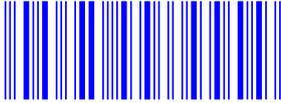


juillet - août 2012



NEWSLETTER 48



CENTRE DES MATERIAUX
P.M.FOURT

La Newsletter du CdM - Mines ParisTech



Editorial



1	Editorial
1	Faits marquants
2	Conférence SMT26
3	Le point Presse
3	Stagiaires, visiteurs
4-10	Soutenances des 1ère année
11	DiamLite
11	Séminaire CDM
12	soutenance de thèse

Juillet froid sous les averses et août chaud sous le soleil, mais c'était quand même les vacances. Et bien sur, l'activité du laboratoire s'est peu à peu ralentie. Mais heureusement nos doctorants de première année nous permettent de n'en rien ressentir car leurs résumés de thèses occupent plus de 5 pages de cette Tribune. Ce panorama annuel est un bon indicateur de la diversité des études menées au laboratoire et de celle de nos partenaires.

Une autre nouvelle est la création prochaine de l'entreprise DiamLite, dont il est question page 10. "Lumière de Diamant", joli nom pour ces marqueurs qui sauront vite se rendre indispensables, et qui ont retenu l'attention du jury du concours national du Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Bonne lecture
Françoise DI RIENZO

BONNE REPRISE A TOUS

Faits marquants de juillet-août :

- **02/07/2012** : séminaire du Pr. ZHANG (département de mécanique, université de Shanghai) « Diffusion Induced Stress and Failure in Li-ion Battery Electrodes »
- **04/07/2012** : soutenance de thèse de Rémi MARTINEZ "Modélisation multi-échelles du comportement d'un alliage d'aluminium de fonderie"

Faits marquants de septembre :

- **03/09/2012** : séminaire du Dr. Mingxin HUANG (Hong Kong University) "deformation mechanism of TWIP steels"
- **07/09/2012** : séminaire CDM "Endommagement des matériaux pour structures sous pression"

TERATEC

L'intérêt économique et scientifique pour le Calcul Haute Performance ne cesse de croître. En Europe, quatre sites se classent au top 10 mondial dont Bruyères-le-Châtel, campus de l'association TERATEC créée en 2010 et qui compte 60 entreprises et laboratoires de recherche.

Bruyères-le-Châtel abrite au sein du Très grand centre de calcul du CEA, Curie, un supercalculateur de 2 pétaflops/s. Ce monstre vient de permettre la réalisation d'une première mondiale avec le calcul de la structuration de tout l'univers observable, du Big Bang jusqu'à aujourd'hui; une incroyable simulation mettant en mouvement 550 milliards de particules.

Sur ce campus, la CCI Essonne a financé une pépinière-hôtel d'entreprises pour faciliter l'accès des PME au HPC, complétant un dispositif incluant des ressources humaines et techniques. Parmi eux, Genci joue un rôle particulier, notamment en proposant le seul programme en France d'aide à l'utilisation du HPC.

Source : Réussir en Essonne n°135

Conférence SMT26



La 26^{ème} édition de la conférence « Surface Modification Technologies » (SMT26) s'est tenue à l'Ecole Centrale de Lyon à Ecully du 20 au 22 juin 2012. SMT, rendez-vous annuel d'universitaires et industriels impliqués dans les traitements de surfaces, a regroupé, cette fois, 137 inscrits pour presque autant de communications (5 conférences plénières, 91 exposés classiques et une quarantaine d'affiches).

La projection thermique fut l'un des thèmes majeurs traités avec toute une journée qui lui fut consacrée, y compris la séance plénière d'ouverture de la conférence par un exposé d' A. VARDELLE (Université de Limoges /France). Cette plénière traitait de la projection thermique sous l'angle de la préservation de l'environnement grâce au développement de procédés nouveaux. La projection plasma de suspension (SPS « Suspension Plasma Spraying ») et la projection plasma en phase vapeur (PS-PVD « Plasma Spray-Physical Vapor Deposition »), y furent particulièrement mis en lumière. Dans le thème « projection thermique », la part belle fut donnée à la projection dynamique par gaz froid (« cold spray ») grâce à 9 communications. La réunion des 2 conférences invitées, respectivement par M. JAHEDI (CSIRO- Clayton /Australie) et J. VILLAFUERTE (CenterLine-Windsor/Canada) a permis de faire le point sur les derniers développements en cold spray utilisant tant des systèmes à haute pression (M. JAHEDI) qu'à basse pression (J. VILLAFUERTE). Les autres communications ont souligné des innovations remarquables : réalisation de sous-couche de barrière thermique par cold spray (K. OGAWA, Tohoku University-Sendai/Japon) et dépôt de céramique (TiO₂) par cold spray (M. YAMADA, Toyohashi University of Technology-Toyohashi /Japon). On a pu noter la participation (orateurs et auditeurs) à la session « Cold spray », de plusieurs membres du Club Cold Spray de MINES ParisTech/C2P (www2.mat.enscm.fr/clubcoldspray).

En dehors du cold spray, 2 sujets ont particulièrement retenu l'attention : les dépôts intermétalliques obtenus par RPS (Y. TSUNEKAWA, Toyota Technical Institute-Nagoya/Japon) et les dépôts nanostructurés (C.A. CUNHA, IPEN-São Paulo/Brésil). Bien que ne portant pas directement sur la projection thermique, la communication d'E. COPIN (Cranfield University-Cranfield/UK) sur les barrières thermiques a dû saisir plus d'un de ses spécialistes. E. COPIN y a, en effet présenté un procédé innovant de réalisation de barrière thermique pour l'aéronautique par pulvérisation radio-fréquence. Ce procédé est attendu, à terme, comme pouvant remplacer le dépôt par EBPVD et par projection plasma.

Les sessions « Art & Surfaces » se sont étendues sur plus d'une journée de la manifestation, démontrant, si besoin en était, les interactions fortes entre le monde de l'art et celui de l'ingénierie, via la science des matériaux. L'affiche sur le Matériaupôle (www.materiaupole.org) dont MINES ParisTech fut l'un des fondateurs, en témoignait bien à SMT26. Les communications d'A. GIUMLIA-MAIR (AGM Archeoanalisi-Merano/Italie) sur la métallurgie de l'or rose en Crête à l'époque Mycénienne et celle de M. AUCOUTURIER (C2RMF-Paris/France) sur la dorure à la feuille furent d'autres exemples probants.

