind tunnel of LEGI. Inertial particles settling velocities in grid-generated turbulence were measured via a Phase Doppler Interferometer. A wide range of Taylor Reynolds numbers, defined as $Re_\lambda = u'\lambda/\nu$ (with u' the rms value of the streamwise velocity fluctuations, λ the Taylor microscale and ν the kinematic viscosity of the carrier fluid) was explored (between 40 and 520) as well as Rouse numbers Ro (defined as $Ro = V_T/u'$). Three types of grid-generated turbulence were tested by means of an active grid, used in two different modes (AG where the grid axes move randomly and OG where they remain static) and a passive grid (RG). Droplets were injected by means of a rack of 36 injectors. This work aims at studying the role of turbulence intensity, carrier phase Reynolds number and volume fraction on the settling velocity of inertial particles.

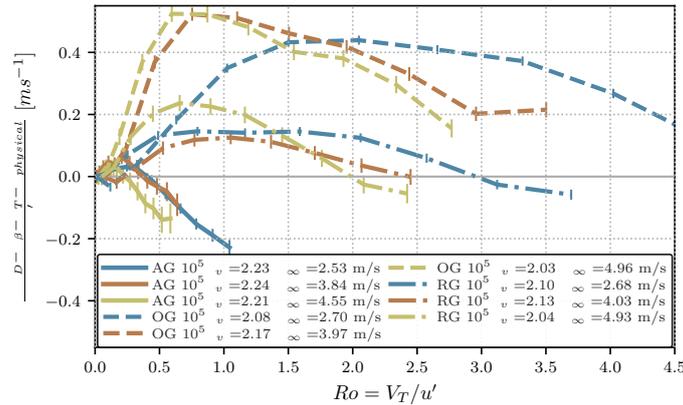


FIGURE 1 – Particle velocity over the carrier phase fluctuations $(\langle V \rangle_D - V_\beta - V_{physical} - V_T)/u'$ against the Rouse number for a volume fraction of 2.0×10^{-5} . The different colors correspond to the three different inlet velocities.

Figure 1 shows the settling velocity compared to V_T (positive values correspond to enhancement while negative to hindering) and normalized by u' . All values have been corrected for angle misalignments (V_β) and secondary flows ($V_{physical}$). We confirm previous results from the literature [2], [3] : enhancement occurs at low Ro , but the wider range of flow parameters explored allowed us to observe that it decreases significantly with Re_λ .

Key words : Turbulence, inertial particles, settling velocity modification

Références

- [1] R. Monchoux, M. Bourgoïn, and A. Cartellier, Analyzing preferential concentration and clustering of inertial particles in turbulence, *International Journal of Multiphase Flow*, 40 (2012), pp. 1–18.
- [2] D. Mora, M. Obligado, A. Aliseda, and A. Cartellier, Effect of Re_λ and Rouse numbers on the settling of inertial droplets in homogeneous isotropic turbulence, *Physical Review Fluids*, 6 (2021), 044305.
- [3] S. Sumbekova, Clustering of inertial sub-Kolmogorov particles : Structure of clusters and their dynamics PhD Thesis, Université Grenoble Alpes, (2016).

Simulation of Wood Combustion Using a Detailed Pyrolysis Model Coupled to fireFoam

H. SCANDELLI^a, J. LACHAUD^b, A. AHMADI^c

a. Artset Métiers Institute of Technology. hermes.scandelli@u-bordeaux.fr
b. University of Bordeaux. jean.lachaud@u-bordeaux.fr
c. Artset Métiers Institute of Technology. azita.ahmadi-senichault@u-bordeaux.fr

1 Introduction

The numerical simulation of fire propagation requires capturing the coupling between wood pyrolysis, which leads to the production of various gaseous species, and the combustion of these species in the flame, which produces the energy that sustains the pyrolysis process. Experimental and numerical works [1,2] of the fire community are targeted towards improving the description of the pyrolysis process to better predict the rate of production and the chemical nature of the pyrolysis gases. We know that wood pyrolysis leads to the production of a large variety of chemical species [3]: water, methane, propane, carbon monoxide and dioxide, phenol, cresol, hydrogen, etc. With the idea of being able to capitalize on such developments to study more accurately the physics of fire propagation, we have developed a numerical framework that couples a detailed three-dimensional pyrolysis model and fireFoam. In the presentation, we will illustrate the capability of the simulation tool with the combustion of a wood log. Wood is considered to be composed by 3 phases (cellulose, hemicellulose and lignin), each undergoing parallel degradation processes leading to the production of methane and hydrogen. We chose to simplify the gas mixture for this first proof of concept of coupling of a multi-species pyrolysis process and a flame. In the flame, we consider two separate finite-rate combustion reactions for methane and hydrogen. The flame evolves during the simulation according to the concentration of the two gaseous species produced from the material. It appears clearly that introducing different pyrolysis species impacts the temperature and behavior of the flame.

The numerical framework that was developed during this study is already available in the Porous material Analysis Toolbox based on OpenFoam (PATO) released Open Source by NASA (www.pato.ac) [4].

Key Words: Numerical simulations; Wood; Pyrolysis; Fire

Références

- [1] Bryden, K. M., Ragland, K. W., & Rutland, C. J. (2002). Modeling thermally thick pyrolysis of wood. *Biomass and Bioenergy*, 22(1), 41-53.
- [2] Ding, Y., Wang, C., & Lu, S. (2015). Modeling the pyrolysis of wet wood using FireFOAM. *Energy conversion and management*, 98, 500-506.
- [3] Blondeau, J., & Jeanmart, H. (2012). Biomass pyrolysis at high temperatures: Prediction of gaseous species yields from an anisotropic particle. *Biomass and bioenergy*, 41, 107-121.
- [4] J. Lachaud and N.N. Mansour. Porous-material analysis toolbox based on openfoam and applications. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 28(2):191–202, 2014.

