

Nov. - Déc. 2010



NEWSLETTER 39



CENTRE DES MATERIAUX  
P.M.FOURT

La Newsletter du CdM - Mines ParisTech



Editorial 1  
Faits marquants 1  
Soutenances de thèses 2-4  
Arrivée de S. JOANNES 4  
Départ de M. ROUSSELOT 5  
Colloque MAM 5  
Le point presse 6-8  
Séminaires 8  
La matière chronomètre 8  
Le CLuB ZéBuLoN 9  
Stagiaires, visites 9

## Editorial

En cette fin d'année les soutenances de thèses se succèdent rapidement, et vous en trouverez donc plusieurs résumées dans ce numéro de La Tribune.

Les publications aussi sont nombreuses. D'ailleurs en 2010 le Centre a publié davantage d'articles qu'à son habitude, ce qui satisfait les indicateurs qui jauge la Recherche.

Même si la période est moins propice aux conférences, vous trouverez ici quelques mots sur le colloque « Matériaux Architecturés Multifonctionnels » de novembre, ainsi qu'un court compte-rendu du CluB ZéBuLoN de décembre. Notez bien la date du prochain; le 16 juin 2011 ZéBuloN fêtera ses 30 ans.



Des mouvements de personnels permanents ont marqué cette période; Michel ROUSSELOT et Anthony BUNSELL ont fait valoir leurs droits à la retraite, Sébastien JOANNES a rejoint l'équipe CAM.

Et à l'heure où je rédige cet éditorial, notre collègue et ami François GRILLON s'est éteint. La Tribune de janvier lui rendra honneur.

Bonne lecture à tous  
Françoise DI RIENZO

### Faits marquants de nov. - déc.

- **04/11/2010** : soutenance de thèse de Vincent JAUZEIN «Etude de la microstructure et du comportement mécanique de la fibre de soie»
- **04/11/2010** : soutenance de thèse de Sylvia PAYET «Amorçage et propagation de fissures dans les milieux ductiles non locaux»
- **05/11/2010** : séminaire CdM «Crack initiation and propagation in polycrystalline materials», avec H. PROUDHON (CdM), Y. GUILHEM (CdM), L. SUN (CdM), M. HERBIG (CdM et INSA LYON)
- **05/11/2010** : journée «Portes Ouvertes» pour 100 collégiens et lycéens de l'Essonne
- **17/11/2010** : soutenance de thèse d'Arnaud LONGUET

«Modélisation du procédé de projection laser : application au Ti-6Al-4V»

- **07/12/2010** : CluB ZéBuLoN
- **16/12/2010** : soutenance de thèse de Pierre OSMOND «Etude du vieillissement à chaud des alliages d'aluminium pour culasses diesel et prise en compte dans le dimensionnement»
- **17/12/2010** : soutenance de thèse de Nicolas REVUZ «Etude de l'endommagement d'un superalliage monocristallin à base de nickel induit par microperçage laser milliseconde»
- **20/12/2010** : soutenance de thèse de Marc GRIEU «Etude de la fatigue des joints brasés de composants électroniques soumis à des sollicitations thermomécaniques, vibratoires et combinées»

### Faits marquants de janvier 2011

- **11/01/2011** : vœux de MM LEGAIT et IRIS
- **20/01/2010** : soutenance de thèse de Florence VINCENT "Du modèle matériau à la mécanique des systèmes : étude dynamique d'une liaison souple en silicone chargé de silice".

## Soutenances de thèses

### **Etude de la microstructure et du comportement mécanique de la fibre de soie.**

**Vincent JAUZEIN**  
le 04 Novembre 2010

Les polymères naturels présentent de plus en plus une alternative crédible pour de nombreuses applications techniques et biomédicales. Ils possèdent des qualités de modularité, de durabilité, souvent de biocompatibilité, qui leurs sont propres. Mais la compréhension détaillée des mécanismes qui gouvernent le comportement de tels matériaux est difficile et reste souvent incomplète. Cette étude a cherché à mieux comprendre le lien qu'il existe entre le comportement mécanique et la microstructure pour la fibre de soie. Une caractérisation minutieuse du comportement mécanique a donc été effectuée par des moyens parfois originaux comme l'association entre une machine de traction et une observation en microscopie électronique. Il a ainsi été montré l'aspect composite du fil de soie industriel et l'importance des différents éléments constitutifs de la soie. Le comportement de la fibre a également été décrit dans différentes conditions atmosphériques d'humidité et de température.

Cette caractérisation s'est accompagnée d'une description de la microstructure en utilisant des techniques telles que la diffraction aux rayons X et la spectrométrie Raman. Notamment, la spectrométrie Raman a pu être associée à une traction in situ. Ceci a permis d'établir des liens entre mécanique et microstructure. Il a ainsi été prouvé notre capacité à modifier la microstructure et le comportement mécanique de la soie par voie biotechnologique en modifiant le génome du Bombyx mori. Ce qui ouvre une nouvelle voie d'innovation prometteuse pour améliorer ce type de matériau. Enfin, une modélisation simple mais robuste basée sur une description physique du matériau a permis de valider les avancées faites

quant à la compréhension de ce polymère. Le comportement en environnement contrôlé a été étudié. Ces résultats pourraient alimenter des études numériques sur des assemblages, plus proches du produit fini.

