

## Éditorial

Dans mon éditorial précédent, nous disions au revoir à Yves Franchot.

Dans celui-ci, nous accueillons Paul Victor Riboud qui a bien voulu reprendre la lourde tâche de secrétaire général de notre noble association. (Au passage, du reste, le titre exact n'est plus "secrétaire général", mais secrétaire pour des raisons liées à la loi sur les associations, passons...)

Paul Victor Riboud n'est pas un inconnu pour beaucoup d'entre vous, il a obtenu la médaille Chaudron en 1989. Sa carrière peut-être rapidement décrite car elle se déroule essentiellement à l'IRSID. Il y est rentré dès la fin de ses occupations payées par l'armée française au sud de la méditerranée. Là, il participe au développement de la thermodynamique et de la cinétique chimique appliquée aux réacteurs de la sidérurgie. Il gravit ensuite les échelons en élargissant sans cesse sa gamme :

Chef de service puis chef de département toujours sur l'application de la physico-chimie aux procédés et produits de la sidérurgie. Sur toute sa fin de carrière, il a exercé pendant une longue période et à travers maintes restructurations la fonction de Directeur technique de l'IRSID et c'est là, bien sûr, que nos pas se sont croisés.

Il a toujours eu la volonté d'approfondir scientifiquement les problèmes et son équipe poursuivant une assez longue tradition, s'est maintenue au top niveau mondial dans un environnement industriel passablement agité.

Je suis vraiment heureux de l'accueillir comme secrétaire de la SF2M et je suis convaincu qu'il nous apportera beaucoup.

Bienvenu, donc, à Paul Victor Riboud.

**François MUDRY**  
Président

Chers collègues

Je vous présente tous mes meilleurs vœux à l'intention de vos familles et de vous-mêmes.

Mes efforts en tant que secrétaire porteront principalement sur l'aide à nos membres pour toutes les actions contribuant au rayonnement de la société et à l'intensification des échanges au sein de la communauté des matériaux.

Dans les pages consacrées à la SF2M en tête du magazine Advanced Engineering Materials, une place est réservée aux faits marquants de la vie de vos laboratoires. Nous comptons donc sur vos contributions. Elles peuvent comprendre :

- des résultats majeurs, nouveaux à l'échelle nationale ou internationale, présentés de façon très synthétique (quelques lignes), pour audience large,
- des changements importants dans les laboratoires de l'École, personnels ou matériels,
- les résumés des thèses les plus marquantes (une demie page de revue environ),
- les manifestations que vous organisez, avec des invitations hors École,
- des offres d'emploi.

J'espère que, répondant à cet appel, vous créez l'embaras par des contributions nombreuses obligeant à étaler sur plusieurs mois leur parution ; c'est déjà le cas pour ce démarrage dans les pages qui suivent.

**P. RIBOUD**

### Éditorial

Page 1

### Vie des Laboratoires Thèses

Pages 2, 3 et 4

### CR de conférences

Pages 5, 6 et 7

### Colloque

Page 8

**SF2M**  
**Les Fontenelles**  
**1 rue de Craöva**  
**F-92024 Nanterre Cedex**

**Tél. : 01 41 02 03 90**  
**Fax : 01 41 02 03 88**

[sfmm@wanadoo.fr](mailto:sfmm@wanadoo.fr)  
[www.sf2m.asso.fr](http://www.sf2m.asso.fr)

## VIE DES LABORATOIRES

① – Centre Inter universitaire de Recherche et Ingénierie des Matériaux CIRIMAT  
UMR-CNRS-INPT-UPS - ENSIACET – 118 route de Narbonne – 31077 TOULOUSE CEDEX

### 1.1 - Quelques résultats marquants

#### Dans le domaine des couches minces

Des procédés originaux de dépôt chimique en phase vapeur à partir d'organométalliques (OMCVD) ont été développés pour déposer à basse température toutes les phases du système ternaires Cr-N-C. Cela ouvre des perspectives d'élaboration intégralement par OMCVD de revêtements monophasés, nanostructurés (polyphasés, multicouches) ou à gradient de composition visant des performances accrues pour des applications métallurgiques (revêtements tribologiques) ou électroniques (barrières de diffusion).

#### Dans le domaine des biomatériaux

- Mise au point de *ciments orthopédiques* à base de carbonate de calcium (brevet) et de *ciments injectables* à base de phosphates de calcium (brevet).
- Développement de phosphates de calcium nanocristallins comme *vecteurs de médicaments*

#### Dans le domaine des polymères

Travaux originaux sur le vieillissement des polymères ayant des applications dans le domaine des membranes de filtration et des colles naturelles utilisées en restauration des Monuments Historiques.