Transitions turbulentes dans les plasmas de fusion

W. AGOUA^a, WJT. Bos^a, B. FAVIER^b, J. MORALES^c

a. CNRS, Univ Lyon, Ecole Centrale de Lyon, Univ Lyon 1 Claude Bernard, INSA Lyon, Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique, UMR5509, 69134 Ecully, France
wesley.agoua@ec-lyon.fr

b. Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, IRPHE UMR 7342, Marseille, France

c. CEA, IRFM, Centre de Cadarache, 13108 Saint-Paul-lez-Durance, France

1 Introduction

La fusion nucléaire est une proposition prometteuse d'énergie propre. Dans le tokamak, un tore dans lequel un plasma d'isotopes d'hydrogène est mis en rotation et confiné à l'aide de puissants champs magnétique. La température élevée qui y règne permet la fusion du tritium et deutérium en hélium et la libération d'énergie. Nous travaillons sur l'un des problèmes majeurs de la fusion, les pertes de confinement du plasma. Plus précisément, les turbulences dans le plasma vont dégrader le confinement du plasma et le faire dériver vers les bords du tore, lui faisant perdre de l'énergie et dégradant le réacteur. Or en 1982 a été démontrée l'existence d'un état de confinement amélioré [1], nommé High confinement ou mode H, par rapport à l'état de confinement habituel nommé Low confinement ou mode L. Les études ultérieures[2] ont permis de comprendre empiriquement comment atteindre cet état permettant une meilleure conservation de la température du plasma et donc une fusion plus facile à réaliser, mais il manque encore une théorie générale expliquant la transition entre le mode H et le mode L, dite transition L-H.

Nous proposons de montrer que la transition L-H est un cas de transition turbulente axisymétrique récemment étudiée [3], entre des états de turbulence 2D (pour le mode H) et 3D (pour le mode L). Cette transition est causée dans notre modèle par des fluctuations linéaires de vitesse toroïdale (dans le sens de l'écoulement du plasma). Le rapport des énergies toroïdale et poloidale (perpendiculairement à l'écoulement) E_t/E_p détermine l'état de turbulence et donc de confinement avec $E_t/E_p > 0$ en mode L (donc turbulence 3D) lorsque le forçage toroïdal devient important. Nous avons pu montrer par des simulations numériques utilisant le code Nek5000 (méthode des éléments spectraux) qu'on peut relier la transition entre ces deux états à une perte de confinement en introduisant un champ scalaire dont nous avons étudié la température. Nous avons pu constater une hausse de température en turbulence 2D similaire aux observations de mode H faites dans les tokamaks.

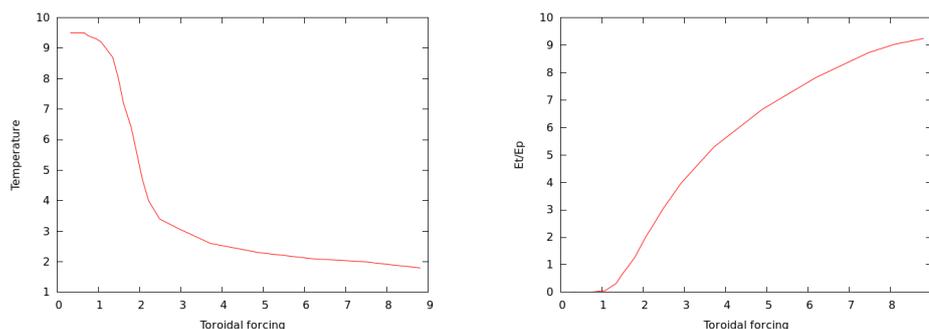


FIGURE 1 – Evolution de la température et du rapport E_t/E_p en fonction du forçage toroïdal appliqué à l'écoulement

Mots clefs : transition LH, tokamak, plasma, turbulence, écoulement axisymétrique, transition 2D-3D, simulations numériques, Nek5000, méthode des éléments spectraux

Références

- [1] F. Wagner et al. Regime of improved confinement and high beta in neutral-beam-heated divertor discharges of the ASDEX tokamak. Phys. Rev. Lett., 49 :1408, 1982
- [2] JW Connor and HR Wilson. A review of theories of the lh transition. Plasma Physics and Controlled Fusion, 42(1) :R1, 2000
- [3] Z. Qin et al. Transition from non-swirling to swirling axisymmetric turbulence, Physical review Fluids 5, 064602 (2020)

Interpolation de bases POD par krigeage grassmannien

R. Mosquera^a, A. Falaize^a, A. Hamdouni^a

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

Résumé

En modélisation mécanique, plus spécifiquement en réduction de modèles, les méthodes d'interpolation de bases POD dans la variété de Grassmann (une variété de Grassmann est l'ensemble des sous-espaces vectoriels d'une dimension donnée d'un espace vectoriel fixé) sont des techniques modernes qui permettent de prédire un nouveau modèle réduit dans d'autres régions de l'espace de paramètres. Les stratégies utilisées dans la littérature pour construire des interpolateurs sur la variété de Grassmann sont principalement de deux types : celles qui utilisent un espace tangent de référence [1], et celles qui utilisent les notions de géodésiques [2] ou de barycentre de Karcher [3]. Bien que de nombreuses applications ont montré la pertinence de ces méthodes pour estimer de nouveaux modèles réduits, ces approches n'exploitent pas l'information de la répartition des données sur la variété.

Dans cette communication, nous présentons une nouvelle méthode d'interpolation sur la variété de Grassmann, nommée *krigeage grassmannien*. A la différence des autres méthodes précédentes, cette méthode de krigeage grassmannien intègre des notions statistiques qui vont permettre que l'interpolateur prenne en compte la répartition des données sur la variété. Les principales étapes de la méthode sont : d'abord, exploiter la répartition des données sur la variété riemannienne à travers un semi-variogramme intrinsèque géodésique, puis, utiliser un espace tangent pour formuler les équations du krigeage. Ainsi, le semi-variogramme construit dans cette méthode va dépendre seulement de l'échantillon de points sur la variété, de sorte que dans la pratique, nous aurons besoin de modéliser une seule fois le variogramme théorique. Cette caractéristique de la méthode va permettre de réduire le temps d'évaluation de l'interpolateur, tout en atteignant une précision comparable à l'état de l'art de la technique. D'autre part, quitte à utiliser certaines quantités pré-calculées, cette méthode de krigeage grassmannien bénéficie des propriétés calculatoires suivantes :

- (i) le coût asymptotique pour évaluer l'interpolateur dépend linéairement du nombre des valeurs du paramètre,
- (ii) à partir d'un interpolateur associé à un ensemble de valeurs du paramètre, l'interpolateur associé à un nouvel ensemble, enrichi de valeurs de ce paramètre, peut-être construit tout en utilisant les quantités associées à l'interpolateur de départ.

