Lettre d'information du GIME n° 19 – Juillet 2026

Editorial

Une nouvelle édition de notre gazette Empreinte dans laquelle vous retrouverez la rubrique Focus, un espace pour présenter un point scientifique ou technique particulier. Pour cette édition, c'est Solène Comby-Dassonneville qui propose un texte sur la microdiffraction de Laue. Vous trouverez également un retour sur le Colloque Indentation 2025 qui s'est tenu à Besançon, ainsi que la présentation des travaux du lauréat du prix de thèse Empreinte, décerné lors du colloque.

Vous retrouverez aussi les activités dans nos laboratoires : dernières publications et nomination à l'IUF de Gaylord Guillonneau comme membre junior.

Nous nous donnons rendez-vous le **22 octobre 2026** pour le prochain **webinaire du GIME**, nous comptons sur votre présence et sur votre relais dans vos laboratoires.

Cette lettre est marquée d'une triste nouvelle, le décès de Warren Oliver, pionnier de l'indentation instrumentée. Un hommage lui est rendu par Jean-Luc Loubet.

Julie Marteau, Francine Roudet, Alex Montagne

Table des matières

La vie au GIME 2

Focus 2

Retour sur colloque Indentation 2025 à Besançon 5

Prix de thèse EMPREINTE 2025 7

L'actu des labos 7

Publications récentes du groupe 7

Distinction 9

Evènements 10

Hommage à Warren Oliver 10

Contacts 11

La vie au GIME

Focus

Microdiffraction de Laue : un outil puissant pour l'étude des mécanismes de déformation

(par S. Comby-Dassonneville, T. W. Cornelius, O. Thomas)

La microdiffraction Laue repose sur deux caractéristiques majeures. Tout d'abord, elle utilise un faisceau polychromatique (« faisceau blanc ») couvrant une large gamme d'énergies de rayons X. Lorsqu'il est focalisé sur un cristal, plusieurs longueurs d'onde satisfont simultanément les conditions de diffraction pour différentes familles de plans cristallins. Les rayons diffractés forment alors un ensemble de taches de Laue dont la position dépend directement de la structure cristalline et de l'orientation locale du réseau. L'indexation de ces clichés permet ainsi de déterminer la structure et l'orientation cristallines, tandis que l'écart entre les clichés expérimentaux et théoriques donne accès à la composante déviatorique du tenseur de déformation. La seconde particularité de la technique réside dans l'utilisation d'un faisceau submicrométrique, de quelques centaines de nanomètres, offrant une excellente résolution spatiale.

Ainsi, un balayage spatial ou temporel d'un échantillon permet de suivre l'évolution locale de l'orientation cristalline, des déformations élastiques ou plastiques, mais aussi des transformations de phase cristalline, sans avoir la nécessité de tourner l'échantillon comme pour la diffraction des rayons X monochromatique. La microdiffraction Laue est donc particulièrement adaptée à l'étude *in situ* des mécanismes de déformation lors d'essais micromécaniques.

Dans cette perspective, le groupe MNO (Mécanique des Nano-Objets) de l'IM2NP a développé un microscope à force atomique et a adapté un dispositif de micro-compression (FT-NM04, Femtotools) sur la ligne BM32 de l'ESRF, dont une partie de la ligne est dédiée à la microdiffraction Laue. Ces instruments ont été mis en œuvre dans plusieurs projets de recherche, dont deux exemples sont présentés ci-après.

➢ **Évolution des systèmes de glissement au cours de la plasticité d'un alliage Heusler $MnCu_2Al$ [1]** :

Dans cette étude, les différents stades de la déformation plastique d'un alliage Heusler $MnCu_2Al$ ont été analysés. La compréhension de la plasticité dans ces systèmes est particulièrement importante, car leurs propriétés magnétiques dépendent fortement de l'arrangement atomique local, susceptible d'être modifié au cours de la déformation. La figure 1 présente l'exemple de la compression d'un micro-pilier ($5x5x10\mu m^3$). Les courbes mécaniques obtenues lors des essais de compression fractionnée sont reportées en (a). Après chaque déchargement mécanique, des cartographies de diffraction Laue ont été réalisées afin d'associer une orientation cristalline à chaque pixel. Cette approche permet de suivre l'évolution de la distribution des orientations cristallines sur une figure de pôle inverse, illustrée en (c). En reportant sur ces figures les axes de rotation associés aux différents systèmes de glissement potentiellement activés, il apparaît qu'aux faibles déformations la