La biomimétique a fait, cette année, une entrée remarquée au menu des thèmes habituellement proposés par les congrès SMT. La conférence plénière sur le sujet, proposée par H. ARRIBART (Académie des Technologies, Paris), spécialiste de renommée mondiale en la matière, suivie de la communication invitée d'A. KEITZIG (McGill University-Montreal-Quebec/Canada) ont emporté l'auditoire en montrant combien la science des Matériaux s'enrichissait quand elle s'inspirait de la nature.

L'intégralité de l'après-midi du 21 juin fut organisée en l'honneur du Professeur L. VINCENT qui prend sa

retraite cette année après une exceptionnelle carrière, à l'Ecole Centrale de Lyon et au RNMI (Réseau Méditerranéen des Ecoles d'Ingénieurs), au service de la tribologie et, plus généralement, de la science des matériaux. Il a contribué, notamment, par ses travaux, à faire de Lyon l'un des hauts lieux (la capitale mondiale s'accorde-t-on souvent à dire) de la tribologie. Il en fut récompensé par une médaille qui lui fut remise par M. JEANDIN à l'occasion de SMT26. Des tribologues de grand renom avaient effectué spécialement le déplacement, parfois de très loin, (G. W. STACHOWIAK de l'University of Western Australia-Crawley/Australie) et T. TOKUMASU de Tohoku University-Sendai/Japon) pour lui rendre hommage. Plusieurs de ses anciens étudiants lui ont aussi exprimé leur reconnaissance au travers de communications utilisant certains concepts fondamentaux développés par L. VINCENT : la théorie du « 3^{ème} corps » et l'exploitation de « bûches de fretting », notamment.

En dehors des thèmes majeurs préalablement cités, la conférence a couvert les principaux thèmes d'intérêt pour les traitements de surfaces de matériaux : par exemple, les couches minces, les procédés laser, l'hydrophilie, la corrosion, la nitruration, les analyses de surfaces.

Le Centre des Matériaux fut présent à cette conférence grâce à des présentations sur le caoutchouc autocicatrisant (L. CORTÉ), la céramisation de la soie par projection plasma (M. JEANDIN) et l'analyse à l'échelle nanométrique de couches minces de carbure de bore (M.H. BERGER et M. JEANDIN).

Le recueil des communications paraîtra avant la fin de l'année 2012 au terme du travail d'un comité de lecture comparable à ceux des revues scientifiques internationales. La prochaine édition de SMT, SMT27, se tiendra du 16 au 18 mai 2013 à Chennai en Inde.

Source : M. JEANDIN

Revue, congrès ... le point de juillet - août

Revue à comités de lecture

LAIARINANDRASANA Lucien, MORGENEYER Thilo, PROUDHON Henry, N'GUYEN Franck, MAIRE E., Effect of multiaxial stress state on morphology and spatial distribution of voids in deformed semicrystalline polymer assessed by X-ray tomography, Macromolecules, 2012, 45, p. 4658-4668

FISCHLSCHWEIGER M., CAILLETAUD Georges, ANTRETTER T., A mean-field model for transformation induced plasticity including backstress effects for non-proportional loadings, International journal of plasticity, 2012, 37, p. 53-71

SAI K., TALEB L., CAILLETAUD Georges, Numerical simulation of the anisotropic behaviour of 2017 aluminum alloy, Computational materials science, 2012, 65, p. 48-57

DUHAMEL Cécilie, CHIEUX M., MOLINS R., REMY Luc, MONCEAU D., VANDE PUT A., GUEDOU J.Y., Thermal cycling behaviour of thermal barrier coating systems based on first and fourth generation Ni-based superalloys, Materials at high temperatures, 2012, 29, p. 163-171

BURTEAU Anthony, N'GUYEN Franck, BARTOUT Jean Dominique, FOREST Samuel, BIENVENU Yves, SABERI S., NAUMANN D., Impact of material processing and deformation on cell morphology and mechanical behavior of polyurethane and nickel

foams, International journal of solids and structures, 2012, 49, p. 2714-2732

FENG C., GUIPONT Vincent, JEANDIN Michel, AMSELLEM Olivier, PAUCHET F., SAENGER R., BUCHER S., IACOB C., B4C/Ni composite coatings prepared by cold spray of blended or CVD-coated powders, Journal of thermal spray technology, 2012, 21, p. 561-570

PETRONI Laetitia, BOUSSUGE Michel, RYCKELYNCK David, Numerical simulation of the cooling-down of high-zirconia fused-cast refractories, Journal of the European ceramic society, 2012, 32, p. 3941-3947

DIRRENBERGER Justin, FOREST Samuel, JEULIN Dominique, Elastoplasticity of auxetic materials, Computational materials science, 2012, 64, p. 57-61

N'GUYEN Can Ngon, BARBE F., OSIPOV Nikolay, CAILLETAUD Georges, MARINI B., PETRY C., Micromechanical local approach to brittle failure in bainite high resolution polycrystals : a short presentation, Computational materials science, 2012, 64, p. 62-65

ROLLAND Gilles, SALLAMAND P., GUIPONT Vincent, JEANDIN Michel, BOLLER E., BOURDA C., Damage study of cold sprayed composite materials for application to electrical contacts, Journal of thermal spray technology, 2012, 21, p. 758-772

Actes de congrès

RYCKELYNCK David, Multidimensional hyper-reduction of large mechanical models involving internal variables, in : Proceedings of the ASME 2012, 11th biennial conference on engineering systems design and analysis, ESDA 2012, Nantes, 2-4 juillet 2012, 8 p.

DUMONT Alice, NAZE Loic, KOSTER Alain, REMY Luc, GUEDOU J.Y., FRANCHET J.M., Investigation of heat treatment parameters effect on the microstructure and on the mechanical properties of a powder metallurgy nickel-base superalloy, in : Metal 2012, 23-25 mai 2012, Brno (Rep tchèque), 6 p.

Brevets

CANTOURNET Sabine, CORTE Laurent, DETREZ Fabrice, KU D.N., CHERKAOUI M., BAXTER F., BACH J., Device for tissue repair, Brevet, WO 2012/098251, 26 juillet 2012, 34 p.

