



## Editorial

1	Editorial
1	Faits marquants
1	Les Douz'heures
2-3	Soutenances de thèses
3	Naissance
4-5	Le kiosque

C'est l'été, brûlant, en cette année 2015. Cela explique en partie pourquoi les jeux d'eau ont eu tant de succès lors des derniers Douz'heures du Centre. Une journée qui a réuni la plupart des personnels de tous types du CdM, une journée en dehors des obligations, loin des soucis présents et à venir. Ouf !

Malgré cette envie de paresse qui nous a tous atteint cet été, trois thèses ont été soutenues début juillet, et de nombreuses publications ont paru, notamment des actes relatifs aux conférences estivales.

*Pour La Tribune  
Françoise Di Rienzo*

### Faits marquants de juillet-août :

- **02/07/2015** : soutenance de thèse de Samuel JULES
- **02/07/2015** : soutenance de thèse de Franck TANKOUA YINGA
- **08/07/2015** : soutenance de thèse de Francescao DELLORO

### Faits marquants de septembre :

- **04/09/2015** : séminaire CDM "Comportement du gainage REP en conditions accidentelles (RIA et APRP)"
- **10-11/09/2015** : séminaire du département Mécanique&Matériaux
- **14/09/2015** : rentrée du mastère spécialisé DMS
- **22/09/2015** : soutenance de thèse de Elodie BOSSO
- **22/03/2015** : soutenance de thèse de Georges PEYRE
- **24/03/2015** : séminaire de K. HOLMBERG

## Les Douz'heures

Inscrits dans nos traditions de centre depuis plus de 20 ans, les 12h 2015 ont eu lieu le **12 juin 2015!**

Lors de cette journée unique, on a vu s'affronter, dans une course de chars endiablée, en l'honneur d'Hermès, des concurrents déchaînés. L'arène des gladiateurs du dieu Arès a abrité les combats d'adversaires épiques. La déesse de la chasse Artémis a défié ses admirateurs au tir à l'arc géant.



Après ces rudes épreuves, une baignade rafraîchissante dans la piscine des thermes romains a permis aux concurrents de reprendre des forces et de festoyer lors du banquet gaulois.

Cette journée magnifique, sans contexte, nous a rapprochés du domaine des dieux.



Merci aux organisateurs, qui ont, encore une fois, trouvé un thème nouveau et des jeux plus amusants les uns que les autres. D'autres images en dernière page.

**Source : F. DI RIENZO**

## Soutenances

### **Vieillessement de joints brasés pour l'électronique de puissance: caractérisation métallurgique et simulation numérique du comportement mécanique**

**Samuel JULES**  
*le 2 juillet 2015*

Les nouvelles technologies mécatroniques permettent de réduire fortement la consommation d'énergie et les émissions des véhicules individuels, en introduisant des ruptures indispensables pour une chaîne de traction électrifiée complémentaire ou alternative aux moteurs thermiques. Les assemblages en électronique de puissance utilisés dans les systèmes alterno-démarrateurs emploient des alliages de brasage dont il s'agit de trouver des substituants, sans plomb, en accord avec les normes internationales. Cette thèse contribue à la caractérisation métallurgique et mécanique de deux joints brasés sans plomb innovants riches en étain. Ces joints sont produits industriellement par un procédé de brasage laser qui leur confère une microstructure de solidification très hétérogène, peu reproductible, multiphasée et qui présente un grand nombre de défauts.

L'objectif de cette thèse est d'apporter une meilleure compréhension à la tenue mécanique de ces joints brasés au cours du vieillissement thermomécanique des assemblages. Les sollicitations thermiques engendrent des contraintes et des déformations plastiques à cause de la dilatation différentielle qui existe entre les différentes couches des matériaux brasés. Des lois de comportement isotropes ont été identifiées à partir d'une base expérimentale d'essais de

traction sur des matériaux massifs. Ces lois, utilisées dans des simulations aux éléments finis, ont permis d'évaluer l'effet négatif du défaut de porosité inhérent au procédé de brasage. Des essais de vieillissement couplés à des observations de l'évolution de la microstructure ont permis de montrer l'influence de l'orientation des grains d'étain sur l'amorçage de fissure. Nous n'avons pas pu proposer de volume élémentaire représentatif du fait de la complexité de la structure. Une méthode inverse a été mise en œuvre en parallèle de la conception d'un banc d'essai de flexion in-situ sous profilomètre afin de placer les premières briques permettant la caractérisation mécanique de joints brasés industriels.