Les performances de la méthode de krigeage grassmannien, mentionnées ci-dessus, seront illustrées sur différentes applications en mécanique des fluides et des structures.

Mots clefs : POD, krigeage, variété de Grassmann

Références

- [1] Amsallem, D., Farhat, C. (2008). Interpolation method for adapting reduced-order models and application to aeroelasticity, *AIAA journal*, 46(7), 1803-1813.
- [2] Mosquera, R., El Hamidi, A., Hamdouni, A., Falaize, A. (2021). Generalization of the Neville–Aitken interpolation algorithm on Grassmann manifolds : Applications to reduced order model. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 93(7), 2421-2442.
- [3] Mosquera, R., Hamdouni, A., El Hamidi, A., Allery, C. (2019). POD basis interpolation via Inverse Distance Weighting on Grassmann manifolds. *Discrete & Continuous Dynamical Systems-S*, 12(6), 1743.

Gestion du maillage de l'interface dans une approche Front-Tracking pour les écoulements diphasiques

P. REGNAULT^a, S. VINCENT^a, E. CHENIER^a

a. Université Gustave Eiffel, Laboratoire Modélisation et Simulation Multi Echelle, MSME, UMR 8208 CNRS 5 bd Descartes, 77454 Marne-la-Vallée, France, stephane.vincent@univ-eiffel.fr, paul.regnault@univ-eiffel.fr

Résumé

Nous nous intéressons aux écoulements diphasiques à phases séparées. La plupart de ces écoulements implique une large gamme d'échelles, c'est pourquoi il y a besoin de méthodes robustes et précises pouvant gérer non seulement les grandes structures mais aussi les petites structures de l'écoulement. Dans ce travail les écoulements diphasiques sont modélisés par une approche multi-échelle ayant recours à des maillages dédiés, l'un pour l'interface, mobile et déformable, pour le Front-Tracking [1] et appelé maillage lagrangien, et l'autre pour les équations de Navier-Stokes, appelé maillage eulérien. Ces modèles multi-échelles sont difficiles à implémenter car ils demandent une gestion dynamique en temps et en espace du maillage de l'interface (constitué de triangles). En échange de cette complexité, ils offrent une description explicite de l'interface même en présence de fortes courbures et un meilleur contrôle des changements topologiques (rupture et coalescence). Ces modèles et algorithmes doivent être conçus pour une architecture parallèle à mémoire distribuée. Le suivi de l'interface comprend une étape de transport des marqueurs, de désenrichissement, d'enrichissement du maillage, de lissage et de correction du volume. Le raffinement du maillage de l'interface peut être réalisé avec une reconstruction locale de la surface pour mieux conserver la forme. Les critères d'enrichissement sont liés à la taille de la maille de discrétisation des équations de Navier-Stokes et à la courbure de l'interface. La méthode Front-Tracking ne garantit pas la conservation du volume, c'est pourquoi une étape de correction du volume est ensuite appliquée. Avant chaque opération élémentaire, l'algorithme vérifie que l'opération n'introduit pas d'intersections de triangles. Des cas tests seront utilisés pour vérifier les modèles et les méthodes numériques. Actuellement, le remaillage et le calcul des courbures font l'objet d'une attention particulière. Parmi les configurations numériques de la littérature, on peut citer la déformation d'une goutte dans un champ de vitesse analytique [2] qui permet de se concentrer d'abord sur le suivi d'interface sans la résolution des équations de Navier-Stokes. Puis, on étudiera la montée d'une goutte dans une colonne liquide [3] comme premier cas test avec Navier-Stokes.

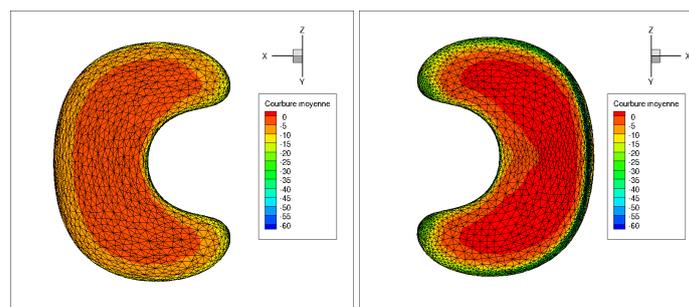


FIGURE 1 – Cas Enright [2], courbure à $t=T/5$

Mots clefs : écoulements diphasiques, tension de surface, Front-Tracking, multi-échelle, maillage

Références

- [1] G. Tryggvason, R. Scardovelli, S. Zaleski, Direct numerical simulations of gas-liquid multiphase flows, Cambridge University Press, Cambridge ; New York, 2011.
- [2] D. Enright, R. Fedkiw, J. Ferziger, I. Mitchell, A Hybrid Particle Level Set Method for Improved Interface Capturing, Journal of Computational Physics 183 (1) (2002) 83–116.
- [3] S.-R. Hysing, S. Turek, D. Kuzmin, N. Parolini, E. Burman, S. Ganesan, L. Tobiska, Quantitative benchmark computations of two-dimensional bubble dynamics, International Journal for Numerical Methods in Fluids 60 (11) (2009) 1259–1288, number : 11 Publisher : Wiley Online Library.

Etude des couplages multiphysiques lors d'une interaction fluide-structure en géométrie tubulaire – Application à la Balistique intérieure

M. BRATEAU^{ab}, S. KERAMPAN^b, I. DELAGRANGE^a, A. CLOUGH^a,
M. ARRIGONI^b

a. CTAI, 7 route de Guerry, 18000 Bourges, France, m.brateau@cta-international.com

b. ENSTA Bretagne, IRDL, 2 rue F. Verny, 29200 Brest, France, marion.brateau@ensta-bretagne.org

1 Contexte

L'entreprise CTAI développe le canon 40CTAS fonctionnant avec des munitions nouvelle génération : les munitions télescopées de 40 mm. La spécificité de ces munitions réside dans le fait que le projectile se situe dans la cartouche, entouré de la poudre propulsive. Cela présente certains avantages : d'excellentes performances et une grande compacité. Cependant, le cycle de balistique intérieure des munitions télescopées diffère de celui des munitions classiques. En effet, contrairement aux munitions classiques, le projectile des munitions télescopées ne se trouve pas à poste au niveau du cône de forcing lors de l'introduction de la munition dans l'arme, mais effectue un parcours balistique dans sa douille avant de s'engager dans le cône de forcing (figure 1). L'architecture propre aux munitions télescopées implique un mode de fonctionnement particulier, qu'il convient d'étudier.