THOREL Alain, STOYNOV Z., VLADIKOVA D., CHESNAUD Anthony, VIVIANI M., PRESTO S., Pile à combustible avec ensemble électrolytes-membrane monolithique, Brevet, 2 969 395 du 17.12.2010

Source : O. ADAM

Stagiaires, Visiteurs

Kacem SAI, du 1er juin au 31 juillet 2012, dans l'équipe MM avec L. LAIARINANDRASANA, dans le cadre d'une coopération scientifique « Etude des lois de comportement des modèles de polymères, en particulier les polymères semicristallins, et la représentation des structures multicristallines à différentes échelles ».

Paul MARTY, dans l'équipe CAM avec S. JOANNES, pour un stage d'ingénieur de 3ème année « Composites unidirectionnels à matrice thermoplastique : caractérisation et modélisation ».

Mingxin LUANG, dans l'équipe MM avec A.-F. GOURGUES-LORENZON, dans le cadre d'une collaboration scientifique « Modelization of RIP phenomena ».

Source : V. DIAMANTINO

Exposés des doctorants 1ère année

BÉGUÉ Geoffrey

Dir. de thèse : M. JEANDIN

Maître de thèse : V. GUIPONT

Partenaire : Snecma, groupe SAFRAN

**Etude de l'adhérence de revêtements
céramiques : influence de l'oxydation
interfaciale sur la tenue mécanique
mesurée par choc laser**

Les aubes de turbine des moteurs d'avion sont des pièces soumises à des sollicitations extrêmes. La température des gaz de combustion peut notamment dépasser la température de fusion du superalliage constitutif de l'aube. La pièce est alors protégée à l'aide d'un revêtement en céramique isolante à base de zircone. La bonne tenue de cette céramique est d'une importance capitale pour l'industriel afin de maximiser la durée de vie de cette pièce.

Ce travail de thèse vise donc à évaluer la tenue mécanique du dépôt de zircone sur le système de référence Snecma en utilisant l'essai d'adhérence par choc laser LASAT (Laser Shock Adhesion Test). Il s'agit de tester localement et sans contact l'adhérence à l'aide d'un laser pulsé dont on peut faire varier le diamètre et l'énergie. L'interaction entre le faisceau laser et le matériau génère une onde de choc qui va se propager au travers du système, ce qui se traduit par des contraintes de traction qui peuvent entraîner la rupture de l'interface métal-céramique. Ainsi on peut mesurer la résistance mécanique de l'interface sur un système brut de fabrication ou sur un système vieilli thermiquement, présentant notamment une interface évolutive.

La présence d'une décohésion entre le substrat et le revêtement est mise en évidence par la présence d'une tache blanche lorsque l'on observe la zircone en vue de dessus. Un simple examen visuel permet donc de vérifier si on a formé une fissure.



Il s'agit de développer cette technique afin de fournir à l'industriel un moyen de contrôle non destructif sur article brut d'élaboration à l'aide de l'essai LASAT.

BEN ACHOUR Mona

Dir. de thèse : A. THOREL

Maître de thèse : A. CHESNAUD

Partenaire : ANR LIMA

**Etude des propriétés diélectriques
locales de nanoparticules pour la
modélisation du rendu de la couleur
de revêtements automobiles**

BEN TOUMI Rim

Dir. de thèse : J. RENARD

Maître de thèse : P. NIMDUM

Partenaire : PSA Peugeot-Citroën

**Endommagement par fatigue
polycyclique et durée de vie de
structures en matériaux composites
à fibres continues pour application
liaison au sol**

La maîtrise des consommations énergétiques et la réduction des émissions de gaz à effet de serre sont les principaux enjeux qui poussent à l'allègement des véhicules. Pour gagner en masse, les constructeurs automobiles se sont intéressés à l'utilisation des matériaux composites dans le périmètre de la liaison au sol. C'est dans ce cadre que s'inscrit mon sujet de thèse.



Une étude sur plusieurs niveaux est proposée pour obtenir une vision globale du sujet. A l'échelle du matériau, une caractérisation complète de son comportement en quasi-statique et en fatigue sous différents environnements s'impose.

A l'échelle de la structure, une confrontation essais /calculs s'avère

nécessaire pour bien comprendre les efforts subis par la structure réelle.

Enfin, la compréhension approfondie des mécanismes d'endommagement microstructuraux est une étape primordiale pour pouvoir prédire la durée de vie.

Cette analyse se fera à la fois sur des éprouvettes et à l'échelle de la structure. Pour valider chacune des étapes de l'étude, un contrôle non destructif sera mis en place lors des essais. Il s'agit alors de proposer un modèle de comportement et un critère pour le dimensionnement en fatigue d'une structure en composite à fibres continues en introduisant une procédure expérimentale et des outils de modélisation adaptée dans les codes de calculs.

BOUSSEMI Nada

Dir. de thèse : M. BOUSSUGE

Partenaire : PSA Peugeot-Citroën

**Simulations expérimentale et
numérique de la phase de
régénération des filtres à particules.**

BERNACHY-BARBE Fabien

Dir. de thèse : Jérôme Crépin

Partenaire : CEA

**Comportement mécanique de tubes
composites SiC_f/SiC**

Les réacteurs nucléaires rapides à caloporteur gaz (GFR), concepts de réacteurs de 4^e génération, requièrent des matériaux de gainage des combustibles présentant des propriétés mécaniques acceptables à des températures très élevées. Afin de s'affranchir du caractère aléatoire du comportement des céramiques, celles-ci sont utilisées sous forme de composite. En raison du peu de données disponibles pour des matériaux récents (fibres de 3^e génération Hi-Nicalon S), les composites SiC_f/SiC, matériaux candidats à cette application, requièrent une caractérisation mécanique poussée. Pour des sollicitations multiaxiales, l'endommagement du matériau et le comportement macroscopique en

Exposés des doctorants 1ère année (suite)

résultant est étudié sur des tubes tressés 2D. La connaissance du comportement viendra alimenter des modèles d'endommagement phénoménologiques, ainsi que des modélisations multi-échelles.