### **Transition ductile-fragile des aciers pour gazoducs: Etude quantitative des ruptures fragiles hors plan et corrélation à l'anisotropie de microtexture**

**Franck TANKOUA YINGA**  
*le 02 juillet 2015*

La bonne ténacité des aciers pour gazoducs aux basses températures est nécessaire pour éviter la propagation de fissures de manière catastrophique. Cette étude vise à améliorer la compréhension physique et l'évaluation quantitative du comportement à rupture des aciers pour gazoducs laminés à chaud, en nous intéressant plus particulièrement aux températures au pied de la transition ductile-fragile. La résilience de ces aciers est généralement validée à l'aide d'essais dits drop weight tear tests (DWTT), après lesquels le faciès de rupture doit contenir moins de 15% de zone fragile. Pour les aciers mis en forme par laminage thermomécanique (TMCP), des ruptures fragiles hors plan, comme le

délaminage (qui se propage dans le plan de laminage de la tôle), et la rupture fragile en biseau le long des plans dits thêta (inclinés de 40° autour de la direction de laminage par rapport au plan de laminage) apparaissent dans la transition ductile-fragile. Ces modes de rupture, observés lors des essais de résilience (DWTT, Charpy) et de ténacité (CT), affectent la résistance à la rupture de ces aciers. L'anisotropie de l'écoulement plastique, puis celle de la sensibilité à la rupture par clivage ont été caractérisées en fonction de la température, à l'aide d'essais de traction sur des éprouvettes lisses et entaillées conçues pour cette étude. L'analyse mécanique de ces essais à l'aide de calculs par éléments finis a permis de déterminer des contraintes critiques de clivage dans les directions perpendiculaires au plan de laminage et aux plans thêta. Les valeurs obtenues dans ces directions sont de 25% inférieures à celles correspondant aux directions de laminage et travers long. L'anisotropie de la contrainte critique de clivage a été quantitativement corrélée à l'anisotropie de microtexture du matériau. Des entités appelées « facettes de clivage potentielles » ont été définies et mesurées dans cette étude, comme des régions contenant un plan {100} défavorablement orienté et dans lesquelles les fissures de clivage se propagent sans être arrêtées. Par exemple, un plan contenant 20% de facettes de clivage potentielles aurait une contrainte critique de clivage de 20% moins élevée qu'un plan présentant seulement 10% de facettes de clivage potentielles. La taille et la forme de ces facettes de clivage potentielles évoluent avec la déformation plastique. Par conséquent, la contrainte critique de clivage est affectée par l'historique de déformation. Dans le cas du délaminage, les facettes de clivage potentielles s'allongent au cours d'un chargement dans la direction travers long, conduisant à une augmentation de leur taille effective et par conséquent à une diminution (qui peut atteindre 30%) de la contrainte critique de clivage dans le plan de la tôle. Cette diminution

## Soutenances

facilite in fine l'apparition du délaminage. De plus, la présence de micro-fissures ductiles facilite la rupture par délaminage en modifiant l'état de contrainte local. Un critère a ainsi été proposé pour prédire numériquement l'amorçage du délaminage dans des éprouvettes de traction et/ou de résilience Charpy. L'application de cette approche à des échantillons traités thermiquement et à des échantillons pré-déformés a montré que la sensibilité au délaminage pouvait être contrôlée en modifiant la texture locale initiale du matériau.

### **Méthodes morphologique et par éléments finis combinées pour une nouvelle approche de la modélisation 3D du dépôt par projection dynamique par gaz froid ("cold spray")**

**Francesco DELLORO**  
le 08 juillet 2015

L'objectif principal de cette étude était de réaliser une modélisation du procédé cold spray, fondée sur l'observation expérimentale et sur des modèles physiques capables de prédire la microstructure du dépôt en fonction de la morphologie de la poudre et des paramètres de projection. Pour y arriver, les travaux se sont organisés autour de trois axes principaux de recherche : caractérisation de la poudre en 3D, simulations d'impact par éléments finis et modélisation d'empilement. Un procédé innovant de caractérisation morphologique de la poudre en 3D, utilisant la microtomographie par rayons X, a été développé. Le traitement des images résultantes a permis d'isoler les particules individuelles, regroupées dans une bibliothèque 3D d'environ 18000 objets. Leur taille et forme ont été caractérisées quantitativement. La méthode de partitionnement des données dite « K-means » a été utilisée pour la répartition des particules en 7 classes de forme. Le deuxième axe de recherche portait sur la simulation d'écrasement des particules, par la