#### Dans le domaine de la corrosion et oxydation

Une étude couplée entre des mesures d'impédance électrochimique et des analyses de relaxation dipolaire dans des films organiques (peintures) a montré que l'effet de barrière à la corrosion était corrélé à la texturation des films. Cette approche contribue au développement de nouveau type de peinture pour des applications aéronautiques.

Etude expérimentale et théorique des processus d'oxydation et de corrosion à haute température de revêtement MCrAlY, d'alliages Ni-Fe-Cr et de fontes lamellaires.

#### Dans le domaine des transformations de phase

Développement d'outils expérimentaux originaux et de modèle de comportements mécaniques dédiés à l'étude des couplages mécanique-réactivité.

### 1.2 - Résumés de thèses marquantes du laboratoire

**Thèse de STÉPHANE GONÇALVES soutenue à l'Institut National Polytechnique de Toulouse - 6 Juillet 2001**

#### **ELABORATION D'UN CIMENT DE PHOSPHATE DE CALCIUM INJECTABLE ÉTUDE PHYSICO-CHIMIQUE, GALÉNIQUE ET DE BIOCOMPATIBILITÉ**

L'implantation de substituts osseux synthétiques a permis de diminuer les risques de contamination induits par les greffes. Le confort du patient associé à un souci financier ont amené les chercheurs à développer de nouvelles techniques d'interventions chirurgicales. Ces techniques ont nécessité le développement de substituts osseux injectables. Ce travail présente l'élaboration d'un tel substitut et son étude physico-chimique, galénique et les premiers tests de biocompatibilité.

La première partie est consacrée à la présentation des phosphates et des techniques d'injection. Un procédé de mesure de l'injectabilité des ciments est décrit.

La deuxième partie s'intéresse à l'optimisation de la formulation et aux modifications physico-chimique induites par l'introduction de deux additifs : le silicone et le polyéthylène glycol. Plusieurs réponses ont été suivies : résistance à la compression, temps de prise, injectabilité et porosité. A partir des résultats, des modèles mathématiques sont proposés. En ce qui concerne l'injectabilité, le silicone agit par un effet physique avec le glissement interparticulaire et par un effet chimique en diminuant à la fois la vitesse de prise et celle de formation de l'hydroxyapatite. Quant au polyéthylène glycol, il agit essentiellement par un effet physique de lubrifiant. Deux formulations utilisant le silicone et le polyéthylène glycol ont été optimisées.

La troisième partie correspond à l'étude in vivo des ciments optimisés. Cette étude, réalisée sur des lapins, vérifie la biocompatibilité des matériaux. La résorption osseuse a été observée dès 3 semaines d'implantation. Ces travaux montrent également l'influence du site d'implantation. Ainsi l'ostéointégration est plus prononcée en site cortical qu'en site médullaire.

La quatrième partie présente l'étude galénique initiée sur les différents ciments. Ces travaux indispensables ont vérifié notamment la stabilité et l'effet de la stérilisation gamma sur les additifs et ont permis de proposer un schéma de fabrication industrielle.

**② - Centre des Matériaux – École des Mines de Paris – BP 87 – 91003 EVRY CEDEX****2.1 – Distinction prix Jean MANDEL**

Samuel Forest, Ingénieur Civil des Mines et Docteur en 1996 du Centre des Matériaux est le récipiendaire du prix Jean MANDEL 2001 qui lui a été remis le 4 Octobre 2001. Ce prix a été créé en 1981 par Jean Mandel pour "encourager la recherche scientifique dans le domaine de la mécanique des solides ou de la mécanique et rhéologie des matériaux". Le jury s'est plu à remarquer ses travaux sur les milieux de Cosserat, également chers à Jean Mandel et sur le passage du comportement mécanique du monocristal à celui du polycristal, recherches qui revêtent un intérêt pratique avec le développement de la rapidité des calculs numériques.

**2.2 – Résumé de thèse**

**Thèse de doctorat de VINCENT LACOUR soutenue à l'École des Mines de Paris – 29 novembre 2001**

**MODÉLISATION DE LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE LORS DE LA PHASE DE RENOVAGE  
DES COEURS DE RÉACTEURS NUCLÉAIRES EN SITUATION D'ACCIDENTS GRAVES**

En 1979, l'accident du réacteur nucléaire de Three Mile Island (TMI) aux Etats-Unis marque l'accélération des recherches sur les accidents graves, c'est-à-dire qui conduisent à une dégradation significative du cœur du réacteur avec perte de géométrie. Elles permirent, entre autres, l'élaboration d'un code d'étude de scénarii (Modular Accident Analysis Program, MAAP) utilisé par Electricité de France depuis 1991.