plasticité est majoritairement accommodée par des systèmes de type {110}<111>, présentant pourtant des facteurs de Schmid inférieurs à ceux des systèmes {112}<111> pour l'orientation étudiée ([451]). À mesure que la déformation augmente, une transition s'opère toutefois vers une activation dominante des systèmes de type {112}. Cette transition s'accompagne en outre d'une forte localisation de la déformation, clairement visible sur les cartographies de désorientation (d), calculées en prenant comme référence l'orientation initiale au niveau du piédestal du micro-pilier. L'activation simultanée des systèmes {110} et {112} est également mise en évidence directement sur les clichés de diffraction Laue. Comme illustré en (b), les taches de diffraction présentent des élongations caractéristiques suivant les axes de rotation associés à ces deux familles de systèmes de glissement. Ces observations ont par ailleurs été confirmées par microscopie électronique en transmission [1]. Ce travail a été réalisé en collaboration avec l'Université de Californie à Santa Barbara (UCSB), dans le cadre de l'IRP CNRS DASEIN.

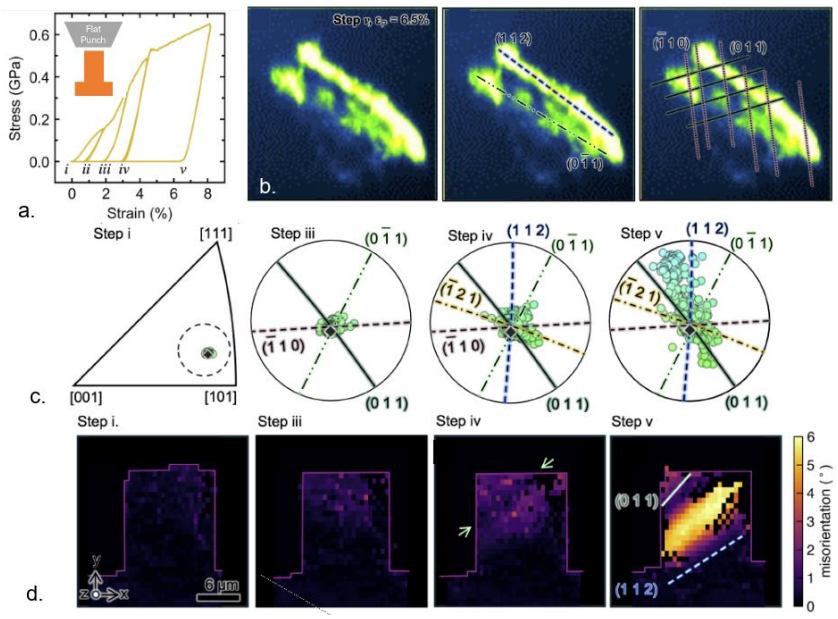


Figure 1 : Essais de compression d'un micro-pilier [451] d'alliage Heusler $MnCu_2Al$ (a) couplé avec des mesures de microdiffraction Laue, montrant une tache de diffraction après déformation (b), et l'évolution des orientations cristallines sur l'ensemble du pilier après déformation plastiques graduelles (c) et les désorientations associées (d). Adapté de [1].

➢ **Transformation de phase sous contrainte de la zircone ceriée [2] :**

Au-delà du suivi des rotations locales du réseau cristallin, la microdiffraction Laue est particulièrement adaptée à l'étude des transformations de phase sous sollicitation mécanique. Dans le cadre de la thèse de Marcelo D. Magalhaes et du projet ANR NANOTRIP, cette technique a été utilisée pour suivre *in situ* la transformation de phase tétragonale → monoclinique dans de la zircone ceriée, initialement stabilisée sous sa forme tétragonale, lors d'essais de compression sur des micro-piliers de 1 µm de diamètre.