méthode des éléments finis (logiciel Abaqus, approche lagrangienne). L'utilisation d'outils de maillage adaptés a permis de réaliser des simulations d'écrasement des particules réelles (en provenance de la bibliothèque 3D). L'automatisation de ces simulations visait la possibilité d'en effectuer en grand nombre mais, face aux problèmes de robustesse rencontrés, le nombre de simulations menées à bien fut limité. Le troisième axe de recherche portait sur le développement d'un modèle d'empilement itératif, fondé sur l'utilisation des résultats des simulations d'écrasement. Ce modèle a été mis en place en 2D par simplicité. Différentes implémentations ont été essayées mais leur développement ne fut pas suffisamment abouti pour l'application à des cas pratiques. La validation des modèles s'est limitée aux simulations d'impact par éléments finis. Les deux types de splats (Ta sur Cu et Ta sur Ta), exigeant de méthodes d'observation expérimentale différentes, ont été traités séparément. Les premiers ont pu être directement observés par microtomographie et regroupés dans une bibliothèque 3D des splats Ta sur Cu. Ensuite, ils ont été comparés, de façon statistique mais aussi individuellement, aux correspondants simulés sans qu'aucune divergence évidente n'apparaisse. Le cas des Ta sur Ta est, en revanche, compliqué du fait de l'homogénéité du système qui empêche l'utilisation directe de la microtomographie. Bien que différentes méthodes visant à apporter une couche de contraste entre particule et substrat aient été essayées, la construction d'une bibliothèque 3D des splats Ta sur Ta n'a pas été possible. L'optimisation des poudres (choix de la granulométrie et de la forme, en vue d'une application donnée) est une des utilisations envisagées pour le modèle d'empilement, ainsi que la simulation de la projection de poudres composites (métal et oxyde). L'inclusion dans le modèle des transformations de phase ouvrirait la porte de la famille de la projection plasma ou de la fabrication additive. Plus généralement, la

philosophie derrière la modélisation d'empilement développée dans cette thèse peut être appliquée à tout procédé où l'apport de matière est fait à partir d'une « poudre » subissant une certaine transformation. Enfin, le couplage avec un modèle de comportement pourrait permettre l'estimation de certaines propriétés physiques (par exemple, les conductivités thermique et électrique), dépendant de la microstructure du dépôt.

**Sources :** les doctorants concernés.

## Naissance



Naissance d'Augustine, fille de Sébastien JOANNES, le 27 août 2015.

## Le kiosque juin-juillet-août

### Revue à comités de lecture

CHESNAUD Anthony, BRAIDA M.D., ESTRADE S., PEIRO F., TARANCON A., MORATA A., DEZANNEAU G., High temperature anion and proton conduction in RE<sub>3</sub>NbO<sub>7</sub> (RE = La, Gd, Y, Yb, Lu) compounds, Journal of the european ceramic society, 2015, 35, p. 3051-3061

VILLANI Aurélien, BUSO E.P., FOREST Samuel, Field theory and diffusion creep predictions in polycrystalline aggregates, Modelling and simulation in materials science and engineering, 2015, 23, 055006, 24 p.

BERNACHY BARBE F., GELEBART L., BORNERT M., CREPIN Jerome, SAUDER C., Anisotropic damage behavior of SiC/SiC composite tubes : multiaxial testing and damage characterization, Composites A, 2015, 76, p. 281-288

EIDI H., DAVID M.O., CREPEAUX G., HENRY L., JOSHI V., BERGER Marie Hélène, SENNOUR Mohamed, CADUSSEAU J., GHERARDI R., CURMI P., Fluorescent nanodiamonds as a relevant tag for the assessment of alum adjuvant particle biodisposition, BMC Medicine, 2015, 13, 144, 13 p.

GU T., HERVE LUANCO Eveline, PROUDHON Henry, THILLY L., DUBOIS J.B., LECOUTURIER F., CASTELNAU O., FOREST Samuel, Modélisation multi-échelle du comportement électrique de nano-composites Cu-Nb, Matériaux et techniques, 2015, 103, 309, 9 p.

CAILLETAUD Georges, QUILICI Stéphane, AZZOUZ Farida, CHABOCHE Jean Louis, A dangerous use of the fading memory term for non linear kinematic models at variable temperature, European journal of mechanics A, 2015, 54, p. 24-29

LE SAUX M., BESSON Jacques, CARASSOU S., A model to describe

the mechanical behavior and the ductile failure of hydrided Zircaloy 4 fuel claddings between 25°C and 480°C, Journal of nuclear materials, 2015, 466, p. 43-55

JAMBON Fanny, MARCHETTI L., SENNOUR Mohamed, JOMARD F., CHENE J., SIMS and TEM investigation of hydrogen trapping on implantation defects in a nickel-based superalloy, Journal of nuclear materials, 2015, 466, p. 120-133

FELD-PAYET S., CHIARUTTINI V., BESSON Jacques, FEYEL F., A new marching ridges algorithm for crack path tracking in regularized media, International journal of solids and structures, 2015, 71 p. 57-69