### **Amorçage et propagation de fissures dans les milieux ductiles non locaux.**

**Sylvia PAYET**  
le 04 Novembre 2010

Cette étude s'inscrit dans le domaine de la conception et du dimensionnement de structures industrielles. Elle consiste à proposer une méthodologie permettant de simuler l'endommagement ductile de structures métalliques, suivi de l'amorçage et de la propagation de fissures. La démarche s'organise en trois temps. La première étape consiste à pouvoir décrire correctement l'évolution de l'endommagement jusqu'à l'amorçage de la fissure, par un modèle continu. Or, l'utilisation de modèles de comportement ductiles endommageables classiques avec la méthode des éléments finis conduit à de nombreux problèmes, tels que la dépendance pathologique à la finesse et à l'orientation du maillage ou le verrouillage volumique. Une nouvelle formulation mixte non locale à quatre champs est proposée dans le cadre des petites perturbations afin de surmonter ces problèmes. L'étape suivante vise à améliorer la qualité du calcul. Pour cela, une procédure d'adaptivité de maillage reposant sur un indicateur d'erreur est mise en place afin de permettre d'atteindre le niveau de qualité désiré par l'utilisateur, tout en minimisant les coûts de calculs. Associée au lissage des champs aux anciens points de Gauss avant projection directe aux nouveaux points de Gauss et à l'ajout de viscosité dans le modèle, elle permet de reprendre les calculs sur le nouveau maillage plus adapté après quelques divisions du pas de temps. Enfin, une fois toute la phase d'endommagement décrite avec précision, la dernière partie est consacrée au développement d'une stratégie d'amorçage et de propagation de fissure utilisant l'adaptation de

maillage. Pour cela, le chemin de fissure est représenté par un maillage auxiliaire dont le front est le plus régulier possible. Pour déterminer l'orientation de cette discrétisation, un critère reposant sur le gradient de l'endommagement lissé est formulé. Cette stratégie est mise en oeuvre sur un cas test académique en dimensions deux et trois. Par la suite, il serait intéressant de pouvoir appliquer cette méthodologie avec des modèles plus réalistes faisant intervenir le taux de triaxialité, et ce en grandes déformations.

### **Modélisation du procédé de projection laser : Application au Ti-6Al-4V**

**Arnaud Longuet**  
le 17 novembre 2010

### **Etude du vieillissement à chaud des alliages d'aluminium pour culasses diesel et prise en compte dans le dimensionnement.**

**Pierre OSMOND**  
le 16 Décembre 2010

L'utilisation des alliages d'aluminium pour les composants du groupe moto propulseur, en particulier les alliages à durcissement structural Aluminium-Silicium-Magnesium-Cuivre pour les culasses Diesel, s'est généralisée depuis les vingt dernières années, du fait de leur faible densité et leur excellente conductivité thermique. Ces alliages sont soumis, tout au long de la vie de la culasse, à de forts chargements thermomécaniques induisant une évolution progressive de la microstructure de précipitation et du comportement viscoplastique du matériau. L'objectif de cette étude est donc, au moyen d'une étude de la précipitation et du comportement mécanique, de corrélérer l'évolution de la microstructure de précipitation à celle du comportement mécanique pour ensuite proposer un modèle de comportement viscoplastique permettant, par l'intégration de paramètres métallurgiques et microstructuraux, de

## Soutenances de thèses (suite)

rendre compte de l'influence de la microstructure de précipitation sur le comportement mécanique. Cette étude est menée sur deux alliages présentant chacun une composition en cuivre et magnésium distincte. L'analyse des microstructures par microscopie électronique en transmission a permis de rendre compte de l'évolution de la microstructure de précipitation. Celle-ci a été quantifiée pour des traitements isothermes de vieillissement pour une gamme de température allant de 200 à 300°C. Les analyses ont mis en évidence une forte évolution de la précipitation, sensible sur l'ensemble des paramètres morphologiques, cristallographiques et chimiques de la microstructure. L'étude comparative de la cinétique de précipitation sur les deux alliages a, de plus, permis de mieux comprendre les interactions existant entre morphologie de la précipitation, mécanisme de croissance et stabilité thermique. Pour l'étude du comportement viscoplastique, nous nous sommes attachés à évaluer l'influence de la microstructure de précipitation au moyen d'une importante base expérimentale couvrant une large gamme de température, d'amplitude de déformation et de vitesse de déformation inélastique. La compréhension du comportement viscoplastique et de l'influence de la microstructure de précipitation a été facilitée par l'utilisation d'une analyse par partitionnement des composantes de l'érouissage. L'interaction existant entre les paramètres géométriques de la précipitation, la composante isotrope et la composante cinématique de l'érouissage a ainsi clairement été mise en évidence. L'analyse de l'influence des temps de maintien en déformation sur la composante cinématique de l'érouissage a permis d'autre part de démontrer une relaxation systématique des contraintes internes associée à la montée des boucles de dislocations autour des précipités. A partir des analyses expérimentales, une loi de comportement a été proposée. Celle-ci est basée sur les densités de dislocations et propose, par une utilisation explicite

des paramètres de la microstructure de précipitation (distance entre précipités, fraction volumique de précipités...) de rendre compte du rôle de la microstructure de précipitation sur le comportement mécanique. La modélisation s'appuie de plus sur le développement d'une loi d'écoulement originale, adaptée aux mécanismes d'écoulement plastique présents aux hautes températures dans les alliages à phases dispersées, en particulier à la montée des dislocations. Cette modélisation permet ainsi une très bonne description du comportement viscoplastique observé à  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$  et présente de plus, une sensibilité à la microstructure de précipitation relativement convenable. De plus, l'analyse de la variation des paramètres en température présente une évolution tout à fait physique permettant ainsi de relier un certain nombre de variables ajustables - notamment celles de la loi d'écoulement - aux activations thermiques du glissement et de la montée des dislocations. La physique de l'écoulement plastique étant convenablement retranscrite, le modèle constitue ainsi un outil intéressant pour tester l'influence des paramètres microstructuraux sur le comportement mécanique.