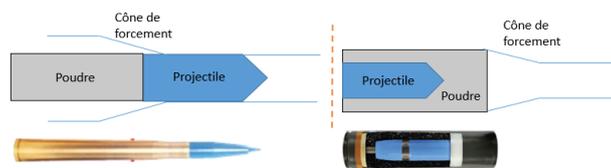


FIGURE 1 – Schéma de principe expliquant la différence entre munition classique (à gauche) et munition télescopée (à droite) et vue d'une munition de chaque type (40mm)

2 Verrous scientifiques

La caractérisation du parcours balistique du projectile depuis la douille jusqu'au positionnement dans le cône de forcing est un enjeu majeur dans la compréhension de la balistique intérieure (BI) des munitions télescopées. Une fois le projectile à poste au niveau du cône de forcing, les phénomènes observés sont identiques à ceux de la BI classique, qui est un problème relativement bien connu. Un premier verrou technologique est la connaissance de la combustion de la poudre qui permet la propulsion du projectile hors de la douille et du tube. Elle donne le chargement thermomécanique sur l'environnement. CTAI utilise une poudre particulière, dont les caractéristiques sont relativement peu connues, ce qui nécessite une étude approfondie. Cette caractérisation passe par la connaissance des paramètres de la poudre comme la vitesse de combustion et les paramètres nécessaires à l'équation d'état des gaz de combustion. Un deuxième verrou est le positionnement du projectile depuis sa position initiale dans la douille jusqu'au cône de forcing. Cette étape implique une interaction fluide-structure en dynamique rapide, dans des conditions extrêmes de température (plusieurs milliers de K) et pression (plusieurs centaines de MPa). On observe également une collision solide/solide entre le projectile et le cône de forcing car le projectile arrive au cône de forcing avec une vitesse non nulle (plusieurs centaines de m/s) ainsi qu'une légère fuite de gaz lors de la sortie du projectile de la cartouche, absente dans un cycle de BI classique, qu'il convient de caractériser.

3 Stratégie d'études

L'étude prévue liera modélisation, simulations numériques et validation expérimentale. Des essais sont prévus, notamment pour caractériser la poudre (enceinte manométrique) et valider les simulations numériques de l'interaction fluide-structure. Du fait des conditions extrêmes observées lors d'un tir, il est possible que la validation soit seulement partielle (dans des conditions atteignables en laboratoire). Les résultats obtenus serviront à obtenir une modélisation, la plus fidèle possible, de la BI des munitions télescopées.

Mots clés : Balistique intérieure, munitions télescopées, interaction fluide-structure, thèse

Modélisation numérique de l'interaction fluide/structure dans des milieux poreux

A. Ennazii^a, A. Beaudoin^b, A. Fatu^c

Université de Poitiers, Institut Pprime, 86000 Poitiers, France

a. alaa.eddine.ennazii@univ-poitiers.fr

b. anthony.beaudoin@univ-poitiers.fr

c. aurelian.fatu@univ-poitiers.fr

Contenu

Les performances de nombreuses applications industrielles reposent en grande partie sur la qualité et la fiabilité des systèmes de guidage et de support (vitesses de rotation élevées, faible couple de frottement, capacité d'amortissement). Le sujet présenté ici fait partie d'un projet ANR, intitulé SOFITT (Mousses Saturées à Pores Ouverts pour une Tribologie Innovante dans les Turbomachines) visant à trouver des solutions techniques innovantes qui corrélerent avec les pratiques actuelles et à fournir des systèmes de support performants en termes de capacité de charge et d'amortissement. Le projet propose un nouveau concept de lubrification et par conséquent un nouveau matériau (compris comme un matériau complexe/composite formé par la structure poreuse solide - couches poreuses compressibles - et le fluide d'imbibition) afin d'améliorer la qualité et la fiabilité des systèmes de guidage et de support. Les simulations CFD (Computational Fluid Dynamics) offrent une solution économique pour étudier les performances de ce nouveau concept de lubrification. L'objectif principal est de comprendre le comportement des structures complexes poreuses, lié aux propriétés microstructurales du matériau solide et à leurs interactions avec le fluide. Dans la littérature scientifique, les travaux étudiant les écoulements dans les matériaux compressibles sont essentiellement expérimentaux en raison de leur forme géométrique très complexe [1], [2], [3]. La difficulté de réaliser des simulations CFD (Computational Fluid Dynamics) dans les matériaux poreux est d'accéder aux géométries de leur structure. Deux cas sont examinés. Dans un premier temps la structure morphologique des échantillons de mousse de polyuréthane est reconstruite à partir de microtomographie à rayons X 3D. Cette étape est réalisée à l'aide d'un logiciel commercial (Avizo) qui permet de traiter des images 3D et de créer des modèles FE/CFD adaptés à l'analyse numérique. Une procédure permettant le passage entre les mesures de microtomographie et les modèles numériques est ensuite développée. Les prédictions numériques seront comparées aux résultats expérimentaux obtenus sur des dispositifs d'essai déjà présents dans le laboratoire et présentés dans la référence [4]. Sur la base de cette analyse, des structures plus efficaces (en termes de taille et de distribution de pores) des mousses à cellules ouvertes sont proposées et créées numériquement en utilisant les techniques de tessellation de Voronoï (la bibliothèque open-source Voro++ sera utilisée) couplé à un logiciel de CAO [5]. La modélisation CFD permettra d'analyser l'écoulement complexe dans ces nouvelles structures de matériaux compressibles.

Mots clefs : Traitement d'images numériques, Mécanique des fluides, Simulations CFD et Modélisation CAO.

Références

- [1] S. Dasa, S. Sneijdersa, N.G. Deenb and J.A.M. Kuipersa, Drag and heat transfer closures for realistic numerically generated random open-cell solid foams using an immersed boundary method, *Chemical Engineering Science*, 183, pp. 260-274, 2018
- [2] M. Bracconi, M. Ambrosetti, M. Maestri, G. Groppi and E. Tronconi, A systematic procedure for the virtual reconstruction of open-cell foams, *Chemical Engineering Journal*, 315, pp. 608-620, 2017.
- [3] M. Bracconi, M. Ambrosetti, M. Maestri, G. Groppi and E. Tronconi, A fundamental analysis of the influence of the geometrical properties on the effective thermal conductivity of open-cell foams, *Chemical Engineering Processing : Process Intensification*, 129, pp. 181-189, 2018
- [4] Kunik, S., Fatu, A., Bouyer, J., Doumalin, P. (2020). Experimental and numerical study of self-sustaining
- [5] RYCROFT, Chris. Voro++ : A three-dimensional Voronoi cell library in C++. Lawrence Berkeley National Lab.(LBNL), Berkeley, CA (United States), 2009.

