

NEWSLETTER 51



CENTRE DES MATERIAUX  
P.M.FOURT



1	Editorial
1	Faits marquants
1	l'hiver en essonne
2-3	Le point Presse
3-4	Soutenances de thèses
4	Journées Matériaux Numériques
5	Service Communication
6	Stagiaires

## Editorial



En ce début d'année 2013, la météo fait des caprices ; les journées enneigées sont nombreuses sur tout le pays, ce qui perturbe un peu l'activité économique.

thèses et une conférence. Continuons de travailler au calme, le printemps en portera les fruits.

Relation de cause à effet ? En tout cas, après la fin d'année 2012 et sa multitude de soutenances, nous traversons une période un peu plus calme, ce dont la Newsletter rend compte au travers de ses rubriques ; « seulement » deux

Bonne lecture  
Françoise DI RIENZO

### FAITS MARQUANTS DE JANVIER - FEVRIER

- **14/01/2013** : présentation des vœux de R. SOUBEYRAN
- **30/01/2013** : Journée du Département Mécanique et Matériaux
- **11/02/2013** : soutenance de thèse de Dominique GEOFFROY « Modélisation de l'amorçage et de la propagation de fissures dans les microstructures polycristallines. Application au gamma-TiAl »
- **27/02/2013** : soutenance de thèse de Vivien COURTIER, « Réduction de modèle et simplification des lois de comportement pour la prévision de durée de vie »

### FAITS MARQUANTS DE MARS - AVRIL

- **03/04/2013** : visite du Conseil Scientifique

## C'est l'hiver en Essonne



Le centre des matériaux sous la neige en février 2013

## Revue, congrès ... le point de janvier - février

### Revue à comités de lecture

TRINH Duy Khanh, JANICKE R., AUFFRAY N., DIEBELS S., FOREST Samuel, Evaluation of generalized continuum substitution models for heterogeneous materials, Journal of multiscale computational engineering, 2012, 10, p. 527-549

FISCHLSCHWEIGER Michael, ANTRETTETTER T., CAILLETAUD Georges, Transformation hardening and kinetics for stress assisted and temperature driven martensitic transformation in steels, Mechanics research communications, 2013, 47, p. 84-88

CAMPILLO C., JERBER J., FISCH C., SIMOES-BETBEDER Maria, DUPUIS-WILLIAMS P., NASSOY P., SYKES C., Mechanics of membrane-cytoskeleton attachment in paramecium, New journal of physics, 2012, 14, 125016, 9 p.

GUILLEMER C., CLAVEL M., CAILLETAUD Georges, Modélisation du glissement cristallographique et du maillage dans le magnésium extrudé sous chargement cyclique, Revue de métallurgie, 2013, 109, p. 423-426

GERARD Céline, CAILLETAUD Georges, BACROIX B., Modeling of latent hardening produced by complex loading paths in FCC alloys, International journal of plasticity, 2013, 42, p. 194-212

WANG Y., CHESNAUD Anthony, BEVILLON E., XIONG J., YANG J., Effects of Sn substitution on structural and electrical properties of BaSn<sub>0.75</sub>M<sub>0.25</sub>O<sub>3-δ</sub> (M=Sc,In,Y,Gd,Nd...), Journal of alloys and compounds, 2013, 555, p. 395-401

MAUREL Vincent, REMY Luc, HARVEY Mark, TEZENAS DU MONTCEL Henri, KOSTER Alain, The respective roles of thermally grown

oxide roughness and NiAl coating anisotropy in oxide spallation, Surface & coatings technology, 2013, 215, p. 52-61

BARBIER D., HUANG M.X., BOUAZIZ Olivier, A novel eutectic Fe-15 wt.% Ti alloy with an ultrafine lamellar structure for high temperature applications, Intermetallics, 2013, 35, p. 41-44

TAVSANOGLU T., JEANDIN Michel, ADDEMIR O., AGIRSEVEN O., YUCEL O., An imaging SIMS study on the tribological properties of boron carbide thin films, Surface and interface analysis, 2013, 45, p. 587-591

EIAMNIPON Naruepon, NIMDUM Pongsak, RENARD Jacques, KOLITAWONG C., Experimental investigation on high strain rate tensile behaviors of steel cord-rubber composite, Composite structures, 2013, 99, p. 1-7