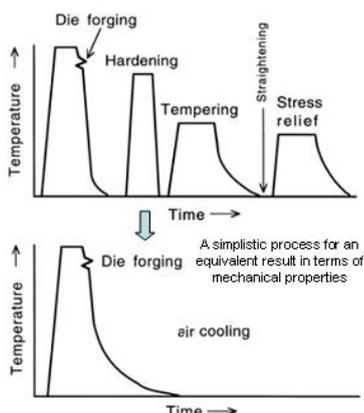
Vue extérieure d'un tube SiC/SiC-CVI tressé 2D utilisé dans l'étude

BORDEREAU Victor

Dir. de thèse : Anne-Françoise GOURGUES-LORENZON
Partenaires : ARCELOR

Influence des éléments d'alliage sur la transformation hors d'équilibre d'aciers forgés pour application automobile

ArcelorMittal a développé une nuance d'acier pour la réalisation de pièces forgées qui permet d'obtenir les propriétés mécaniques visées en utilisant un simple refroidissement à l'air libre après mise en forme à haute température. De nombreux post-traitements sont ainsi évités diminuant le coût global du procédé. Néanmoins, la composition chimique de cette nuance n'est pas optimisée car le rôle de chaque élément n'est pas entièrement compris et maîtrisé. De même, la microstructure finale est très complexe et est donc relativement difficile à caractériser.



Le but de cette thèse est d'établir les liens existants entre la chimie, la microstructure et les propriétés mécaniques dans le cadre de cette gamme d'acier. Pour ce faire, une première étape consistera à établir une méthode permettant une caractérisation précise de ce type de microstructure. On y emploiera plusieurs procédés de caractérisation croisés entre eux tel que, par exemple, l'EBSD, la microscopie électronique et la microscopie optique avec analyse d'image. Cette méthode pourra ensuite être appliquée sur plusieurs variantes de cette nuance afin de dégager l'influence de la composition chimique sur la microstructure. Enfin, la réalisation d'une caractérisation mécanique permettra de relier les propriétés mécaniques à la microstructure, et de ce fait, à la composition chimique.

DELLORO Francesco

Dir. de thèse : M. JEANDIN, D. JEULIN
Partenaire : CEA Le Ripault

Modélisation du dépôt par projection dynamique par gaz froid ("cold spray")

DE RANCOURT Victor

Dir. de thèse : S. FOREST, E. P. BUSSO
Maître de thèse : B. APPOLAIRE, K. AMMAR
Partenaire : Onera

Couplage oxydation-mécanique par la méthode des champs de phases: application à l'acier 316L polycristallin

L'élaboration des modèles de corrosion représente un enjeu majeur pour l'industrie. En effet, la lutte contre la corrosion se justifie par l'amélioration de la sécurité industrielle. Il est donc essentiel de mieux comprendre ce phénomène afin de réduire cette part d'incertitudes dans les structures et pièces industrielles. Des efforts importants ont été effectués par les corrosionnistes et métallurgistes afin d'endiguer les phénomènes de corrosion. Par l'intermédiaire de la simulation, nous proposerons un modèle de

corrosion couplé avec la mécanique: en effet, il existe un couplage bilatéral entre oxydation et déformations. Un modèle de corrosion prédictif permettrait de compléter des données provenant d'études expérimentales dont la durée peut s'étendre à plusieurs milliers d'heures. Dans le domaine de la modélisation, l'apport des champs de phases nous permet de distinguer chacune des phases en présence tout en restant dans le cadre de la mécanique des milieux continus et de considérer l'évolution de la morphologie des différentes interfaces; métal-oxyde et oxyde-oxyde. L'apport de la thèse se fera sous la forme d'un outil numérique évolutif permettant un couplage oxydation-mécanique avec un comportement viscoplastique intégré au logiciel ZéBuLoN.

FABRE Victor

Dir. de thèse : S. CANTOURNET, N. BILLON (Cemef), A. THIONNET
Partenaire : Hutchinson/TOTAL

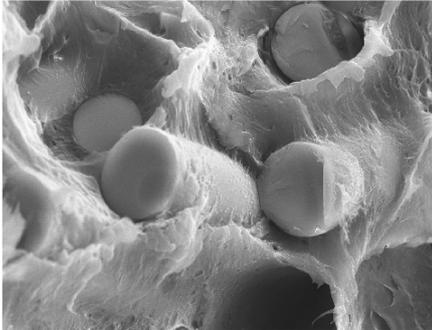
Étude et modélisation des mécanismes d'endommagement en fatigue des composites thermoplastiques à fibres courtes

Les thermoplastiques renforcés (fibres, charges, nodules), en raison de leur bon compromis de rigidité et de tenue au choc sont de plus en plus utilisés pour remplacer le métal, dans les applications automobile ou aéronautique. En particulier, l'utilisation de ces matériaux sous capot moteur permet une réduction du poids des véhicules et ainsi une réduction des émissions de CO₂.

Dans ces applications, les pièces sont soumises à des sollicitations dynamiques, à des contraintes de température (jusqu'à 80°C) et de vieillissement.

Afin de pouvoir prédire la durée de vie de ces pièces dans ces conditions, il est indispensable de mieux connaître les mécanismes d'endommagement mis en jeu.

Exposés des doctorants 1ère année (suite)



Faciès de rupture en fatigue du PA6,6 GF30
observé au MEB

Différentes méthodes déjà utilisées au centre des matériaux sur l'étude de la fatigue des élastomères seront adaptées aux thermoplastiques afin de caractériser les modes d'endommagement à différentes échelles: - A l'échelle microscopique: des essais in situ en tomographie seront réalisés à l'ESRF et sur le tomographe de laboratoire d'Hutchinson

- A l'échelle nanométrique: des essais de diffraction aux rayons X, au synchrotron Soleil à Orsay permettraient de caractériser à l'échelle nanométrique l'évolution de la porosité et de la cristallinité.

De plus, des variables externes significatives telles que la contrainte, l'amplitude des contraintes, la contrainte moyenne, la température, la fréquence et l'environnement seront également pris en considération. De nombreux moyens d'essais au sein du laboratoire seront réalisés à cet effet, tels que des essais uniaxiaux, biaxiaux.

L'objectif de ce travail est donc d'améliorer notre compréhension des mécanismes de rupture d'une catégorie de matériaux en plein expansion chez Hutchinson à partir de techniques innovantes et à la pointe de la recherche. L'enjeu pour Hutchinson est aussi de développer un savoir faire pour éviter une trop grande dépendance vis-à-vis des fournisseurs (qui, sur des matériaux

standards sont les seuls à savoir dimensionner en fatigue les pièces) et pouvoir créer de la valeur ajoutée grâce à une différenciation par rapport aux concurrents.

JULES Samuel

Dir. de thèse : Yves BIENVENU, D.