Le suivi des taches de diffraction tout au long des essais a permis de déterminer avec précision la contrainte de transformation pour une large gamme d'orientations cristallines initiales, mettant ainsi en évidence des orientations favorables à cette transformation. Les résultats ont également été mis en regard d'autres mécanismes de déformation, tels que le glissement ou la fracture. La figure 2 illustre par exemple l'évolution de clichés Laue au cours d'un essai de compression. Initialement tétragonal (1), le pilier subit une transformation vers la phase monoclinique (2), avant qu'un changement brutal d'axe de zone ne révèle une fracture du micro-pilier (4). La transformation de phase précédant systématiquement la fissuration dans

les échantillons analysés montre qu'on se trouve dans le cadre d'une plasticité induite par la transformation (TRIP), plutôt que d'une ténacification par fissuration (crack toughening). Enfin, l'analyse des clichés Laue a permis de reconstituer le chemin cristallographique de la transformation tétragonale–monoclinique et de le confronter aux prédictions de la théorie des transformations martensitiques. Une très bonne concordance est globalement observée pour l'ensemble des orientations étudiées, même si certaines différences mettent en avant la limite de cette théorie, fondée essentiellement sur un critère géométrique.

Finalement, ces deux exemples illustrent l'intérêt majeur de ce couplage expérimental pour l'étude des mécanismes de déformation. Le microscope Laue utilisé *in situ* en cours de déformation permet de « visualiser » la façon dont le cristal se transforme sous contrainte et ainsi de comprendre les mécanismes associés.

[1] B.E. Rhodes et al., In situ Laue microdiffraction tracking of the {110} to {112} slip mode transition in L21-ordered MnCu2Al, *J. Mater. Res. Technol*, 41 (2026) 6748–6765. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2026.02.172.

[2] M.D. Magalhaes et al., *In-situ* Laue micro-diffraction during compression tests on Ce-TZP single crystal micropillars, *J. Eur. Ceram.* 45 (2025) 116794. https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2024.116794.

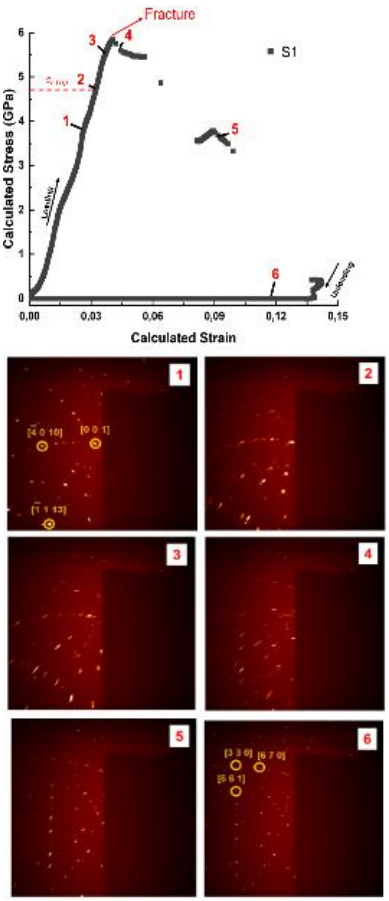
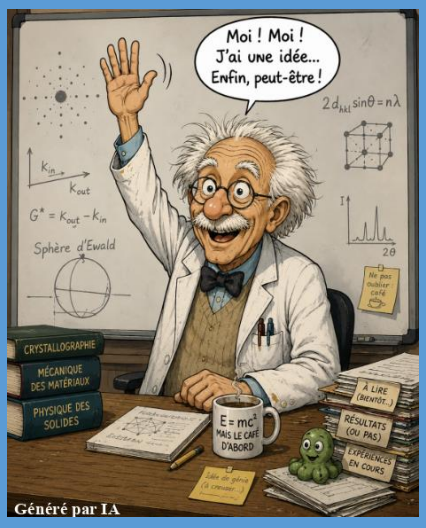


Figure 1: Evolution d'un cliché de diffraction Laue pendant un essai de compression. Adapté de [2].