Acoustique et vibrations

Une formulation bayésienne unifiée pour l'identification de force

J. GHIBAUDO^a

a. Laboratoire de mécanique des structures et des systèmes couplés, Conservatoire National des Arts et Métiers, 2 Rue Conté, 75003 Paris, France. julian.ghibaudo@lecnam.net

1 Introduction

Les impacts mécaniques génèrent de hauts niveaux de vibrations dans les structures, pouvant engendrer leur ruine. La connaissance des actions mécaniques locales est donc nécessaire au bon dimensionnement de ces structures. Cependant, des contraintes comme l'inaccessibilité de la mesure aboutissent à considérer le problème de reconstruction d'effort comme inverse. Parmi les méthodes existantes, les approches par filtre de Kalman sont des approches peu coûteuse en ressources et robuste pour résoudre le problème d'identification de force dans le domaine temporel. Beaucoup de filtres sont aujourd'hui proposés dans la littérature. Or, nous allons montrer ici que ces différentes formulations peuvent, dans les faits, être unifiées sous une unique vision bayésienne.

2 Résultats et discussion

La représentation d'état du problème à résoudre est donnée ci-dessous (1) :

$$\begin{cases} \mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A} \mathbf{x}_k + \mathbf{B} \mathbf{u}_k + \mathbf{w}_k \\ \mathbf{y}_k = \mathbf{C} \mathbf{x}_k + \mathbf{D} \mathbf{u}_k + \mathbf{v}_k \end{cases} \quad (1)$$

Avec \mathbf{x}_k , \mathbf{u}_k et \mathbf{y}_k l'état, la commande et la mesure à l'instant k ; \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} et \mathbf{D} les matrices du système ; \mathbf{w}_k (resp. \mathbf{v}_k) le bruit de process (resp. de mesure), de moyenne nulle et de matrice de covariance \mathbf{Q}_k^x (resp. \mathbf{R}_k). D'un point de vue bayésien, \mathbf{x}_k et \mathbf{y}_k peuvent être considérées comme des variables aléatoires, suivant des probabilités conditionnelles : $\mathbf{x}_k \sim p(\mathbf{x}_k | \mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{u}_{k-1})$ et $\mathbf{y}_k \sim p(\mathbf{y}_k | \mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k)$.

À partir de cette représentation, différentes technologies du filtre de Kalman ont été développées pour résoudre le problème d'identification de la commande. Les résultats de l'application de ces méthodes diffèrent selon les hypothèses employées (sur la répartition de l'effort notamment) et les méthodes d'estimation de l'état et la commande (par création d'un état augmenté ou encore par calcul séquentiel des variables de façon indépendante ou non), comme le montre la figure 1 ci-après. Finalement, toutes ces méthodes permettant la connaissance de la localisation et l'évolution temporelle de l'effort peuvent toutes être regroupées sous l'hypothèse unificatrice $p(\mathbf{u}_k | \mathbf{y}_{1:k-1}) = N(\mathbf{u}_k | \mathbf{m}_k, \mathbf{P}_k)$ pour décrire la commande.

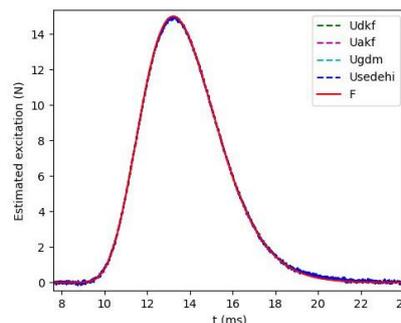


Figure 1 : Identification de la commande par quatre méthodes différentes (AKF, DKF, GDM et filtre bayésien séquentiel (SKF) de Sedehi).

Mots clefs : Problème inverse, reconstruction d'effort, filtre de Kalman

Références

- [1] E. LOURENS : An augmented Kalman filter for force identification in structural dynamics, *Mechanical Systems and Signal Processing* 27 (2012) 446–460
- [2] O. SEDEHI, C. PAPADIMITRIOU ET AL. : Sequential Bayesian estimation of state and input in dynamical systems using output-only measurements, *Mechanical Systems and Signal Processing* 131 (2019) 659–688
- [3] S. GILLINS, B. DE MOOR : Unbiased minimum-variance input and state estimation for linear discrete-time systems with direct feedthrough, *Automatica* 43 (2007) 934 – 937
- [4] S. AZAM, ET AL. : A dual Kalman filter approach for state estimation via output-only acceleration measurements, *Mechanical Systems and Signal Processing* (2015)

A natural frequency based strategy to identify geometry damage properties using damage library

A. DUBEY, V. DENIS, R. SERRA

INSA Centre Val de Loire, Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé EA 7494, Université d’Orléans, Université de Tours, 3 Rue de la Chocolaterie, F-41034 Blois, France
 email: anurag.dubey@insa-cvl.fr

Abstract

The sudden growth of damage can lead to catastrophic structure or mechanical failures that can result in tragic consequences and material losses. In this work, a novel approach (shown in Figure 1) using vibration-based structure health monitoring (VBSHM) is proposed for localization and quantification of damages as well as estimation of their geometry damage properties. Frequency shift coefficient (FSC) is used for localization and quantification of damages [1]. The novel concept is adopted by building a damage library for the estimation of geometry damage properties. Geometry damage libraries (rectangular, hole...) are developed by the numerical minimizing correlation between 2D and 3D finite element models. In addition, different numerical damaged scenarios are tested at different beam locations with varying severities in order to evaluate the efficiency of the proposed VBSHM strategy. The quantified geometry damages are related to an equivalent bending stiffness reduction by the use of FSC. Finally, the method is validated through the identification of geometry damage properties in the numerical beam as well as a real experimental beam with geometry damages.