RYCKELINCK

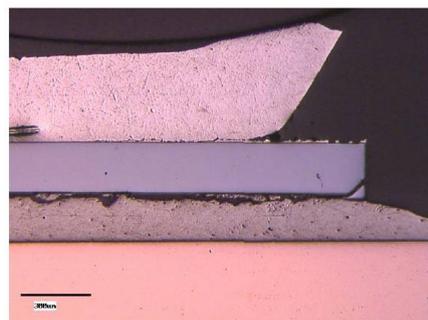
Maître de thèse : C. DUHAMEL

Partenaire : VALEO

Assemblages en électronique de puissance, comportement de joints brasés et prévision de la durée de vie par un modèle thermo-métallurgique et thermo-mécanique multi-échelle.

Les assemblages électroniques en particulier pour l'électronique de puissance en automobile (50kW et plus) sont soumis à des cycles de température allant de -40°C à $+175^{\circ}\text{C}$. Ces fluctuations de température entraînent une accumulation de déformations dans les joints brasés à cause de la différence de coefficient d'expansion thermique entre les composants, les brasures et les substrats. Ainsi les contraintes thermiques causent une diminution de la durée de vie de l'alliage ductile de brasure, avec amorçage d'une défaillance par fatigue oligocyclique.

Il devient nécessaire de comprendre l'évolution des différentes composantes de la microstructure des alliages étudiés, qui est très hétérogène avec une matrice d'étain et plusieurs intermétalliques, et dont la taille caractéristique des éléments est du même ordre de grandeur que l'épaisseur du joint brasé, environ $100\mu\text{m}$.



Observation d'une fissure amorcée par fatigue oligocyclique.

L'objectif de cette thèse, en convention CIFRE avec VALEO, est de créer un modèle d'assemblage électronique couplant plusieurs échelles, permettant de modéliser l'évolution de la microstructure de la brasure en fonction du temps et de la température, et ainsi d'affiner un critère d'endommagement utilisé pour prédire l'amorçage de fissures dans le matériau. Ainsi, le choix des éléments microstructuraux à modéliser sera motivé par les résultats d'une étude expérimentale de vieillissement thermo-mécanique de l'ensemble. Seuls les facteurs ayant un impact très important sur la durée de vie seront gardés et simulés.

KAHZIZ Mouhcine

Dir. de thèse : O. BOUAZIZ, E. MAIRE

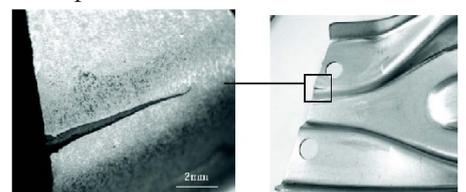
Maître de thèse : T. MORGENEYE, M.

MAZIERE

Partenaires : Arcelor Mittal

Effet de la découpe sur la ductilité des aciers avancés pour l'automobile

Les nuances AHSS (Advanced High Strength Steels) restent les plus utilisées dans l'industrie automobile. Parmi ces nuances, les aciers ferrite-bainite (FB) et dual phase (DP) avec leur microstructure composite ferrite-bainite ou ferrite-martensite présentent un meilleur compromis résistance mécanique-formabilité. En effet, la matrice ductile, ferrite, leur offre une bonne formabilité au regard de leur résistance mécanique. En revanche, au cours des étapes de mise en forme de tôles, des cas de déchirures, qui s'initient sur un bord découpé, ont été détectés. Cela a conduit à incriminer les procédés de découpe sans pour autant pouvoir expliquer l'effet des bords découpés sur la ductilité de ces nuances.



fissure apparue en cours d'emboutissage au bord d'un flan DP780 (ArcelorMittal)

Exposés des doctorants 1ère année (suite)

Objectifs de l'étude :

- Améliorer la connaissance des mécanismes mis en jeu au cours de la découpe afin de pouvoir les prendre en compte pour le développement des futures nuances
- Comprendre la chute de ductilité des tôles d'acier AHSS dur au bord découpé
- Comprendre l'effet de l'érouissage de la zone affectée par la découpe
- Comprendre l'effet de l'endommagement créé par la découpe en lien avec la microstructure
- Développer un modèle numérique qui permette de mieux comprendre les mécanismes de plasticité et d'endommagement d'un bord découpé basé sur les résultats expérimentaux.

LE BRUN Adrien

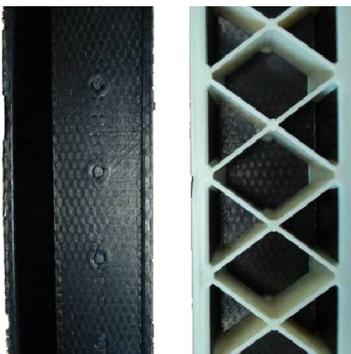
Dir. de thèse : J. RENARD

Maître de thèse : S. JOANNES

Partenaire : FAURECIA

Caractérisation mécanique d'un composite thermoplastique à fibres continues surmoulé et mis en forme par thermoformage

Le projet LYCOS (Lightweight hYbrid COmposite Structure) a pour objectif la conception multi-matériaux d'une assise de siège automobile dans un but de gain de poids. La structure de cette dernière est constituée d'une combinaison d'inserts en composites thermoplastiques à fibres continues (CTFC) surmoulés par injection de thermoplastique (cf Figure).



Le CTFC de Rhodia est un matériau de la gamme Evolite™ by Technyl®, une innovation majeure dans le domaine des composites thermoplastiques. C'est une nouvelle gamme, à base de polyamide de haute performance renforcé en fibres continues qui offre un équilibre entre légèreté, propriétés fonctionnelles tout en étant recyclables.

L'objectif de la thèse est la caractérisation des lois de comportement en statique et dynamique ainsi que des interfaces thermoplastique /polymère injecté. Les caractérisations devront respecter les normes automobiles et être valide de -30°C à 80°C, pour des taux d'humidité étant sec jusqu'à 50%.

Le travail de recherche portera sur la caractérisation de volumes élémentaires afin de déterminer des propriétés mécaniques ne pouvant être acquises par voie expérimentale (propriétés mécaniques hors plan...). Le développement d'une méthode analytique permettant de ne pas passer par des étapes de maillage (très longues) est un des axes forts de cette étude. De plus, la caractérisation de cellule dont les fils seraient désorientés (dû au thermoformage) pourra être réalisée.