---

### Etude de l'endommagement d'un superalliage monocristallin à base de nickel induit par microperçage laser milliseconde.

Nicolas REVUZ  
le 17 Décembre 2010

L'amélioration du rendement d'un moteur d'avion est reliée à l'élévation de la température de combustion. Les progrès de l'industrie aéronautique de ces 30 dernières années ont permis l'augmentation de cette température. Les aubes de turbine qui en subissent directement les effets ont vu leur métallurgie et leur géométrie évoluer avec le temps. Aujourd'hui, elles sont en superalliage monocristallin à base de nickel. Les barrières thermiques,

constituées d'une souscouche métallique et d'un dépôt céramique ont été développées pour protéger la surface de l'aube de la température et de l'environnement agressif (oxydation, corrosion à chaud). Parallèlement à l'évolution des matériaux, la géométrie de l'aube a également été adaptée. Un circuit de refroidissement interne permet la circulation puis l'éjection d'air par des micro-trous créant ainsi une fine couche protectrice à la surface de l'aube. Depuis des années, ces trous (diamètre de 0,45mm pour une profondeur comprise entre 1,5 et 3 mm) sont percés par laser impulsif ou par électroérosion favorisant ainsi le temps d'usinage. Ce travail porte sur l'étude du perçage laser impulsif milliseconde qui chauffe le matériau irradié, le fond puis vaporise une couche superficielle de liquide. La pression résultante, dite pression de recul, est la force motrice du perçage. L'objectif de cette étude est de définir et caractériser l'endommagement subi par le matériau après perçage laser. Les phénomènes d'éjection de la matière sont modélisés par éléments finis par l'adaptation d'un code initialement développé pour le soudage laser. Ce modèle est comparé à des mesures expérimentales de vitesse d'éjection liquide, de pression de recul ainsi qu'à des observations micrographiques fines qui montrent une couche de matière resolidifiée dont la microstructure est différente de celle du superalliage. Aujourd'hui, les modèles numériques utilisés pour prédire la durée de vie des pièces perforées ne prennent en compte que la dimension des trous donc le gradient de contrainte résultant. Les essais de fatigue à haute température réalisés dans cette étude avec deux types de perçage laser (une source femtoseconde et une source milliseconde) permettent de mettre en évidence l'influence de la modification de la matière induite par le procédé de perçage sur le comportement mécanique d'éprouvettes percées. Une étude de la vitesse de fissuration combinée à l'étude des faciès de rupture permet de comprendre les phénomènes d'amorçage et de propagation de fissure

## Soutenances de thèses (fin)

courte. Elle montre que l'engouement actuel pour les sources lasers ultrarapides (c'est-à-dire pico/femtoseconde), qui ne modifient pas la microstructure du perçage de la même façon qu'un laser classique (milliseconde) n'est pas obligatoirement justifié pour ce type d'application.

### Etude de la fatigue des joints brasés de composants électroniques soumis à des sollicitations thermomécaniques, vibratoires et combinées.

Marc GRIEU  
le 20 Décembre 2010

La fatigue des joints brasés de composants électroniques est étudiée dans le cas des chargements complexes des applications aéronautiques, spatiales et militaires. L'objectif est de proposer

un modèle de fatigue pour les joints brasés de type Sn-Ag-Cu soumis à des chargements thermomécaniques et vibratoires. Une étude bibliographique évalue la pertinence des modèles et principalement celle des procédures expérimentales d'identification des paramètres des modèles en loi puissance. La modélisation continue de l'endommagement est également abordée car plus performante lorsqu'elle est appliquée à des chargements complexes combinés. La microstructure triphasée des alliages Sn-Ag-Cu est présentée ainsi que ses différents paramètres assez dispersés. Le deuxième chapitre présente une étude expérimentale et numérique sur la fatigue oligocyclique de l'alliage Sn-3,0Ag-0,5Cu en cisaillement. Une loi de comportement viscoplastique à écrouissage est établie ainsi qu'un

modèle d'endommagement continu isotherme. Des résultats en fatigue à 25°C et à 75°C mettent en évidence l'influence de la température sur le comportement et la fatigue des joints.

Une étude du comportement des assemblages en vibration est menée avec des cartes de test. Les temps à défaillance donnent des tendances en fatigue vibratoire pour différentes technologies. Les modes de rupture des brasures sans plomb semblent similaires à ceux des alliages standards Sn-Pb. Enfin une méthodologie de simulation par éléments finis des assemblages en vibration est présentée sur un exemple concret. Celle-ci permet de calculer un indicateur du dommage accumulé dans les joints lors d'un chargement vibratoire aléatoire.

**Sources :** les thésards concernés.

## Arrivée : Sébastien JOANNÈS



Sébastien JOANNÈS  
intègre l'équipe CAM.