Et pourquoi ne pas utiliser l'EBSD? – *puisque cette question revient souvent* -



Chaque technique présente en réalité ses avantages et ses inconvénients. La microdiffraction de Laue nécessite certes l'accès à une ligne synchrotron, contrairement à l'EBSD, mais elle n'est pas limitée par la nature isolante de l'échantillon ni par l'état de sa surface, par exemple, ne nécessitant pas de préparation particulière de l'échantillon à observer. Le volume sondé est en revanche plus important qu'en EBSD : même si la résolution spatiale peut être comparable, la profondeur analysée en diffraction atteint quelques dizaines de micromètres. Il peut ainsi devenir difficile d'indexer un cliché de diffraction de Laue lorsque plusieurs grains sont sondés en profondeur, même si les algorithmes actuels permettent d'en traiter entre 5 et 10 simultanément. En revanche, la résolution angulaire est généralement meilleure que celle de l'EBSD, pouvant aisément atteindre 10^{-4} rad. L'observation de la forme des tâches de diffraction permet également d'apporter des informations supplémentaires.

Retour sur colloque Indentation 2025 à Besançon

(par F. Richard, M-J. Pac, S. Giljean et Y. Gaillard)

Le colloque Indentation, organisé cette année par l'Institut Femto-st et le LPMT a eu lieu à Besançon du 30 septembre au 3 octobre 2025. Ce colloque du *Groupe Indentation Multi-Echelle* (GIME) réunit tous les deux ans scientifiques et industriels. L'objectif est d'échanger sur les récentes avancées de cette technique en termes de développements expérimentaux, caractérisation de propriétés et de comportement, gammes de matériaux étudiées et d'analyse des résultats ou de simulations numériques.





Comme pour les précédentes éditions, l'évènement s'est décomposé en deux parties :

Partie formation : Deux demi-journées de formation, théorique le mardi 30 septembre après-midi et pratique le mercredi matin. Cette formation a été suivie par 30 congressistes inscrits et à une cinquantaine d'étudiants de niveau master du site bisontin. Ces demi-journées ont été une réussite grâce aux collègues qui ont animé la partie théorique (Vincent Keryvin, Olga Smerdova et Christophe Tromas), numérique (Ludovic Charleux et David Mercier) et aux industriels qui ont animé la partie appliquée sur les instruments d'exposition.



Partie conférences : Quatre demi-journées de conférences ont réuni 90 inscrits dont 20 doctorants et 15 industriels (30 présentations orales, 13 posters). 7 exposants ont présenté leurs offres d'équipements liés à l'indentation. Un stand de démonstration de réalité virtuelle permettait de descendre dans les profondeurs des empreintes.

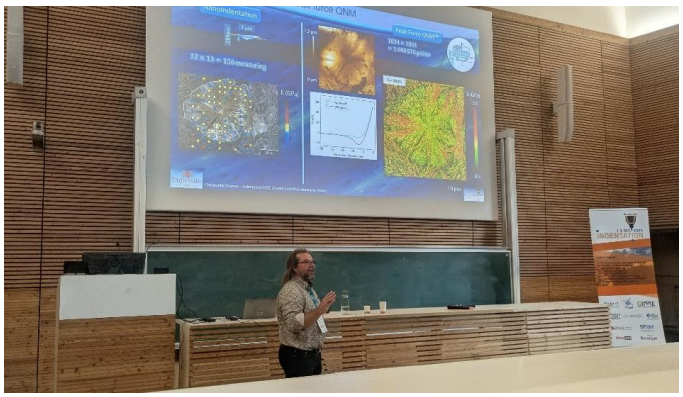








Christophe Tromas, conférencier invité, a parlé de mécanismes élémentaires de la plasticité, à l'échelle de la dislocation, qu'il étudie expérimentalement à l'aide de l'essai de nanoindentation, avec un focus sur la plasticité des phases MAX et le rôle du maclage dans ces matériaux nanolamellaires.





Les participants ont retrouvé l'ambiance conviviale des colloques indentation et profité du centre-ville historique autour des spécialités culinaires de la région et du musée du Temps.

L'équipe organisatrice : Fabrice RICHARD, Marie-José PAC, Sylvain GILJEAN, Philippe STEMPFLE, Florian BOUTENEL, Violaine GUICHERET, Yves GAILLARD, Arnaud LEJEUNE, Christine PETIT, Delphine TRAVAGLINI, Jalal SMIRI, Olivier ESTIENNE, Israà ARAFAT, Alexandre BOURCERET, Laura CLODORE

Prix de thèse EMPREINTE 2025



Le prix de thèse Empreinte 2025 a été décerné à Yvan Marthouret pour sa thèse intitulée « Étude de l'interface joint-bride pour les applications de haute étanchéité », co-encadrée par Tony Zaouter, Florent Ledrappier, András Borbely et Guillaume Kermouche au Laboratoire G. Friedel de l'EMSE.