LI Jia

Dir. de thèse : S. FOREST

Maîtres de thèse : H. PROUDHON, A. ROOS (Onera)

Partenaires / ANR CRYSTAL 3

Simulation numérique de la propagation de fissures de fatigue dans les matériaux polycristallins imagés par tomographie X.

MAESTRACCI Raphael

Dir. de thèse : M. JEANDIN

Maître de thèse : J.-F. COULON (ECAM Rennes)

Partenaire : RENAULT

Revetements multi-matériaux obtenus par procédés de projection gazo-dynamique Cold-Spray. Corrélations structures/propriétés/procédé. Application à la protection des surfaces de pièces automobiles (Groupe motopropulseur) soumises à des contraintes thermo-mécaniques et chimiques.

PIOZIN Emma

Dir. de thèse : A.-F. GOURGUES-LORENZON

Partenaires : CEA, J.-C. BRACHET, S. VINCENT

Influence des traitements thermo-mécaniques sur la microstructure et les propriétés mécaniques à haute température d'un acier à 9%Cr (ASME Grade 91).

Dans les futurs réacteurs nucléaires à neutrons rapides refroidis au sodium, il est envisagé d'utiliser des aciers à 9%Cr comme matériaux de structure pour différents composants : générateurs de vapeur, circuits secondaires,... Du fait des phases d'arrêt et de redémarrage des réacteurs, ces aciers ferritiques/martensitiques doivent donc avoir de bonnes propriétés en fatigue et en fluage à 550-650°C. Or, il a été montré qu'ils s'adoucissent sous sollicitation cyclique dans cette gamme de température : leur résistance mécanique diminue en fonction du nombre de cycles et devient inférieure à celle fixée par le cahier des charges. Ce phénomène semble être dû à un grossissement de la microstructure et une coalescence des précipités. Pour remédier à ce problème, l'une des solutions proposées dans la littérature (S. HOLLNER, et al., "High-temperature mechanical properties improvement on modified 9Cr-1Mo martensitic steel through

Exposés des doctorants 1ère année (suite)

thermomechanical treatments”, JNM. 405 (2010), pp. 101–108.) est d’appliquer un traitement thermo-mécanique pour partir d’une résistance initiale plus élevée.

Le premier objectif de ce travail de thèse est de comprendre l’influence de chaque paramètre du traitement thermo-mécanique sur la microstructure (ci-joint : Image MET en champ clair de lattes de martensite et de précipités « $M_{23}C_6$ » d’un acier traité thermo-mécaniquement) et de corrélérer ces observations avec les propriétés mécaniques. Grâce à ces premiers résultats, une équation simplifiée expliquant les gains de dureté par l’application d’un traitement thermo-mécanique sera donnée. Enfin, l’objectif à terme est de déterminer le « meilleur » traitement thermo-mécanique et de vérifier sa faisabilité à l’échelle industrielle.

Les premiers résultats de l’étude feront l’objet d’une présentation orale aux Journées d’Automne de la SF2M, en octobre 2012.

POMMIER Harry

Dir. de thèse : E. P. BUSSO et O. BOUAZIZ

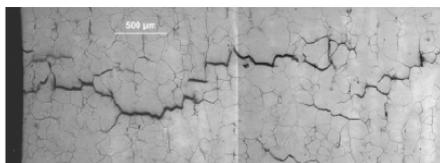
Maître de thèse : T. MORGENEYER
Partenaires : AREVA

Rupture intergranulaire : caractérisation par laminographie et application au phénomène de reheat cracking des aciers inoxydables austénitiques

Les aciers inoxydables austénitiques sont largement utilisés dans l’industrie chimique et de l’énergie pour leur bonne résistance à la corrosion et leur bonnes propriétés mécaniques jusqu’à environ 650°C. Parmi ce type d’acier, les nuances du type AISI 316 sont utilisées actuellement dans l’industrie nucléaire comme matériaux structuraux de certains composants du circuit primaire et secondaire des réacteurs à eau pressurisée (REP) pour une température de service d’environ 350°C. Ils devraient également être utilisés dans les futurs réacteurs de génération IV

avec une température de service d’environ 550°C.

Or, à cette température, le retour d’expérience industriel montre que ces aciers peuvent être plus ou moins sensibles au phénomène de reheat cracking (encore appelé fissuration par relaxation, stress relief cracking ou stress relaxation cracking). Ce phénomène est un mécanisme de fissuration intergranulaire observé dans des Zones Affectées Thermiquement (ZAT) ayant été réchauffées à des températures supérieures à 450°C (température de service ou traitement thermique post-soudure). Ce type d’endommagement viscoplastique intervient pour des taux de déformation faible (<1%) lorsque les ZAT ne possèdent pas une ductilité suffisante pour relaxer les contraintes résiduelles de soudage.



Micrographie d’une coupe du composant en acier 316H.

Conditions de service : 50000 h à 500°C

[Auzoux 2004]

Malgré les études menées sur le sujet, la caractérisation et la compréhension fine de ce type d’endommagement reste incomplètes. C’est pourquoi, dans le cadre de la chaire AREVA/Mines-ParisTech, l’étude de cette problématique est relancée sur les nuances de type AISI 316, sous le jour d’une technique d’imagerie innovante, la laminographie qui permet de reconstituer un volume en trois dimensions avec une précision micrométrique. L’utilisation de cet outil permettra de quantifier et de visualiser la morphologie de l’endommagement post-mortem. La gamme de température de l’étude sera de 350 à 600°C afin d’appréhender les risques de fissuration pour des températures de service basses (type REP) ou plus élevées (type

génération IV).

L’objectif scientifique de cette étude est d’améliorer la compréhension des mécanismes physiques du phénomène de reheat cracking des aciers inoxydables austénitiques de type 316.

Du point de vue industriel, une meilleure compréhension de ce phénomène néfaste pour la durée de vie des composants permettrait d’élaborer de nouvelles règles de conception des assemblages industriels et/ou la modification de la composition chimique de ces types d’aciers.

Le plan général de recherche proposé repose en trois grandes parties visant à :

- identifier une méthode simple et reproductible permettant d’observer et de quantifier le phénomène de reheat cracking dans les aciers 316,
- identifier les mécanismes dominants intervenant dans le phénomène de reheat cracking,
- développer une approche multi-échelle couplant la mécanique et la diffusion afin de prédire numériquement l’apparition de microfissures intergranulaires caractéristiques du phénomène de reheat cracking dans les aciers 316.