Sébastien connaît bien le laboratoire, puisque suite à son diplôme Ingénieur de l'École Supérieure des Techniques Aéronautiques et de Construction Automobile (spécialité Structures et Matériaux), il a suivi la formation du mastère COMADIS en 2003-2004. Son stage, dont le partenaire industriel était Plastic Omnium Auto Exterior, a porté sur l'étude du comportement thermomécanique des pièces thermoplastiques injectées fibres longues.

Déjà séduit par nos activités, il est resté en tant que doctorant et a soutenu sa thèse en 2007, intitulée "Caractérisation Mécanique et Outil d'Aide au Dimensionnement des Collages Structuraux", en partenariat avec la Direction de l'Ingénierie des Matériaux de Renault.

Il nous revient donc, fort de 3 années passées au "Centre d'Études sur les

Matériaux Composites Avancés pour les Transports" (Plate-forme Régionale d'Innovation des Pays de la Loire), pendant lesquelles il a affiné ses connaissances de la "mise en œuvre" des composites à matrices organiques et mesuré l'importance de la prise en compte de la variabilité morphologique du matériau lors de sa transformation, dans la compréhension de son comportement macroscopique.

En partenariat avec le CERPEM (Centre d'Étude et de Recherche en Procédés et Protections Électro-Magnétiques), dans le cadre de contrats collaboratifs avec des industriels de la Région Pays de la Loire et du pôle de compétitivité EMC2, il a également travaillé à la fonctionnalisation des matériaux composites comme le contrôle santé intégré (Structural Health Monitoring) ou la "protection foudre" des structures composites aéronautiques.

Son retour au CdM en novembre 2010 sur un poste d'enseignant-chercheur en "comportement des composites et des assemblages", correspond au départ à la retraite d'Anthony BUNSELL

Tout en poursuivant une partie des

activités d'Anthony, son projet scientifique (entre autres objectifs) vise à la quantification des mécanismes de dégradation et le contrôle d'état de santé des matériaux composites et des assemblages, notamment en s'appuyant sur des techniques ultrasonores ou à l'émission acoustique qui accompagne un processus irréversible.

Une bonne compréhension des mécanismes physiques nécessite de descendre à l'échelle des constituants; il s'agit de mieux appréhender les transferts de charges locaux, la redistribution des contraintes et les mécanismes de dégradation. Observations fines, caractérisations spécifiques sur filaments et calculs de microstructures sont les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir.

Il interviendra par ailleurs dans le cadre des formations proposées par Mines ParisTech et notamment le Mastère CoMaDiS, bouclant sur un point important de son parcours avant de rebondir vers de nouveaux thèmes de recherche dans le domaine des matériaux composites.

**Sources :** S. JOANNES

## Départ Michel ROUSSELOT

Départ à la retraite  
de Michel Rousselot



**La Tribune (LT) :** Michel, ton départ est imminent. Difficile d'y penser sans avoir envie d'une rétrospective. Depuis combien de temps travailles-tu au Centre des Matériaux (CdM)?

**Michel ROUSSELOT :** Je suis arrivé sur l'ancien centre en novembre 1972, ça fait donc 38 ans.

**LT :** Quel a été ton premier emploi au CdM?

**Michel :** J'ai été engagé comme tourneur au sein de l'atelier mécanique. J'intégrai une équipe dirigée par M. PONS. Mes compagnons étaient Charles CLUZET, fraiseur, René LOCICERO, rectifieur, Antoine LOCICERO ajusteur et Joseph ROSSO tourneur.

**LT :** Es-tu resté longtemps à ce poste ou as-tu pu faire évoluer ta carrière?

**Michel :** Dans les années 80 j'ai demandé à intégrer une équipe de recherche. C'est ainsi que j'ai rejoint le groupe Corrosion dirigé par Jean-Paul HÉNON. Les études portaient sur la géothermie, dont les activités étaient en partie hébergées à Fontainebleau, et les catalyseurs, au travers de plusieurs thèses.

J'ai par ailleurs suivi un stage de perfectionnement dans les techniques du vide.

Dans les années 90, Eric ANDRIEU, ancien thésard et post-doctorant du CdM a pris la suite de M. HÉNON à la tête d'un groupe Corrosion Mécanique Environnement et j'ai pu y exercer mes nouveaux talents.

**LT :** Mais finalement, comment t'es-tu retrouvé au poste que tu occupes actuellement?

**Michel :** Quand Antoine LOCICERO est parti en retraite, en 2005, on m'a confié la responsabilité des services généraux et des bâtiments, en plus de la direction de l'Atelier.

**LT :** Difficile de croire que 38 ans se résument en quelques étapes. Quels ont été les moments forts que tu en retiens?

**Michel :** Au cours de mon séjour dans le groupe CME j'ai vécu de grands moments. Tout d'abord professionnels, avec les deux grands pédagogues que sont André PINEAU et Eric ANDRIEU. J'ai appris beaucoup à leur contact; interpréter des résultats d'essais mécaniques, suivre la propagation d'une fissure sous vide ou sous air, etc. Le tout dans une ambiance conviviale, certains d'entre nous se souviendront de la paella géante, du cassoulet énorme, des aligots, des apéros, ...

Il y a eu aussi la musique avec René LOCICERO, guitariste fantastique. Avec quelques autres nous avons monté un groupe rock, les répétitions le dimanche à PARIS et puis le concert à DOURDAN chez Gilles HOCHSTETTER, la fête de la musique rue SOUFLOT.

J'ai participé au CE SNECMA, en tant que responsable de l'équipe de football Mines-SNECMA.