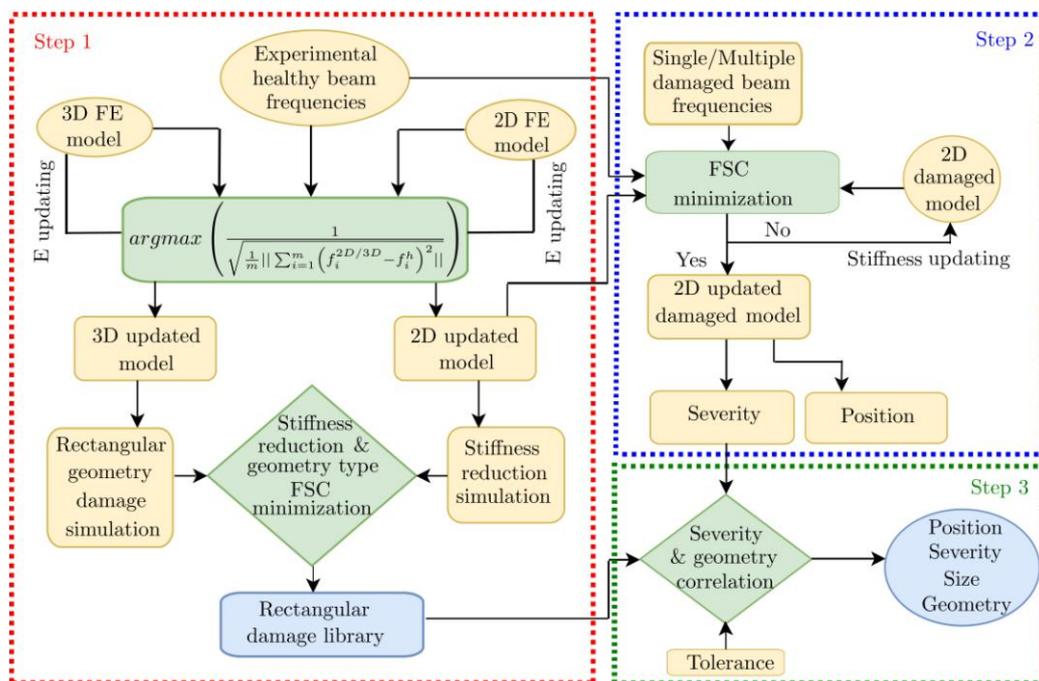


Figure 1: Flowchart of the VBSHM strategy to identify geometry damage properties [2].

Keywords : modal analysis; model updating; rectangular geometry damage; damage assessment; frequency shift coefficient; vibration-based structural health monitoring.

References

- [1] Silva, M. E. and Araujo Gomes, A. (1994, 31 January–3 February). Crack identification on simple structural elements through the use of natural frequency variations: The inverse problem. Proceedings of the 12th International Modal Analysis 2251, Honolulu, HI, USA: 1728-1735.
- [2] Dubey, A., Denis, V., and Serra, R. (2020). A novel VBSHM strategy to identify geometrical damage properties using only frequency changes and damage library. Applied Sciences, 10(23):8717.

Synthèse Sonore des Instruments de Musique du Patrimoine

**T. VAN BAARSEL^a, J. CHABASSIER^a, A. ERNOULT^a,
M. JOSSIC^b, S. KIRSCH^b, C. CECCONI^b, T. MANIGUET^b, R. VIALA^c, E. LAMBERT^d**

a. Équipe de projet Makutu, Inria Bordeaux-Sud Ouest, 200 avenue de la vieille Tour, 33405 Talence CEDEX, France ; tobias.van-baarsel@inria.fr

b. Cité de la Musique – Philharmonie de Paris, 221 Avenue Jean Jaurès, 75019 Paris

c. ITEM, 71 Avenue Olivier Messiaen, 72000 Le Mans

d. C2RMF, 4 Quai François Mitterrand, 75001 Paris

Les instruments de musique sont des objets hautement complexes dont l'étude est à la croisée de nombreuses disciplines. D'un point de vue physique, la modélisation des instruments à vent (comme la trompette, la clarinette, etc.) nécessite une connaissance fine des phénomènes de propagation des ondes acoustiques dans les guides d'ondes et de couplages mécaniques entre des systèmes non-linéaires à oscillations forcées et résonateurs linéaires.

Le projet SySIMP (Synthèse Sonore des Instruments de Musique du Patrimoine) est un projet commun à l'Institut National de Recherche en Informatique et Automatique (INRIA) de Bordeaux, la Cité de la Musique-Philharmonie de Paris, l'Institut Technologique Européen des Métiers de la Musique (ITEM) du Mans et le Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF).

Ce projet vise à étudier des instruments à vent de la fin du XIXe siècle conservés au Musée de la Musique de Paris grâce des technologies non-destructives et des modèles numériques, afin d'en simuler le comportement acoustique. Ces instruments anciens n'étant pas en état d'être joués pour des raisons de conservation, le recours aux technologies numériques permet de les étudier sans les endommager et d'imaginer les sons qu'ils auraient pu produire.

La géométrie de l'instrument est tout d'abord mesurée par tomographie à rayons X, puis les caractéristiques fréquentielles de l'instrument sont calculées grâce au logiciel open-source OpenWind développé par l'équipe de l'INRIA. Celles-ci sont comparées à des mesures expérimentales qui valident la procédure. La synthèse sonore dans le domaine temporel est également possible en couplant à la géométrie de l'instrument un modèle dynamique de lèvres.