HUCHET Guillaume, BOUSSUGE Michel, MAUREL Vincent, ROUSTAN Hervé, Mechanical properties of a spinel-ferrite-based cermet : effects of temperature and oxidation, Journal of materials science, 2013, 48, p. 3264-3271

BOUAZIZ Olivier, BARBIER D., EMBURY J.D., BADINIER G., An extension of the Kocks-Mecking model of work hardening to include kinematic hardening and its application to solutes in ferrite, Philosophical magazine, 2013, 93, p. 247-255

GUILHEM Yoann, BASSEVILLE Stéphanie, CURTIT F., STEPHAN Jean Michel, CAILLETAUD Georges, Numerical investigations of the free surface effect in three-dimensional polycrystalline aggregates, Computational materials science, 2013, 70, p. 150-162

FANSI J., BALAN T., LEMOINE X., MAIRE E., LANDRON C., BOUAZIZ Olivier, BEN BETTAIEB M.,

HABRAKEN A.M., Numerical investigation and experimental validation of physically based advanced GTN model for DP steels, Materials science and engineering A, 2013, 509, p. 1-12

MILED Bilel., RYCKELYNCK David, CANTOURNET Sabine, A priori hyper-reduction method for coupled viscoelastic-viscoplastic composites, Computers and structures, 2013, 119, p. 95-103

DIRRENBERGER Justin, FOREST Samuel, JEULIN D., Effective elastic properties of auxetic microstructures : anisotropy and structural applications, International journal of mechanics and materials in design, 2013, 9, p. 21-33

THOREL Alain, ABREU Joao, ANSAR S.A., BARBUCCI A., BRYLEWSKI T., CHESNAUD Anthony et al., Proof of concept for the dual membrane cell, I. Fabrication and electrochemical testing of first prototypes, Journal of the electrochemical society, 2013, 160, p. F 360-F 366

OU T., DELLORO F., BESSLER W.G., THOREL Alain, NICOLETTA C., Proof of concept for the dual membrane cell, II. Mathematical modelling of charge transport and reaction in the dual membrane, Journal of the electrochemical society, 2013,

### Articles

MONTAGNARD L., ELLINGHAUS K., QUILICI Stéphane, Erweiterte berchnungsmodelle fur verbesserte balastungsvorhersagen, ATZ Extra, 2012, 17, n°, p. 88-93

THOREL Alain, DAHMEN U., From galaxies to nanocrystals : a brief trip across 30 orders of magnitude, Microscopy today, janvier 2013, p. 18-21

## Revue, congrès ... le point de janvier - février (fin)

### Livres

FRANCOIS D., PINEAU André, ZAOUI A., Mechanical behaviour of materials, vol 2 :fracture mechanics and damage, Springer, 2013, 662 p.

YASTREBOV Vladislav A., Numerical methods in contact mechanics, ISTE/Wiley, 2013, 391 p.

### Chapitres de livres

FOREST Samuel, Micromorphic media, in : Generalized continua from the theory to engineering applications, ed. H. Altenbach, V.A. Eremeyev, Springer, 2013, p. 249-300

### Brevets

PEIGAT Laurent, BESSON Jacques, REYTIER M., Procédé d'estimation de l'étanchéité d'un joint, Brevet, 2 972 531 du 10.03.11

FABRE Grégory, GUEDOU J.Y., GUIPONT Vincent, JEANDIN Michel, Method for detecting the appearance of debonding in a transparent ceramic coating layer formed on a substrate, Brevet, WO 2013/021134, du 14 février 2013

Sources : O. ADAM

## Soutenances de thèses

### Modélisation de l'amorçage et de la propagation de fissures dans les microstructures polycristallines. Application au gamma-TiAl

**Dominique GEOFFROY**  
11 février 2013

En raison de leurs excellentes propriétés mécaniques à hautes températures, les alliages de TiAl sont adaptés aux applications aéronautiques telles que les aubes de turbine. Néanmoins, la ductilité à température ambiante est insuffisante et extrêmement sensible à la microstructure. Ainsi, cette thèse propose d'étudier, à l'aide de simulations par éléments finis, la rupture par clivage et la rupture intergranulaire dans les gamma-TiAl à l'échelle du polycristal.