J'ai été sollicité par Didier ARGENCE, doctorant, le « créateur » des 24h (devenues 12h), pour gérer la partie intendance de la manifestation. Les premières années ont été épiques.

Mais surtout, j'ai consacré un an, comme d'autres techniciens du centre, à l'élaboration des bâtiments dans lesquels nous vivons actuellement. Notre directeur de l'époque, Jean-Pierre TROTTIER avait su nous en donner l'envie et nous avons collaboré tous en confiance. Après les locaux, nous avons aussi investi beaucoup d'énergie dans le déménagement lui-même pour que nos matériels arrivent intacts.

Oui, nous avons vécu ensemble des moments qui ont fortement contribué à nous souder. Finalement, tous les anciens, nous formions une famille, avec des coups de gueule, mais toujours solidaires.

**LT :** Sois bien assuré qu'en tant que membre de cette famille, tu auras toujours une place au Centre des Matériaux, même situé ailleurs.

Propos recueillis par F. DI RIENZO,  
le 14 décembre 2010

## Colloque MAM

Les 22 et 23 novembre 2010 s'est déroulé le colloque "Matériaux Architecturés Multifonctionnels" à l'INSA LYON dans le cadre des 23<sup>èmes</sup> entretiens du Centre Jacques CARTIER, structure visant à développer la collaboration scientifique entre la région RHÔNE-ALPES et le QUÉBEC.

Ce colloque a été l'occasion de discuter de nouvelles approches en science et génie des matériaux, que ce soit au niveau des procédés, de la caractérisation, des applications ou encore des propriétés fonctionnelles.

On retiendra entre autres les travaux menés à LAUSANNE par l'équipe de MORTENSEN dans le domaine de la modélisation et des procédés, ceux de John DUNLOP à POTSDAM sur les biomatériaux, d'Edouardo SAIZ à l'IMPERIAL COLLEGE sur les matériaux multi-échelles ou bien encore les mousses en titane pliées de DUNAND à NORTHWESTERN.

Ces exposés témoignent de l'effervescence scientifique multidisciplinaire générée par les matériaux architecturés. La présence d'industriels au colloque (Arcelor-Mittal et EDF) se veut rassurante quant aux débouchés pour ces matériaux innovants.

En effet, ce thème de recherche né, sous une impulsion Franco-Britannique, tend à se développer dans les grandes universités de par le monde. Il est donc impératif de soutenir les efforts de recherche ET d'enseignement dans ce sens, afin de cristalliser ces nouvelles approches en savoir-faire propre.

**Sources :** J. Dirrenberger



<http://www.materiauxarchitectures.fr/en>

## Revue, brevets, ... le point de septembre

### Revue à comités de lecture

- LORTHIOS Julie, NGUYEN Franck, GOURGUES Anne Françoise, MORGENEYER Thilo F., CUGY P., Damage observation in a high manganese austenitic TWIP steel by synchrotron radiation computed tomography, Scripta materialia, 2010, 63, p. 1220-1223
- WATTIEZ B., GOURGUES Anne Françoise, DESCHAMPS A., ROEMER A., ZERMOUT Z., Experimental investigation of microstructure and ageing behaviour of bulk Zn-(1-18) wt% Mg alloys, Materials science and engineering A, 2010, 527, p. 7901-7911
- DAVIES P., BUNSELL Anthony R., CHAILLEUX E., Tensile fatigue behaviour of PBO fibres, Journal of materials science, 2010, 45, p. 6395-6400
- CORDERO Nicolas M., GAUBERT A., FOREST Samuel, BUSO Esteban P., GALLERNEAU F., KRUCH S., Size effects in generalised continuum crystal plasticity for two-phase laminates, Journal of the mechanics and physics of solids, 2010, 58, p. 1963-1994
- SHINOHARA Yasuhiro, MADI Yazid, BESSON Jacques, A combined phenomenological model for the representation of anisotropic hardening behaviour in high strength steel line pipes, European journal of mechanics, 2010, 29, p. 917-927
- FOREST Samuel, AIFANTIS E.C., Some links between recent gradient thermo-elasto-plasticity theories and the thermomechanics of generalized continua, International journal of solids and structures, 2010, 47, p. 3367-3376
- CHRISTOULIS D.K., GUETTA Serge, IRISSOU E., GUIPONT Vincent, BERGER Marie Hélène, JEANDIN Michel et al., Cold spraying coupled to nano-pulsed Nd-YaG laser surface pre-treatment, Journal of thermal spray technology, 2010, 19, p. 1062-1073
- PROUDHON Henry, VAXELAIRE N., LABAT S., FOREST Samuel, THOMAS O., Finite element simulation of coherent diffraction in elastoplastic polycrystalline aggregates, Comptes rendus physique, 2010, 11, p. 293-303
- PINEAU André, TANGUY B., Advances in cleavage fracture modelling in steels : micromechanical, numerical and multiscale aspects, Comptes rendus physique, 2010, 11, p. 316-325
- STEGLICH D., WAFAI H., BESSON Jacques, Interaction between anisotropic plastic deformation and damage evolution in Al 2198 sheet metal, Engineering fracture mechanics, 2010, 77, p. 3501-3518
- GUIPONT Vincent, JEANDIN Michel, BANSARD S., KHOR K.A., NIVARD M., et al., Bond strength determination of hydroxyapatite coatings on Ti-6Al-4V substrates using the Laser Shock Adhesion Test (LASAT), Journal of biomedical materials research A, 2010, 95, p. 1096-1104
- HERBIG M., KING A., REISCHIG P., PROUDHON Henry et al., 3-D growth of a short fatigue crack within a polycrystalline microstructure studied using combined diffraction and phase contrast X-ray tomography, Acta materialia, 2011, 59, p. 590-601
- BOUAZIZ Olivier, MASSE J.P., BRECHET Y., An analytical description of the mechanical hysteresis of entangled materials during loading unloading in uniaxial compression, Scripta materialia, 2011, 64, p. 107-109
- DETREZ Fabrice, CANTOURNET Sabine, SEGUÉLA R., A constitutive model for semi-crystalline polymer deformation involving lamellar fragmentation, Comptes rendus mécanique, 2010, 338, p. 681-687
- SARBANDI Barham, CARTEL Sophie, BESSON Jacques, RYCKELYNCK David, Truncated integration for simultaneous simulation of sintering using a separated representation, Archives of computational methods in engineering, 2010, 17, p. 455-463
- BIENVENU Yves, Assemblage par diffusion (soudage ou brasage), BM7747, Techniques de l'ingénieur, 2010, 11 p.
- TRINH Duy Khanh, FOREST Samuel, The role of the fluctuation field in higher order homogenization, PAMM Proceedings in applied mathematics and mechanics, 2010, 10, p. 431-432
- PENA de la F., BERGER Marie Hélène, HOCHÉPIED J.F., DYNYS F., STEPHAN O., WALLS M., Mapping titanium and tin oxide phases using EELS : an application of independent component analysis, Ultramicroscopy, 2011, 111, p. 169-176
- MISHRA S., JEANNEAU E., BERGER Marie Hélène, HOCHÉPIED J.F., DANIELE S., Novel heteroleptic heterobimetallic alkoxide complexes as facile single-source precursors for Ta5+ doped TiO2-SnO2 nanoparticles, Inorganic chemistry, 2010, 49, p. 11184-11189
- SAINTIER N., CAILLETAUD Georges, PIQUES Roland, Cyclic loadings and crystallization of natural rubber : an explanation of fatigue crack propagation reinforcement under a positive loading ratio, Materials science and engineering A, 2011, 528, p. 1078-1086
- SAI K., LAIARINANDRASANA Lucien, BEN NACEUR I., BESSON Jacques, JERIDI M., CAILLETAUD Georges, Multi-mechanism damage-plasticity model for semi-crystalline polymer : creep damage notched specimen of PA6, Materials science and engineering A, 2011, 528, p. 1087-1093