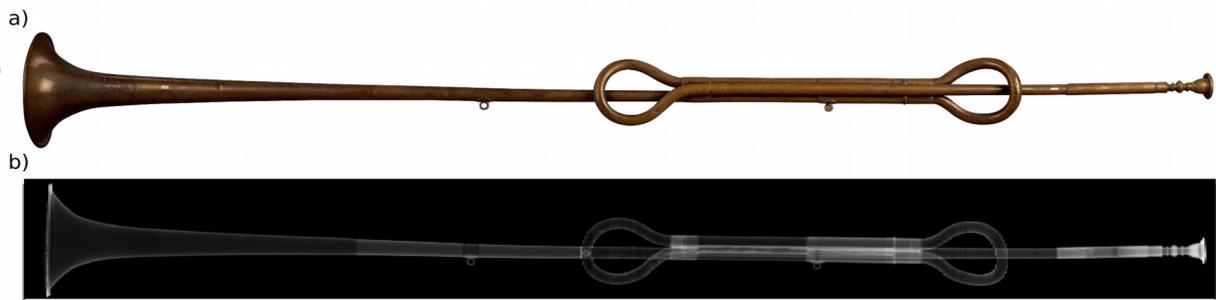


Figure: a) Photo d'une trompette naturelle fabriquée par la maison Besson à la fin du XIXe siècle, conservée à la Cité de la Musique-Philharmonie de Paris. [crédits] b) Tomographie par rayons X de la trompette réalisée au Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF)

Mots clés : Acoustique Musicale, Instruments à vent, Synthèse Sonore, Imagerie rayons X

Thermique

Caractérisation hygro-thermique des éco-matériaux à base de terre crue

I. HAMROUNI^{a,b}, T. OUAHBI^a, S. TAIBI^a, M. JAMEI^b, N. LHUISSIER^a, O. CRUMEYROLLE^a, H. ZENZRI^b

a. Université Le Havre Normandie, ichrak.hamrouni@doct.univ-lehavre.fr, ouahbit@univ-lehavre.fr, said.taibi@univ-lehavre.fr, natalija.lhuissier@univ-lehavre.fr, olivier.crumeyrolle@univ-lehavre.fr

b. Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, mehjamei@yahoo.fr, Hatem.zenzri@enit.utm.tn

Résumé

Afin de réduire l'impact énergétique des matériaux de construction pour le bâtiment et, plus généralement, l'impact environnemental, la terre crue peut être une alternative aux matériaux de construction classiques qui sont très énergivores en termes d'énergie grise. La terre crue est depuis longtemps un matériau de construction naturel le plus répandu à travers le monde. C'est un matériau disponible par tout, écologique, économique et environnemental. Ce matériau peut être compacté ou stabilisé par de faibles quantités de liants afin d'améliorer son comportement mécanique [1-3-5]. Pour son comportement hygro-thermique, plusieurs études ont montré que la terre crue est caractérisée par un pouvoir régulateur température-humidité très intéressant et encourageant pour le confort et le bien-être.

Dans cette étude, on s'intéresse à la caractérisation hygro-thermique des éco-matériaux à base de terre crue. Différentes techniques complémentaires ont été utilisées d'une part pour la conductivité thermique et d'autre part pour le transfert de vapeur d'eau [2-5-6]. Pour la mesure de la conductivité thermique, la méthode de la boîte chaude a été utilisée. Cette méthode consiste à mettre un échantillon en terre crue parallélépipédique de dimensions 27*27*6 cm³ entre deux températures différentes (chaude et froide) afin d'appliquer un gradient thermique unidirectionnel à travers cet échantillon et à l'aide de la loi de Fourier on détermine sa conductivité thermique. Pour la mesure de la perméabilité à la vapeur, la méthode de la coupelle a été utilisée. Cette méthode de mesure consiste à placer un échantillon en terre crue cylindrique de 10,5 cm de diamètre et de 1,5 cm d'épaisseur sous un gradient constant de vapeur d'eau unidirectionnel et en conditions isothermes et à l'aide de la loi de Fick on détermine sa perméabilité à la vapeur. Une analyse comparative avec des matériaux de construction « classiques » comme le béton de ciment et la brique de terre cuite ont permis de mettre en évidence le caractère inertiel de la terre crue et son pouvoir régulateur thermique et respirant.

Mots clefs : Terre crue, comportement hygro-thermique, éco-matériaux, conductivité thermique, transfert de vapeur.

Références

- [1] Allinson, D, Humidity buffering using stabilised rammed earth materials, *Construction materials* 165 (2012) 335-344.
- [2] Bennai F, Étude des mécanismes de transferts couplés de chaleur et d'humidité dans les matériaux poreux de construction en régime insaturé, Thèse soutenue, Université La Rochelle, 2018.
- [3] Ben Mansour, M., Optimizing thermal and mechanical performance of compressed earth blocks (CEB), *Construction and Building Materials* 104 (2016) 44-51.
- [4] Hibouche A, Sols traités aux liants Performances hydro-mécaniques et hygro-thermiques Applications en BTP, Thèse soutenue, Université du Havre, 2013.
- [5] Krus, M, Moisture transport and storage coefficients of porous mineral building materials. Theoretical principles and new test methods. Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag, 1996. ISBN 3-8167-4535-0.
- [6] Saidi M, Stabilization effects on the thermal conductivity and sorption behavior of earth bricks, *Construction and Building Materials* 167 (2018) 566-577.

Vortex-induced vibrations of a circular cylinder.

Application for energy harvesting

A. Schmider^a, F. Kerhervé^b, L. Cordier^b, A. Spohn^b, N. Dellinger^c

a. Institut Pprime, DFTC, Curiosity, Université de Poitiers (agathe.schmider@univ-poitiers.fr)

b. Institut Pprime, DFTC, Poitiers

c. Laboratoire ICUBE, Strasbourg

1 Introduction

Flow-induced vibrations (FIV) over elastically mounted bluff-bodies occur whenever a bluff body structure is immersed in a fluid stream. When vortex shedding frequency is close to the natural frequency of the bluff structure, large oscillations can occur and may result in potential damages. On the other hand, these large oscillations can be used for energy harvesting.

2 Experimental investigation

In this work, a rigid circular cylinder elastically mounted on an air-bearing system is immersed in a low-velocity water channel. During the experiments, the location and speed of the cylinder are measured. A DC motor is used to simulate damping and stiffness coefficients without being mechanically intrusive. Under low damping and low mass ratio, elastically mounted cylinders are known to provide large oscillations over a limited range of flow velocities and to exhibit three branches of free vibrations as illustrated in Figure 1. Different vortex modes can be observed in the cylinder's wake depending on the response branch. The device under investigation has demonstrated that the added friction due to the generator is compensated and the free vibration response obtained without it is recovered and properly match that observed by different authors. Flow visualisations with hydrogen bubbles and particle image velocimetry (PIV) have been also performed to finely characterise the different vortex modes in the wake of the oscillating cylinder and to validate the proposed device. The following phase of the work will consist in the investigation of the interaction of two devices installed in a row. Active control based on machine learning algorithms will then be implemented with objective to optimise the energy which can be potentially harvested from both devices.