SHAKER Emmanuelle

dir. de thèse : Y. BIENVENU
Maîtres de thèse : C. COLIN

Fabrication directe d’implants biocéramiques sur mesure dans le domaine médical.

SOULIGNAC Romain

dir. de thèse : L. REMY
Maîtres de thèse : V. MAUREL,
A. KOSTER
Partenaire : SNECMA

Modélisation de la durée de vie à l’écaillage des barrières thermiques.

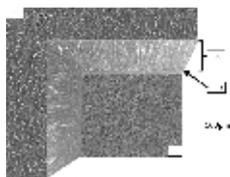
Les motoristes aéronautiques ont pour principal objectif l’amélioration des performances des turboréacteurs qu’ils développent. Cette optimisation est bien souvent réalisée en augmentant la température des gaz chauds en entrée de turbine (TET).

Exposés des doctorants 1ère année (suite)

Les aubes de turbine étudiées sont des aubes monocristallines réalisées en superalliage base nickel AM1, revêtues d'une sous-couche d'accroche (Ni, Pt) Al, puis d'une couche céramique protectrice de zircon. Un oxyde de croissance se développe à l'interface sous-couche/céramique au cours des expositions à hautes températures.

On peut modéliser la ruine des barrières thermiques en distinguant l'endommagement localisé à l'interface céramique/sous-couche de l'écaillage final de la couche céramique.

L'objectif de cette étude est d'abord de caractériser l'évolution de l'endommagement interfacial en fonction des conditions de chargements thermo-mécaniques. Une exploration de l'endommagement d'interface est possible en laminographie et permet d'apprécier de manière quantitative cet endommagement avant écaillage.



Observation en laminographie du système barrière thermique.

La deuxième partie de cette étude est l'analyse fine du lien entre endommagement interfacial et l'écaillage de la couche céramique. Des essais de compression sont mis en œuvre à basse température pour caractériser une déformation critique à l'écaillage en fonction du vieillissement du système.

TANKOUA Franck

dir. de thèse : A-F GOURGUES,
J. CREPIN

Partenaire : OCAS ARCELOR

Transition de rupture (ductile-fragile) des aciers pour gazoducs

Pour faire face à l'augmentation de la demande en gaz naturel au cours de ces dernières décennies, des tôles d'acier de plus en plus résistantes sont utilisées pour la production de gazoducs. Ces

nuances à haute résistance sont généralement obtenues par laminage à chaud thermomécaniquement contrôlé. Lors des essais d'impact Charpy et BDWTT (Battelle Drop Weight Tear Test) effectués sur ces aciers pour évaluer leur résistance à la propagation de fissures fragiles, on note, sous certaines conditions, la présence de fissures fragiles hors plan (délaminage et/ou rupture fragile en biseau) qui peuvent affecter la cristallinité des surfaces de rupture ainsi que l'énergie à rupture. De telles ruptures peuvent également être observées sur certaines éprouvettes de ténacité. L'objectif de la thèse est d'étudier ces modes de rupture fragile hors plan et leur interaction avec la fissure principale, en nous intéressant aux paramètres microstructuraux contrôlant les différents modes de rupture par clivage dans la zone de transition ductile-fragile.

VILLANI Aurélien

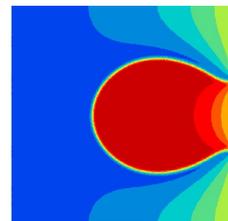
Dir. de thèse : S. FOREST, E. BUSSO
Maîtres de thèse : B. APPOLAIRE,
K. AMMAR

Développement d'un cadre de modélisation multi-physique permettant de prédire l'évolution de l'endommagement par irradiations.

La thèse prend place au sein du projet Européen RadInterface visant à présenter une démonstration de faisabilité d'un matériau nano-structuré capable d'évacuer les défauts d'irradiation, tels que les lacunes ou l'hélium. Il serait utilisé en tant que revêtement sur certaines pièces de réacteur nucléaire. Le matériau se présente sous la forme d'une alternance de nano-lamelles de métal pur, les interfaces entre ces couches permettant d'évacuer lesdits défauts. Dans ce projet multi-échelle rassemblant 9 universités de 6 pays, la thèse doit fournir un cadre de modélisation à l'échelle continue.

Un modèle champ de phase intégrant un couplage chimique-mécanique permettra d'étudier et de prévoir, dans un premier temps, l'évolution de lacunes et de cavités à proximité d'interfaces - tels

que les joints de grains et les interfaces entre nano-couches- dans un environnement irradié.



Evacuation d'une nano-cavité dans une interface

Evacuation d'une nano-cavité dans une interface

WEHBI Mickaël

Dir. De thèse : J. CREPIN
Maître de thèse : C. DUHAMEL
Partenaire : EDF

Développement d'un modèle d'amorçage de la Corrosion Sous Contrainte (CSC) pour les alliages soudés base nickel (182/82) en milieu primaire (REP)

Les soudures en alliage base nickel 182/82 (15 à 22 % de chrome) sont très largement utilisées dans les circuits primaires des réacteurs à eau sous pression. Depuis le début des années 2000, des cas de fissuration par Corrosion Sous Contrainte (CSC) ont été observés sur le parc (notamment aux Etats-Unis et en Suède) au niveau de ces soudures. Afin d'améliorer le modèle prédictif d'amorçage de la CSC existant pour un moule de soudure en alliage 182, nous étudierons plus particulièrement les aspects chimie locale (impact de la précipitation), l'aspect mécanique (localisation de la déformation) et l'aspect oxydation (pénétration des oxydes aux joints de grains et affaiblissement de leur tenue mécanique).

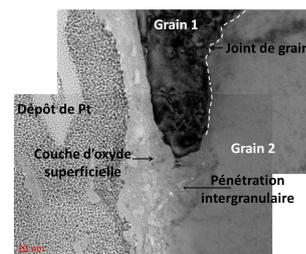


Image TEM conventionnelle de la pénétration d'oxyde au niveau d'un joint de grain (essai oxydation, 1000 heures en milieu primaire REP)

Exposés des doctorants 1ère année (suite)

La compréhension de ces différents mécanismes locaux nous permettra d'améliorer le modèle afin que celui-ci soit représentatif de différentes coulées (plus ou moins sensibles à la CSC) et qu'il prenne en compte des grandeurs physiques.