## Revue, brevets, ... le point de septembre (suite)

- KADDOUR Djilali, GOURGUES-LORENZON Anne-Françoise, BRACHET J.C., PORTIER L., PINEAU André, Microstructural influence on high temperature creep flow of Zr-1% NbO alloy in near-,(+) , and temperature ranges in a high vacuum environment, Journal of nuclear materials, 2011, 408, p. 116-124
- LE JOLU Thomas, MORGENEYER Thilo F., GOURGUES-LORENZON Anne-Françoise, Effect of joint line remnant on fatigue lifetime of friction stir welded A :-Cu-Li alloy, Science and technology of welding and joining, 2010, 15, p. 694-698
- Actes de congrès**
- LIM R., SAUZAY M., DALLE F., TOURNIE I., GOURGUES LORENZON Anne Françoise, Modelling of necking during creep of grade 91 steel, in : Fracture of materials and structures from micro to macro scale, 18th european conference on fracture, Dresden, 30 aout-3 septembre 2010, DVM, 8 p.
- MERHY E., REMY Luc, MAITOURNAM H., AUGUSTINS L., A non isothermal fatigue crack growth law for the A356-T7 aluminum alloy, in : Fracture of materials and structures from micro to macro scale, 18th european conference on fracture, Dresden, 30 aout-3 septembre 2010, DVM, 8 p.
- LAIARINANDRASANA Lucien, REGRAIN Cédric, Effect of notch root radius on the creep failure mechanisms on polyamide 6 : applications of fracture mechanics approaches, in : Fracture of materials and structures from micro to macro scale, 18th european conference on fracture, Dresden, 30 aout-3 septembre 2010, DVM, 8 p.
- LE JOLU Thomas, MORGENEYER Thilo F., GOURGUES LORENZON Anne Françoise, Effect of friction stir weld defects on fatigue lifetime of an Al-Cu-Li alloy (AA 2198), in : Fracture of materials and structures from micro to macro scale, 18th european conference on fracture, Dresden, 30 aout-3 septembre 2010, DVM, 8 p.
- BESSON Jacques, SHINOHARA Yasuhiro, MORGENEYER Thilo F., MADI Yazid, Ductile rupture of prestrained X100 pipeline steel sheets, in : Fracture of materials and structures from micro to macro scale, 18th european conference on fracture, Dresden, 30 aout-3 septembre 2010, DVM, 8 p.
- STECKMEYER A., FOURNIER B., MALAPLATE J., PRAUD M., TOURNIE I., FOREST Samuel, Deformation mechanisms and damage of oxide dispersion strengthened steels at high temperature, in : Fracture of materials and structures from micro to macro scale, 18th european conference on fracture, Dresden, 30 aout-3 septembre 2010, DVM, 8 p.
- DEVILLIERS Clémence, LAIARI-NANDRASANA Lucien, FAYOLLE B., GAUDICHET MAURIN E., Characterisation of aged HDPE pipes from drinking water distribution : investigation of crack depth by nol ring tests under creep loading, in : Fracture of materials and structures from micro to macro scale, 18th european conference on fracture, Dresden, 30 aout-3 septembre 2010, DVM, 8 p.
- WANG H.D., BERDIN C., MAZIERE Matthieu, FOREST Samuel, PRIOUL C., PARROT A., Influence of dynamic strain ageing on ductile fracture of a C-Mn steel, in : Fracture of materials and structures from micro to macro scale, 18th european conference on fracture, Dresden, 30 aout-3 septembre 2010, DVM, 8 p.
- LAIARINANDRASANA Lucien, BOISOT Guillaume, FOND C., HOCHSTETTER G., Toughness improvement of polyamide 11 assessed via quasistatic tensile tests on notched round bars, in : Fracture of materials and structures from micro to macro scale, 18th european conference on fracture, Dresden, 30 aout-3 septembre 2010, DVM, 8 p.
- HOLLNER S., FOURNIER B., LEPENDU J., CAES C., TOURNIE I., PINEAU André, Relationship between microstructure and mechanical behaviour of thermomechanically optimised 9-12% Cr steels, in : Fracture of materials and structures from micro to macro scale, 18th european conference on fracture, Dresden, 30 aout-3 septembre 2010, DVM, 8 p.
- MORGENEYER Thilo F., PROUDHON Henry, BESSON Jacques, Study of the flat to slant crack transition in ductile thin sheet material : simulation and experiments, in : Fracture of materials and structures from micro to macro scale, 18th european conference on fracture, Dresden, 30 aout-3 septembre 2010, DVM, 8 p.
- MADI Yazid, BESSON Jacques, TANKOUA F., CHEN Jianqiang, RECHO N., Mixed mode ductile fracture of an anisotropic 2024 Al-Cu alloy, in : Fracture of materials and structures from micro to macro scale, 18th european conference on fracture, Dresden, 30 aout-3 septembre 2010, DVM, 8 p.
- RECHE Delphine, STUREL T., GOURGUES-LORENZON Anne - Françoise, BESSON Jacques, Damage mechanisms of ultrahigh strength steels in bending application to a trip steel, in : Fracture of materials and structures from micro to macro scale, 18th european conference on fracture, Dresden, 30 aout-3 septembre 2010, DVM, 8 p.
- PROUDHON Henry, FOREST Samuel, LUDWIG W., Large scale finite element simulations of polycrystalline aggregates : applications to X-ray diffraction and imaging for fatigue metal behaviour, in : 31<sup>st</sup> RISO International symposium on materials science. Challenges in materials science