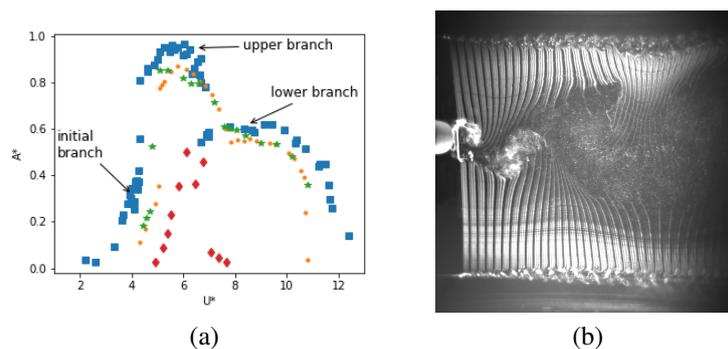


FIGURE 1 – (a) Amplitude of oscillation of an elastically mounted cylinder under various flow-speeds. Current work : (*) device without DC motor connected, (◇) device with DC motor connected, (●) device with DC motor and stiffness/damping correction. Litterature : (■) results of Khalak and Williamson^[1]. (b) Hydrogen bubbles visualization.

Keywords : Vortex Induced Vibrations (VIV), Virtual damper-spring, Energy harvesting, Flow control, Experimental investigation

Références

- [1] A. Khalak, C.H.K. Williamson. Fluid forces and dynamics of a hydroelastic structure with very low mass and damping. Journal of Fluids and Structures vol. 11(8) (1997) pp. 973-982

Influence des mesures expérimentales sur la modélisation du changement de phase

M. Sawadogo^a, M. Duquesne^b, R. Belarbi^c, A. Hammami^d, Alexandre Godin^e.

a. La Rochelle Université, LaSIE UMR CNRS 7356, Avenue Michel Crépeau, 17042 La Rochelle Cedex 1, France. Email : mohamed.sawadogo@univ-lr.fr

b. Bordeaux INP, CNRS, I2M Bordeaux, Esplanade des Arts et Métiers, F-33405, Talence CEDEX, France. Email : mduquesn@enscbp.fr

c. La Rochelle Université, LaSIE UMR CNRS 7356, Avenue Michel Crépeau, 17042 La Rochelle Cedex 1, France. Email : rafik.belarbi@univ-lr.fr

d. La Rochelle Université, LaSIE UMR CNRS 7356, Avenue Michel Crépeau, 17042 La Rochelle Cedex 1, France. Email : ameur_el_amine.hamami@univ-lr.fr

e. Amplitude, 11 avenue de Canteranne, Cité de la Photonique, Bâtiment MEROPA, 33600 Pessac, France. Email : alexandregodin1@hotmail.com

Résumé

Lors du stockage par chaleur latente, l'énergie est emmagasinée grâce au changement d'état d'un matériau puis restituée quand le matériau revient à sa phase initiale. Les systèmes de stockage d'énergie thermique par chaleur latente intègrent des matériaux à changement de phase (MCP) comme matériaux de stockage. La densité énergétique élevée des MCP, leur capacité à stocker à température quasi constante et la diversité des matériaux disponibles font des systèmes de stockage à chaleur latente des technologies particulièrement compétitives pour de nombreuses applications. Mes travaux de thèse s'inscrivent dans le cadre du stockage par chaleur latente pour une application au secteur du bâtiment et plus précisément, portent sur l'intégration des MCP au sein de systèmes de stockage passifs.

Les performances d'un système de stockage d'énergie thermique sont fortement influencées par la nature et les propriétés des MCP. La première étape dans la conception d'un système de stockage consiste à estimer les propriétés du MCP en fonction de la température d'une part, et à étudier le comportement du MCP au cours des changements de phase (cycles de charge/décharge d'énergie) d'autre part. La simulation numérique permet de dimensionner les systèmes puis intégrer des MCP dans les enveloppes de bâtiments et de prévoir leur comportement à différentes échelles. La modélisation des MCP sous la forme enthalpique équivalente [1] a été utilisée pour ce faire (COMSOL Multiphysics).

Dans cette étude, nous avons utilisé la solution analytique du problème de Stefan [2] décrivant la fusion de la glace pour valider le modèle développé (Figure 1). Une étude paramétrique a ensuite permis de mettre en évidence l'importance du choix des paramètres de la fonction enthalpie-température (fonction de lissage, plage de changement de phase) et géométriques (discrétisation spatiale). Cette étude a aussi montré la nécessité d'une estimation expérimentale des propriétés thermo-physiques des MCP et des différentes incertitudes de mesures associées, ces propriétés étant ensuite considérées dans les modèles numériques.

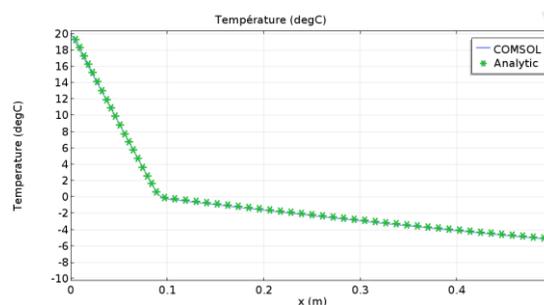


Figure 1: Profil de température le long du domaine de la glace partiellement fondue (en m) du modèle du présent travail vs celui de la solution analytique du problème de Stefan à $t=50h$

Mots clefs : Transferts, matériaux à changement de phase, COMSOL, formulation enthalpique.

Références

- [1] V.R. Voller, M. Cross, N.C. Markatos, An enthalpy method for convection/diffusion phase change, Int. J. Numer. Methods Eng. 24 (1) (1987) 271-284
- [2] M. Muhieddine, Simulation numérique des structures de combustion préhistoriques. Thèse d'Informatique, Université de Rennes 1, oct. 2009

Liste des soutiens

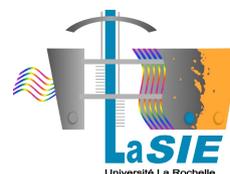


AFM / GTT-AUM

Groupe Thématique Transverse "Activités Universitaires en Mécanique" de l'Association Française de Mécanique



La Rochelle Université



Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement - UMR CNRS 7356



Bordeaux INP



Université de Poitiers



Institut d'ingénierie et de mécanique de Bordeaux



UTC Compiègne



École Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique



ReDoc SPI

Réseau National des Ecoles Doctorales - Sciences pour l'Ingénieur



Institut P'