WOLLBRETT-BLITZ Julie

Dir. de thèse : J. RENARD

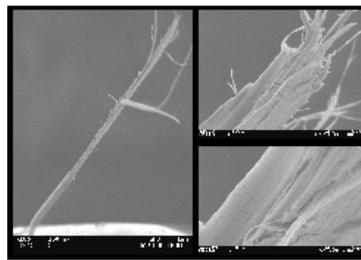
Maître de thèse : S. JOANNES,
A. MARCELLAN

Partenaire : PPMD, ESPCI – UPMC

Etude du comportement et des propriétés thermo-mécaniques des fibres aramides

L'aramide, polyamide aromatique, est principalement utilisé sous forme de fibres (diamètre d'environ 15µm) pour le renforcement de matériaux composites. La structure rigide de l'aramide confère à ce polymère de hautes performances

mécaniques, telles qu'un module et une résistance élevés. Le comportement cyclique à l'échelle du fil a largement été étudié; il a été démontré que les caractéristiques mécaniques évoluent fortement en fonction des conditions thermomécaniques.



Faciès de rupture d'une fibre aramide rompue lors d'un essai de fatigue à 150°C.

Cette étude vise à identifier, à l'échelle de la fibre unitaire, les effets des traitements thermiques ou des conditions mécaniques de cyclage sur

des paramètres tels que le module ou la force à rupture. On s'intéressera dans un second temps aux évolutions microstructurales induites. Des essais préliminaires sur fibre unitaire ont montré que l'évolution des caractéristiques mécaniques s'accompagne par exemple d'une énergie dissipée non-négligeable en fluage ou en fatigue. Cette dissipation s'associe à une réorganisation structurale, encore mal comprise. Une fois la microstructure liée aux propriétés mécaniques et la dissipation énergétique liée aux mouvements moléculaires dans les différentes directions, il serait intéressant d'établir un modèle combinant les échelles macroscopique et microscopique.

Sources : les doctorants concernés.

Séminaire

- **02/07/2012** : « Diffusion Induced Stress and Failure in Li-ion Battery Electrodes », Professeur ZéANGpartement de mécanique, université de Shanghai.

Source : M. MAZIERE

DiamLite, lauréat du concours OSEO Emergence

Quatre entreprises, accompagnés par Genopole® Entreprises, sont lauréats de la 14e édition du concours national du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, dont DiamLite.

Le projet vise la création d'une société dédiée à la production et au développement de nano-diamants fluorescents pour le marquage d'objets, le photovoltaïque et la bio-imagerie... Ce projet, récompensé dans la catégorie Emergence, est porté Alain Thorel, directeur de recherche à Mines Paris Tech, par Patrick Curmi, directeur du laboratoire Structure et activité des biomolécules normales et pathologiques (Inserm, Université d'Evry Val-d'Essonne, Genopole®), et Jean-Paul

Boudou, chargé de recherche au CNRS.

"Nous sommes évidemment très satisfaits de ce prix qui va nous permettre d'assurer les premières étapes de création de la société prévue en fin d'année, précise Alain Thorel. Ce projet a été retenu pour son caractère innovant : nous sommes les seuls à savoir fabriquer ces nano-diamants fluorescents qui sont des objets uniques ayant des applications dans les domaines des sciences du vivant, des sciences des matériaux, de la physique... L'excellence des laboratoires engagés a également joué en notre faveur".

Les applications prioritaires identifiées se déclinent dans le marquage d'objet

(besoin de traceurs permanents & lutte anti-contrefaçon), les sciences de la vie (marquage de molécules avec des marqueurs de petite taille (< 5 nm) ayant une fluorescence intense et durable, non toxiques) et le domaine photovoltaïque (besoin d'augmenter rendements et durées de vie des panneaux).

Le prix va servir à financer :

- l'étude de marché
- le business plan
- la recherche d'exploitabilité de brevets sur lesquels s'appuie la start-up
- la recherche de prospects (clients)

Source : A. THOREL

Soutenance de thèse

Modélisation multi-échelles du comportement d'un alliage d'aluminium de fonderie

Rémi MARTINEZ

4 juillet 2012

Ce travail présente les résultats d'un modèle théorique de précipitation de particules Al₂Cu dans un alliage d'aluminium de fonderie de type 319 traité thermiquement T7, prenant en compte les équations de la théorie de la coalescence. L'utilisation d'une distribution de taille de particules expérimentale discrétisée comme point de départ du modèle rend possible l'utilisation d'une équation de flux afin de modéliser l'évolution du rayon moyen des particules dans un élément de volume représentatif de l'alliage. L'utilisation d'un schéma numérique implicite permet de ramener la résolution du problème physique à l'inversion d'une matrice tridiagonale. Ainsi, l'évolution du rayon critique de

coalescence, du nombre total et de la fraction volumique de précipités sont obtenus pour plusieurs vieillissements. Les résultats du modèle a été confrontés aux résultats des mesures expérimentales qui ont été réalisées à l'aide d'observations en microscopie électronique à transmission et qui ont permis une mesure de la taille des précipités. Ces derniers ont été assimilés à des sphères de volume équivalent aux plaquettes réelles et ont été analysés numériquement. Les résultats fournis par le modèle théorique sont en bon accord avec les mesures expérimentales et ont permis le couplage du modèle de coalescence avec un modèle micromécanique fondé sur la théorie des dislocations et calibré à l'aide d'essais de traction en température. Il permet de déterminer la limite d'élasticité de l'alliage pour un vieillissement jusqu'à 1000h compris entre 23°C et 300°C. La limite d'élasticité est alors assimilée à une

somme de trois contraintes : une contrainte liée à la friction de réseau (contrainte de Peierls), une contrainte liée au contournement des précipités par les dislocations (contrainte d'Orowan) et une contrainte liée à la présence de solution solide. Enfin, des essais de fatigue oligocyclique à différentes températures ont permis de déterminer les variables internes de la loi de comportement macroscopique. Il s'agit d'une loi élasto-viscoplastique de type Lemaitre et Chaboche, à laquelle la limite d'élasticité calculée par le modèle micromécanique est couplée. Ainsi, le comportement physique macroscopique de l'alliage est fonction de la coalescence des précipités. Des calculs 1D ou 3D, par éléments finis, permettent alors de déterminer le comportement général d'une culasse soumise à de la fatigue thermomécanique.

Source : R. MARTINEZ

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.