Dans cette thèse, la déformation du revêtement du joint sous le serrage contribue au bouchage des sillons entre les aspérités de la bride interdisant le passage du fluide et assurant ainsi l'étanchéité souhaitée. L'objectif était de comprendre cette déformation plastique pour des contacts quasi-complets et de prédire la séparation des surfaces résultante du serrage.

La topologie caractéristique des brides usinées par tournage offre la possibilité d'associer la surface à une série d'indenteurs dièdres donnant ainsi accès à la théorie de l'indentation. La validité de modèles de dureté en indentation simple a d'abord été vérifiée puis des simulations éléments finis ont été réalisées pour étudier les spécificités de la multi-indentation compte tenu de la proximité des aspérités. L'interaction des indenteurs voisins a été observée, ce mécanisme est important dans la prédiction de l'étanchéité car il augmente la pression de contact nécessaire pour atteindre un bouchage complet du sillon.

Un modèle réduit a également été développé pour prédire la déformation et la pression à l'interface. Il est basé sur un comportement en érosion avec une correction de la pression de contact par base de données afin de prendre en compte l'interaction. Enfin, une interface de contact a été observée par micro-tomographie haute énergie. Cette observation a montré une bonne correspondance avec les résultats des simulations éléments finis qui ont été une référence tout au long de l'étude.

Vous pourrez prochainement trouver la vidéo présentant les travaux de thèse du lauréat sur le site du GIME**.**

L'actu des labos

Publications récentes du groupe

Abouhadid, F., Adogou, B., Sao-Joao, S., Kermouche, G., Michler, J., Loubet, J.-L., Guillonneau, G., 2026. **Shear mechanical properties measurements at the surface scale: Enhanced performances of the micro-shear compression specimen**. Tribol. Int. 214, 111269. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2025.111269

Baral, P., Jaddi, S., Wang, H., Orekhov, A., Gauquelin, N., Bagherpour, A., Van Loock, F., Coulombier, M., Favache, A., Rusinowicz, M., Verbeeck, J., Lucas, S., Raskin, J.-P., Idrissi, H., Pardoen, T., 2025. **Al2O3/Al hybrid nanolaminates with superior toughness, strength and ductility**. Nat. Commun. 16, 1355. https://doi.org/10.1038/s41467-025-56512-7

Bourceret, A., Gaillard, Y., Lejeune, A., Richard, F., 2025. **Interaction coefficients in FCC nickel crystal identified from Berkovich nanoindentation imprints using FEMU**. Mater. Des. 260, 114887. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2025.114887

Collet, R., Jacques, R., Maisonnette, D., Chen, Y., 2026. **High-throughput nanoindentation for the mechanical characterization of bearing steel subjected to fretting mechanisms**. Mater. Today Commun. 53, 115227. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2026.115227

Kalácska, S., Pethö, L., Kermouche, G., Michler, J., Ispánovity, P.D., 2025. **Strain rate sensitivity of a Cu/Al2O3 multi-layered thin film**. Surf. Coat. Technol. 498, 131817. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2025.131817

Kalácska, S., Sharma, A., Ramachandramoorthy, R., Vida, Á., Tropper, F., Pero, R., Frey, D., Maeder, X., Michler, J., Ispánovity, P.D., Kermouche, G., 2025. **Micromechanics reveal strain rate dependent transition between dislocation mechanisms in a dual phase high entropy alloy**. Acta Mater. 294, 121076. https://doi.org/10.1016/j.actamat.2025.121076

Keryvin, V., Kermouche, G., Sao-Joao, S., 2026. **Radial elastic heterogeneity in a high-modulus carbon fibre assessed by nano-indentation and micro-pillar compression**. Carbon 247, 120991. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2025.120991

Keryvin, V., Ueda, M., Kermouche, G., Marthouret, Y., Sao-Joao, S., 2025. **Assessing the validity of micro-pillar compression for determining strength and stiffness of carbon fibres**. Compos. Sci. Technol. 272, 111362. https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2025.111362