## le point (fin)

and possibilities in 3D and 4D characterization techniques, ed. N. Hansen, D. Juul Jensen, S.F. Nielsen et al., RISO, 2010, p. 121-139

LUDWIG W., REISCHIG P., KING A., HERBIG M., PROUDHON Henry et al., Thoughts about the optimum data acquisition geometry and time resolution of monochromatic beam X-ray diffraction microscopy experiments, in : 31<sup>st</sup> RISO International symposium on materials science. Challenges in materials science and possibilities in 3D and 4D characterization techniques, ed. N. Hansen, D. Juul Jensen, S.F. Nielsen et al., RISO, 2010, p. 317-328

**Source** : O. ADAM

## Séminaires

- le 5 novembre 2010, séminaire CdM  
« **Crack initiation and propagation in polycrystalline materials** »

- Introduction - Henry PROUDHON  
- Numerical study on short fatigue cracks : Initiation in polycrystalline aggregates, Yoann GUILHEM, Doctorant CdM  
- Initiation and propagation of fretting cracks : from the multiaxial fatigue approach to polycrystalline materials, Lingtao SUN, Doctorant CdM  
- 3D short fatigue crack investigation using Phase and Diffraction Contrast Tomography, Michael HERBIG, Doctorant CdM et INSA de Lyon

- le 26 novembre 2010, séminaire CdM  
« **Durée de vie en fatigue des structures - applications automobile et aéronautique.** »

- Introduction - Thilo MORGENEYER  
- Dimensionnement des cordons de soudure en endurance illimitée - applications aux pièces de sécurité de l'automobile, Matteo Luca FACCHINETTI – Ingénieur PSA  
- Prédiction de la durée de vie de structures mécanosoudées soumises à

des chargements anisothermes : application aux collecteurs d'échappement, Aurélie BENOIT, Doctorante CdM

- Effect of friction stir weld defects on fatigue lifetime of an Al-Cu-Li alloy (AA-2198), Thomas LE JOLU, Doctorant CdM

- Etude de la tenue en fatigue des ressorts de suspension automobile en environnement corrosif, Guilhem BOSC, Doctorant CdM

- le 3 décembre 2010, séminaire CdM  
« **Size effects in crystal plasticity** »

- Introduction - Samuel FOREST  
- Micromechanical approaches and microstructural internal length effects in plasticity, Stéphane BERBENNI, chargé de recherche CNRS-LPMM  
- Grain size effects in generalised continuum crystal plasticity, Nicolas CORDERO, doctorant CdM  
- Dislocation based crystal plasticity and size effect using Discrete Dislocation Dynamics, Hyung-Jun CHANG, post-doctorant CdM

**Source** : [semteam@mat.ensmp.fr](mailto:semteam@mat.ensmp.fr)

## La matière chronomètre

« Tout s'écoule ». Par cette formule lapidaire (panta rhéi en grec), le philosophe grec Héraclite (VI<sup>e</sup> siècle av. J.-C.), qui était concerné par le devenir des choses plus que par leur nature, nous rappelle que les matériaux les plus durs sont appelés à se déformer... si on leur en laisse le temps! Cette remarque est à la base de la rhéologie, la science des écoulements de la matière.