Dans un premier temps, un modèle de rupture de joints de grains à l'aide de zones cohésives est développé afin de corréler les effets des paramètres microstructuraux sur la réponse mécanique globale du matériau. Le modèle est ensuite étendu à la rupture par clivage (intragranulaire), également modélisée à l'aide de zones cohésives. Le choix des plans de clivages actifs

étant difficilement prévisibles à priori en raison de la forte hétérogénéité du champ des contraintes dans les polycristaux, un nouvel opérateur de remaillage-transfert est proposé afin de discrétiser dynamiquement les plans de rupture intragranulaires.

Des simulations numériques sur agrégats polycristallins sont ensuite réalisées à l'aide de ce nouvel opérateur, dans l'optique de mieux appréhender l'effet des paramètres microstructuraux sur la rupture par clivage et la compétition entre les deux mécanismes de rupture (intra/intergranulaire). Cette approche numérique est complétée par une étude expérimentale afin d'identifier les paramètres des lois de comportement utilisées. Il s'agit d'une approche inverse basée sur la comparaison entre mesures de champs expérimentales et les simulations numériques qui est également présentée.

### Réduction de modèle et simplification des lois de comportement pour la prévision de durée de vie

**Vivien Courtier**  
27 février 2013

Le sujet se situe en simulation numérique, un domaine qui s'est largement imposé dans le

développement industriel des systèmes complexes. Au cours de la conception, du dimensionnement, de la validation, de la fabrication et du suivi en service, les simulations numériques sont nombreuses et variées. Ainsi des stratégies numériques différentes peuvent être envisagées tout au long de la chaîne de développement industriel.

Dans ce but, la réduction de modèle (Reduced Order Modeling) (ROM) peut être intégrée dans la chaîne de développement industriel des structures complexes afin de proposer des méthodes de réduction alternatives ou complémentaires aux méthodes de calcul intensif. Ces méthodes ROM apparaissant alors comme un premier enjeu sont utilisées afin de réduire considérablement le coût de la résolution numérique des problèmes non linéaires en projetant les équations aux dérivées partielles sur une base réduite dont la dimension est égale à l'ordre du modèle ROM généralement bien plus faible que celle du modèle détaillé.

De plus, les structures complexes nécessitent bien souvent une description assez fine des phénomènes physiques sous-jacents ce qui conduit naturellement à des lois de comportement élaborées comme les lois élasto-viscoplastiques. La simplification du comportement mécanique



## Soutenances de thèses

apparaissant alors comme un second enjeu est considérée en exploitant une partie restreinte du domaine spatial.

La méthode de réduction utilisée dans ce mémoire est la méthode A Priori Hyper Reduction (APHR). C'est une méthode de réduction incrémentale et adaptative basée sur la Proper Orthogonal Decomposition (POD) capable de fournir une analyse paramétrée d'un système complexe. Un modèle ROM évolutif fournit des prévisions dans une base réduite POD et ces prévisions sont éventuellement corrigées par des calculs partiels à l'aide de la méthode des éléments finis (FEM). Si, à la fin d'un incrément, la précision de la prévision donnée est insuffisante, l'état mécanique corrigé est utilisé pour enrichir les bases réduites POD associées au modèle d'ordre réduit d'un mode empirique. Les bases réduites associées au modèle d'ordre réduit contiennent des données relatives à tous les calculs paramétrés effectués. Un élément de la méthode APHR appelé hyper-réduction est vu comme une extension de la notion de symétrie aux problèmes non symétriques. Le domaine spatial est en effet divisé en un ensemble de variables internes dites explicatives dont le support est le domaine tronqué d'intégration (Truncated Integration Domain) (TID) et un ensemble de variables internes dites expliquées. Les lois de comportement sont intégrées sur ce TID construit par la méthode APHR de façon automatique.

Les études effectuées dans le cadre de cette thèse ont pour but d'apporter certains développements dans le cas des matériaux hétérogènes. Les apports de cette thèse se résument en trois points :

- Le premier point est une extension de la méthode APHR. Une décomposition du domaine spatial est introduite en considérant une partition de sous-domaines. Cette décomposition est motivée par d'éventuelles fortes différences dans le comportement de

chaque phase dans le cas des matériaux hétérogènes. Une représentation désynchronisée du champ de variables internes est alors introduite.