Magalhães, M.D., Kalácska, S., Comby-Dassonneville, S., Douillard, T., Huynh, G., Reveron, H., Meille, S., Cornelius, T.W., Kermouche, G., Thomas, O., Chevalier, J., 2025. **Phase transformation in Ce-Doped zirconia single and oligo-crystals: In-situ micro-compression with electron back-scattered diffraction analysis**. Acta Mater. 301, 121553. https://doi.org/10.1016/j.actamat.2025.121553

Mercier, D., Gharoussi, Y.E., 2026. **Enhancing phase clustering in nanomechanical property maps of multiphase materials using kernel-averaged mechanical mismatch**. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2603.02090

Merle, B., Tiphéne, G., Kermouche, G., 2025. **Extending nanoindentation testing toward extreme strain rates and temperatures for probing materials evolution at the nanoscale**. MRS Bull. 50, 705–714. https://doi.org/10.1557/s43577-025-00918-7

Naceri, S.E., Rusinowicz, M., Coulombier, M., Pardoen, T., 2025. **Cracking resistance of nanostructured freestanding tungsten films**. J. Mech. Phys. Solids 200, 106143. https://doi.org/10.1016/j.jmps.2025.106143

Rusinowicz, M., Sao-Joao, S., Bourguignon, M., Rosales-Sosa, G., Kato, Y., Volpi, F., Barthel, E., Kermouche, G., 2025. **Electric charges as an apparent governing parameter for electron induced stress relaxation in amorphous silica micropillars**. Scr. Mater. 261, 116628. https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2025.116628

Rusinowicz, M., Volpi, F., Parry, G., Boujrouf, C., Bernard, T., Verdier, M., Braccini, M., 2026. **Mechanical and electrical properties of copper oxide thin films formed by thermal oxidation**. J. Mater. Res. 41, 866–880. https://doi.org/10.1557/s43578-026-01800-1

Vernassa, G., Rusinowicz, M., Kalácska, S., Sao-Joao, S., Bottura, L., Felice, H., Bordini, B., Bergheau, J.-M., Kermouche, G., 2025. **Elasticity, Plasticity, and Fracture Toughness of REBCO Coated Conductors Characterized via Micromechanical Tests at Room Temperature**. IEEE Trans. Appl. Supercond. 35, 1–7. https://doi.org/10.1109/TASC.2025.3530382

Distinction

Gaylord Guillonneau, nommé membre junior à l'Institut Universitaire de France :

L'activité de recherche de Gaylord Guillonneau consiste à mieux comprendre les propriétés mécaniques des surfaces au plus proche de leurs conditions de fonctionnement réel (température, vitesse). Les surfaces qu'il caractérise sont principalement des couches minces, pour la plupart soumises à des sollicitations tribologiques (frottement, usure), notamment des tribofilms ou des surfaces transformées tribologiquement (TTS). Il s'intéresse aujourd'hui à la compréhension des propriétés mécaniques des surfaces et couches minces à très haute température (500-1000°C), par l'utilisation d'une méthode originale, nommée High Temperature Scanning Indentation, permettant le suivi *in situ* de l'évolution des propriétés mécaniques lors d'un cycle thermique complet. Sa nomination à l'IUF lui permettra de continuer sur cette thématique et de mener des recherches sur la compréhension des propriétés mécaniques et chimiques en proche surface à très haute température, et en environnement contrôlé, afin de maîtriser l'environnement chimique des surfaces, ainsi que leurs phénomènes d'oxydation en température. Cette activité sera réalisée via l'intégration d'un nanoindenteur haute température dans une chambre environnementale à vide poussé.