On peut préciser cette notion en introduisant le temps d'écoulement de la matière, caractéristique de chaque matériau et variable avec la température. Il correspond par exemple au temps qu'il faut à une chaîne polymérique pour se désenchevêtrer d'autres chaînes par un mécanisme dit de « reptation » et ainsi se déformer. Ce temps propre de l'écoulement doit être mis en regard

avec un temps lié à la sollicitation imposée à la matière. Le nombre de Déborah (noté  $De$ ) est le rapport entre un temps d'écoulement propre à un matériau donné et le temps de la sollicitation ou de l'observation.

Pour comprendre le sens du nombre de Déborah, rien de tel qu'une de ces boules dites de « Silly putty », ou de son équivalent (le « Redux ») vendu en pharmacie pour la rééducation de la main (figure ci-contre).

Si on fait rebondir cette boule, elle se comporte de manière presque parfaitement élastique. Dans le temps court du choc (un grand  $De$  donc), les longues chaînes de silicone qui constituent ce matériau n'ont pas le temps de se désenchevêtrer, et l'ensemble se comporte comme un solide.

À l'inverse, posée sur une table pendant un temps d'observation suffisamment long (à petit  $De$  donc), la boule s'avachit.



Fig. 3. Un bloc sphérique de Redux posé sur une table (a) se déforme progressivement (b) sur une durée d'une dizaine de minutes (c).

Ce même bloc posé sur une table rebondit comme une balle élastique. Le temps de sollicitation correspond au temps de l'observation dans le premier cas et à une fraction de seconde du contact pour la balle qui rebondit. © DR

**Source** : selon E. GUYON, [http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/physique/d/matiere-materiaux\\_996/c3/221/p3/](http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/physique/d/matiere-materiaux_996/c3/221/p3/)

## CLuB ZéBuLoN

le CLuB ZéBuLoN du mardi 7 décembre a eu lieu dans une ambiance chaleureuse qui a fait oublier le froid environnant.

Nikolay OSIPOV et Djamel MISSOUM-BENZIANE, (Mines ParisTech-CdM/Armines) ont présenté à deux voix les grandes lignes des nouveautés de la version Z8.4.4.

- des architectures plus nombreuses, notamment sous windows
- des nouvelles interfaces
- de nouvelles fonctionnalités dans Zmaster ;
  - les multimallages et multirésultats pour voir des calculs différents en même temps,
  - la visualisation en parallèle sur plusieurs processeurs, que le calcul soit traité en parallèle ou en séquentiel,
  - sur la version Sim/Opt, les lois en grande déformation écrites par Ronald FOERCH (NorthWest Numerics) sont disponibles dans les menus interactifs,
  - sur la version Sim/Opt, les lois

peuvent être calculées à partir de fonctions

- sur la version Sim/Opt, les multitracés de courbes sont possibles et peuvent même donner lieu à l'émission d'un rapport (en format .pdf) contenant la version imprimable des courbes
- des nouveaux supports de formation
- l'usage des threads
- l'intégration du module Zcrack (ONERA) ; introduction d'une fissure après un calcul, avec remaillage automatique en pointe de fissure au fur et à mesure de son avancée

Dans cette version du code apparaissent les développements proposés par David RYCKELYNCK (Mines ParisTech-CdM), qu'il a présenté sous le titre "La méthode APHR : une nouvelle approche de la modélisation"

Mohammed CHEIKH (ENSTIMAC) nous a fait bénéficier de son travail concernant la mise au point d'un montage expérimental destiné à

caractériser l'usure subi par une pièce aéronautique.

Le modèle numérique développé a été implémenté dans ZéBuLoN, sous le nom RAMDAM (mcheikh@univ-tlse2.fr).

Justin DIRRENBARGER (Mines ParisTech-CdM) a illustré la méthode d'homogénéisation numérique faite avec ZéBuLoN au travers de deux exemples de microstructures périodiques.

Les supports de ces exposés sont disponibles sur le site du CLuB (<http://www.mat.ensmp.fr/Produits/LeCLuB>)

Françoise DI RIENZO a conclu ce CLuB en annonçant celui de juin 2011; la date retenue est le jeudi 16 juin 2011. Ce devrait être un CLuB très spécial puisqu'on prévoit d'y fêter les 30 ans du code ZéBuLoN.

Sources : F. DI RIENZO

## Stagiaires, visites

WEINGARTEN Johannes, du 29 novembre au 23 décembre 2010, au CLFA Fraunhofer avec S. CLEMENT, pour une étude portant sur la "caractérisation structuration laser".

BENACHOUR Mustapha, professeur invité du 22 novembre au 3 décembre 2010, par A. PINEAU pour l'étude des contraintes résiduelles sur la propagation des fissures de fatigue.

Source : V. DIAMANTINO

### 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 : Esteban BUSSO  
La Page du CdM...Le Point ! : Odile ADAM, Sylvie LEMERCIER  
Comité de relecture : Françoise DI RIENZO, Yves BIENVENU  
Photographies : Maria SIMOES-BETBEDER (sauf indication contraire)



CENTRE DES MATERIAUX  
P.M.FOURS

<http://www.mat.ensmp.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.**