La désynchronisation consiste à attacher une base réduite relative au champ de variables internes sur chaque sous-domaine afin de décorréliser les transformations significatives relatives aux variables internes d'un sous-domaine à l'autre. Cette représentation désynchronisée permet également de réduire la complexité apparemment superflue de certaines phases en considérant un nombre de modes empiriques indépendant sur chacune.

- Le deuxième point est une comparaison de la méthode APHR avec la Nonuniform Transformation Field Analysis (NTFA). Développée dans le cadre de l'homogénéisation pour les matériaux hétérogènes, la NTFA est une méthode d'homogénéisation périodique semi-analytiques basée sur une décomposition du champ des déformations anélastiques sur une base réduite. Cette base réduite est construite par la POD selon une démarche a posteriori à l'aide de snapshots. à condition que cette base réduite soit convenable, la NTFA garantit des gains en temps de calcul impressionnants en considérant une énorme réduction du nombre de variables internes. La comparaison entre la méthode APHR et la NTFA permet de mettre en évidence le nombre de variables internes dans les deux approches a posteriori ainsi que mettre en avant la possibilité de la méthode APHR à construire a priori une base réduite adéquate pour la NTFA.

- Le troisième point est une extension de la méthode APHR. Dans le cadre de l'interpolation paramétrique, un procédé de construction d'une base réduite multidimensionnelle est développé en collectant un ensemble de bases réduites provenant d'un méta-modèle construit à l'aide de calculs séquentiels. En considérant une méthodologie de surface de réponse, cette base réduite

multidimensionnelle est utilisée afin de construire une base réduite interpolée pour une nouvelle valeur de paramètre. Cette base réduite interpolée est considérée comme base réduite initiale pour enrichir le méta-modèle.

Les développements théoriques ont été intégrés dans le code d'éléments finis ZEBULON et utilisées pour traiter une série d'exemples numériques sur des structures: matériau composites matrice-inclusions et sur une aube de turbine.

**Sources :** K. SAAR et A. CONSTANTINESCU

## Journées Matériaux Numériques

La première édition des Journées Matériaux Numériques (JMN), conférence francophone traitant de la représentation numérique 3D de la microstructure des matériaux, s'est déroulée du 12 au 14 février 2013 à Loches, en Touraine.

L'objectif de ces Journées, à l'initiative du CEA Le Ripault, était de rassembler les acteurs de la communauté nationale concernés par la représentation numérique 3D de la microstructure des matériaux en vue de comprendre et modéliser leur comportement et leurs propriétés.

Parmi les 90 participants, des disciplines variées étaient représentées, avec un spectre complet de thématiques allant de la mesure de propriétés locales, jusqu'à l'optimisation et la parallélisation des codes, en passant par la génération de matériaux virtuels de manière artificielle ou après numérisation de la structure (tomographie X, microscopies...).

L'organisation de la conférence visait à faciliter l'ouverture et la transmission du savoir trans-disciplinaire : une demi-journée était consacrée à la présentation

d'outils de visualisation et d'analyse d'image, parfois libres de droits, applicables à de nombreux domaines d'application dont les chercheurs partagent les mêmes problématiques, comme par exemple l'épineux problème de la représentation des données 3D de manière intuitive et « parlante ». Les exposés invités s'inscrivaient également dans cette perspective, reposant les bases et l'état de l'art dans diverses thématiques. Parmi ceux-ci, on retiendra par exemple les contributions de Eric Maire (INSA Lyon) en tomographie aux rayons X et en reconstruction d'images 3D ; de François Hild (ENS Cachan) sur la corrélation d'images 3D en mécanique des matériaux, ou encore de Pascal Brault (Université d'Orléans) sur le transport et la diffusion d'atomes dans les milieux poreux.

L'ensemble des exposés illustre bien le caractère multidisciplinaire de la thématique des matériaux numériques, avec des sujets concernant aussi bien des communautés du numérique et des mousses métalliques (bien représentée par les chercheurs du CEA-Le Ripault

notamment), des mathématiques appliquées et des morphomathématiques (dont les nombreux représentants du centre Mines-ParisTech de Fontainebleau), ou de la physique et / ou mécanique par exemple.