Page de l'IUF : https://www.iufrance.fr/les-membres-de-liuf/membre/3060-gaylord-guillonneau.html

Evènements

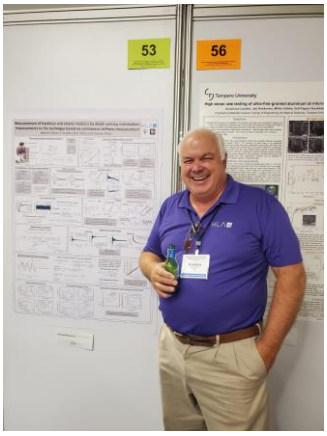
- Matériaux 2026, colloque 14 « Surfaces, corrosion, durabilité », Grenoble du 16 au 20 novembre 2026 (https://materiaux2026.org/)

- Le prochain webinaire du groupe GIME se tiendra le **22 octobre 2026**. Comme les années précédentes les intervenants seront de jeunes chercheurs (doctorants en fin de thèse ou post-doctorants).

Plus d'informations seront diffusées via la liste du GIME. Si on vous a transmis cette newsletter, n'hésitez pas à demander votre inscription sur la liste de diffusion (gerard.mauvoisin@univ-rennes.fr).

Hommage à Warren Oliver

C'est avec émotion que j'ai appris le décès soudain de notre collègue et ami Warren C. Oliver, survenu dimanche 6 juillet 2026 à l'âge de 70 ans.



Warren aura vécu plusieurs vies. Chercheur, il est l'un des fondateurs de l'indentation instrumentée ; inventeur, il est le co-inventeur de l'un des premiers nano-indenteurs ; entrepreneur, il a créé une saga d'entreprises qui ont distribué dans le monde entier des dispositifs d'une grande originalité dédiés aux essais « micromécaniques ». Ses très nombreux articles et brevets attestent de la richesse créative de cet homme et de sa connaissance profonde des matériaux. Pour ceux qui ne l'auraient pas encore fait, je vous conseille de consulter ses pages Google Scholar et Research Gate. Le nombre des citations est extraordinaire, l'étendue des sujets traités et le nombre de coauteurs tout autant. Ils montrent non seulement une grande puissance de travail et une colossale curiosité, mais aussi l'immensité du réseau qu'il a su animer dans le monde entier. De ces faits, nous pouvons affirmer que sa recherche de pionnier, qu'il aura consolidée au cours de toute sa vie, restera comme fondatrice d'une communauté dédiée à la nano-indentation et aux essais nano-mécaniques.

Je suis certain que tous ceux qui auront pu échanger avec lui - et ils sont nombreux - garderont le souvenir d'un homme ouvert à la discussion, facile d'abord, d'une grande culture scientifique, jamais avare d'un conseil pertinent et d'un enthousiasme communicatif. Nombre d'entre nous, moi y compris, lui sommes profondément reconnaissants pour ses conseils avisés. Nos dernières collaborations autour des essais à haute température, méthode HTSI, ont donné lieu non seulement à l'émergence d'une nouvelle procédure de mesure et

d'analyse mais également à de riches échanges humains qui dépassent le simple cadre du travail.

Et puis et surtout, tous les sujets l'intéressaient. Il les rendait passionnants. Fidèle en amitié, il ouvrait sa porte pour de formidables instants de partage. Invité chez lui, une bière à la main, quel plaisir de parler avec lui d'aéromodélisme, passion d'enfance, de l'entendre analyser les limites physiques des matériaux d'un haut-parleur, de l'entendre décortiquer les techniques de construction de châteaux de sable - activité de vacances - ou encore de la dernière technologie numérique d'acquisition de données et de l'architecture de son prochain dispositif d'essai.

Très proche de sa famille, il les entourait d'une grande bienveillance. Mes pensées vont à son épouse Cheryl et à leurs trois enfants ainsi qu'à leurs proches en ces moments difficiles.

Enfin permettez-moi de partager une citation qui me vient en ce temps douloureux lorsque je pense à lui : *La perception de l'infiniment petit est le secret de la clairvoyance, la protection de l'infiniment fragile et tendre est le secret de la force,* Lao-Tseu.

Bien à vous,

Jean-Luc Loubet

Contacts

Bureau du GIME

Président :	Guillaume Kermouche
Président adjoint :	Alex Montagne
Secrétaires :	Julie Marteau
	Francine Roudet
Président sortant :	Gérard Mauvoisin
Organisateur du prochain colloque :	Fabien Volpi

Allez voir le site du GIME hébergé par la SF2M ! Pour le consulter c'est par ici.



Une info ? Une nouvelle à partager avec tout le groupe ? Une seule adresse : gime@listes.asso.univ-rennes1.fr.