LORTHIOS Julie, MAZIERE Matthieu, LEMOINE X., CUGY P., BESSON Jacques, GOURGUES-LORENZON Anne-Françoise, Fracture behaviour of a Fe-22Mn-0.6C-0.2V austenitic TWIP steel, International journal of mechanical sciences, 2015, 101-102, p. 99-113

KHADYKO M., DUMOULIN S., CAILLETAUD Georges, HOPPERSTAD O.S., Latent hardening and plastic anisotropy evolution in AA6060 aluminium alloy, International journal of plasticity, 2016, 76, p. 51-74

SALLOT Pierre, MAUREL Vincent, REMY Luc, N'GUYEN Franck, LONGUET Arnaud, Microstructure evolution of a platinum modified nickel aluminide coating during thermal and thermo-mechanical fatigue, Metallurgical and materials transactions, 2015, 46, p. 4589-4600

### Chapitre d'ouvrage

TALEB L., SAI K., CAILLETAUD Georges, Capabilities of the multi-mechanism model in the prediction of the cyclic behavior of various classes of metals, in : From creep damage mechanics to homogenization methods, ed. H. Altenbach, Springer, 2015, p. 413-439

JEANDIN Michel, KOIVULUOTO H., VEZZU S., Coating properties, in : Modern cold spray, ed. J. Villafuerte, Springer, 2015, p. 107-211

### Actes de congrès

SORET Clément, MADI Yazid, BESSON Jacques, GAFFARD V., Use of the sent specimen in pipeline design, in : EPRG, European pipeline research group, 20th Joint Technical Meeting on pipeline research, Paris, 3-8 May 2015, 34 p

GEAGEA Maya, GENOV I., STOYNOV Z., VLADIKOVA D., CHESNAUD Anthony, THOREL Alain, Permeability of gases in the anode of an anode supported SOFC, in : ECS Transactions, ECS Conference on Electrochemical Energy Conversion and Storage with SOFC-XIV, Glasgow, 26-31 juillet 2015, p. 1185-1192

MASSON David, PERROZZI F., PICCARDO P., VIVIANI M., PILOT C., STOYNOV Z., VLADIKOVA D., CHESNAUD Anthony, THOREL Alain, Shaping of a dual membrane SOFC and first electrochemical tests in a dedicated 3 chamber set-up, in : ECS Transactions, ECS Conference on Electrochemical Energy Conversion and Storage with SOFC-XIV, Glasgow, 26-31 juillet 2015, p. 1969-1978

## Le kiosque juin-juillet-août

MASSON David, ABDALLAH B., WILLOT F., JEULIN D., MERCADELLI E., SANSON A., CHESNAUD Anthony, THOREL Alain, Morphological modeling of a metal foam supported SOFC configuration, in : ECS Transactions, ECS Conference on Electrochemical Energy Conversion and Storage with SOFC-XIV, Glasgow, 26-31 juillet 2015, p. 2951-2960

GEAGEA Maya, OUYANG J., CHI B., DELLORO Francisco, CHESNAUD Anthony, RINGUEDE A., CASSIR M., THOREL Alain, Architected interfaces and electrochemical modelling in an anode supported SOFC, in : ECS Transactions, ECS Conference on Electrochemical Energy Conversion and Storage with SOFC-XIV, Glasgow, 26-31 juillet 2015, p. 2961-2969

XU M., MASSON David, RYCKELYNCK David, CHESNAUD Anthony, THOREL Alain, Modelling and prediction of deformation during sintering of a metal foam based SOFC (EVOLVE), in : ECS Transactions, ECS Conference on Electrochemical Energy Conversion and Storage with SOFC-XIV, Glasgow, 26-31 juillet 2015, p. 2971-2980

Source : O. ADAM



### La Newsletter du Centre des Matériaux

Mines Paristech - Centre des Matériaux P.M. FOURS  
ARMINES - UMR CNRS 7633  
B.P. 87  
91003 Evry cedex  
<http://www.mat.ensmp.fr>  
Téléphone : (+ 33) 1 60 76 31 40  
Télécopie : (+33) 1 60 76 31 50  
Messagerie : francoise.di\_rienzo@mines-paristech.fr

### Equipe rédactionnelle

Rédactrice en Chef : Françoise DI RIENZO  
Responsable de production : Jacques BESSON  
La Page du CdM...Le Point ! : Odile ADAM  
Comité de relecture : F. DI RIENZO, Y. BIENVENU, O. ADAM



<http://www.mat.mines-paristech.fr>

Envie de publier un article sur un sujet qui vous passionne, envie de présenter un point de votre thématique de recherche, d'informer, de vulgariser ?

Le CdM Tribune est là pour ça et vous écoute ! N'hésitez plus, écrivez.