Les exposés de Jia Li et Justin Dirrenberger du Centre des Matériaux d'Evry ont quant à eux suscité l'intérêt et de nombreuses questions de la part des participants de tous bord.

Les prochaines JMN – dont les dates restent à déterminer – seront probablement à surveiller de près : cette première édition des Journées Matériaux Numériques apparaît comme un franc succès, et la participation massive de nombreux chercheurs de disciplines hétéroclites va en ce sens.

**Sources : J. DIRRENBERGER, F. JAMBON & J. LI.**

## Equipe Communication CdM

Le centre des matériaux ressent le besoin de renforcer sa communication interne et externe sur les bases d'une réflexion adaptée à son image et ses besoins. C'est pourquoi un service Communication, rattaché au service Communication de MINES ParisTech, a été créé en octobre dernier.

Les actions ont déjà donné lieu à la création de plusieurs posters présentant le Centre, à la mise au point de supports en concordance avec la charte graphique de l'école, à la participation aux vœux des directeurs, à la publicité des actions des chercheurs du Centre.

L'animation du réseau des correspondants web des équipes participe à la refonte du site sur lequel des rubriques Actualités, Agenda et

WebTV animent maintenant la page d'accueil.

L'implication dans les réseaux locaux a déjà permis des interviews diffusées sur des sites partenaires et lors des Rencontres Universités-Entreprises en mars dernier.

La continuation de la Newsletter, la réactualisation des trombinoscopes, l'interface entre les visiteurs et la direction du Centre, les contacts avec les communautés de communes locales, la remise à jour des plaquettes de présentation, la création de supports vidéo, autant d'illustrations de la variété des sollicitations faites au service communication du Centre.

**Source : F. DI RIENZO**

## Stagiaires

**GHIRARDI Baptiste**, du 21 au 26 janvier 2013, avec J. BESSON, pour une semaine d'observation de la classe de 3ème de collège

**SELVARAJAH Soruban**, du 07 janvier 2013 au 1er mars 2013, avec R. CLUZET, dans le cadre d'un Bac Professionnel en usinage

**WOLINNE Géraldine**, du 14 janvier au 30 juin, avec L. CORTE, dans le cadre du Master 2 BME, sur le sujet « Evaluation of novel Titanium coatings on polymer orthopedic implants »

**VILLAIN Arthur**, du 14 janvier au 30 juin 2013, avec L. CORTE dans le cadre du Master 2 BME, sur le sujet « Evaluation of the in vivo response for bone anchoring of novel artificial ligaments. »

**BURUCOA Claire**, du 14 janvier au 31 août 2013, avec L. CORTE dans le

cadre du Master 2 BME, sur le sujet « Characterization and modification of hydrogel fibers for the design of artificial ligaments with high fatigue resistance. »

**MARQUIS sylvain**, du 4 février au 1er mars 2013, avec R. CLUZET, dans le cadre d'une 1ère Pro. Électro-mécanique.

**VESQUE Mélanie**, du 25 février au 2 mars 2013, avec C. ROUIL, pour une semaine d'observation de la classe de 3ème de collège.

**CAMP Maxime**, du 25 février au 8 mars 2013, avec C. TOUSSAINT, dans le cadre d'une 1ère STI.

**UEDA Toshiyuki**, du 18 février au 28 juin 2013, avec T. MORGENYER, sur le sujet « Quantification et visualisation de la cavitation volumique 3D de données de laminographie in-situ de rupture ductile d'alliages d'aluminium ».

**QUANDALLE Grégoire**, du 18 février au 28 juin 2013, avec S. CANTOURNET sur le sujet « "Etude de l'influence de l'hydrométrie sur le PA 66". »

**MURALLI Agnese**, de février à octobre 2013, avec S. FOREST, en Post-doctorat sur le sujet « Milieux de Cosserat hétérogènes ».

**TAILLANDIER-THOMAS Thibault**, du 21 janvier au 30 septembre 2013, avec T. MORGENYER sur le sujet « Mesure de champs de déformation 3D par corrélation d'images ».

**Source** : V. DIAMANTINO

### La Newsletter du Centre des Matériaux

Mines Paristech - Centre des Matériaux P.M. FOURT  
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  
Photographies : Maria BETBEDER (sauf mention contraire)  
Comité de relecture : Françoise DI RIENZO, Yves BIENVENU



<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.