On s'intéresse dans cette thèse aux accidents graves qui aboutissent à un découvrément partiel ou total du cœur d'un Réacteur à Eau Pressurisée. Pour éviter que de tels accidents dégénèrent et provoquent un relâchement de produits radioactifs dans l'environnement, il est prévu de renover le cœur en injectant une forte quantité d'eau. Différentes études comparatives ont montré que les codes actuels (dont MAAP) étaient incapables de simuler correctement cette phase et en particulier de prédire l'accélération de la production d'hydrogène expérimentalement constatée. L'accumulation de ce gaz entraîne un risque d'explosion pris en compte par l'installation de recombineurs catalytiques dans l'enceinte des réacteurs. Leur dimensionnement dépend directement de la cinétique de production d'hydrogène.

Cette thèse fait le point sur l'état des connaissances bibliographiques, analyse les modèles actuels de MAAP, propose de nouvelles modélisations puis les valide sur le cas réacteur TMI et les expériences semi-intégrales QUENCH (effectuées aux Forschungszentrum de Karlsruhe en Allemagne). Ces travaux ont principalement conduit au changement de la loi d'oxydation de MAAP à très haute température et à l'introduction de deux nouveaux modèles. Le premier est un modèle de thermohydraulique diphasique simplifié qui améliore le profil axial de la température des gaines. Le second détermine l'augmentation de la surface oxydable consécutive à la fissuration des gaines lors de la phase de renovage. Il est basé sur des calculs effectués avec le code ZEBULON de l'École des Mines de Paris et les constatations expérimentales du programme QUENCH. Ces modèles permettent une nette amélioration des simulations par rapport à la version standard de MAAP.

Cette étude se limite aux parties du cœur où les crayons combustibles ne se sont pas écroulés. Les programmes expérimentaux européens en cours devraient permettre d'étendre les nouveaux modèles à toutes les géométries.

**③ - ONERA – BP 72 – 92322 CHATILLON CEDEX****Résumé de thèse**

**Thèse de PASCAL BOCQUET soutenue à l'Université d'Orsay, Lab. de physique des gaz et des plasmas – 5 décembre**

**ETUDE NUMERIQUE ET EXPERIMENTALE D'UN REACTEUR DE DEPOT SUR FIBRE PAR VOIE PVD**

*Thèse effectuée au Département Matériaux et Systèmes Composites de l'ONERA*

Cette thèse est centrée sur l'étude d'un réacteur tubulaire de pulvérisation cathodique triode à confinement magnétique. Ce dispositif conçu à l'ONERA, est utilisé pour la production en continu de dépôts d'alliage de titane sur des fibres en carbure de silicium (SiC) destinées à la fabrication de composites à matrice métallique (CMM). La présentation de ce travail est axée sur l'étude du plasma d'argon, et sur ses effets sur le fonctionnement du réacteur de dépôt PVD. L'objectif final est d'optimiser le procédé de fabrication.

Parallèlement aux travaux expérimentaux, la bonne compréhension du fonctionnement de ce banc a nécessité le développement et l'utilisation d'un code de modélisation particulière (Monte Carlo – Particles In Cell) du plasma. Les comparaisons entre les dépôts réalisés sur fibres fixes ou défilantes, les mesures par spectroscopie et les résultats numériques permettent d'interpréter les phénomènes majeurs observés dans la décharge. Par exemple, la concordance entre les densités ioniques calculées, les profils longitudinaux de vitesse de dépôt et l'érosion irrégulière de la cible met en évidence une hétérogénéité de l'ionisation liée à la configuration électromagnétique du réacteur. Ces éléments ont permis de comprendre le fonctionnement global du réacteur et d'en améliorer le rendement de production.

## ④ - Lab. Science et Ingénierie des Matériaux – LSG2M – École des Mines de Nancy – Paris – 54000 NANCY

*Résumé de thèse***Thèse de doctorat de PIERRE CHAPELLE soutenue à l'INPL – Nancy le 24 janvier 2001  
Formation Doctorale Science et Ingénierie des Matériaux****ETUDE EXPÉRIMENTALE ET MODÉLISATION DE L'ARC ÉLECTRIQUE DANS LE PROCÉDÉ DE REFUSION VAR**

Directeur de thèse : D. ABLITZER - Co-Directeurs de thèse : J.P. BELLOT, A. JARDY

Jury : J.B. GUILLOT, A. RICARD, D. ABLITZER, G. BECK, J.P. BELLOT, A. JARDY, D. LASALMONIE

Le comportement de l'arc électrique dans le procédé de refusion VAR conditionne les distributions d'énergie et de courant électrique au sommet du lingot, ainsi que le transport des espèces volatiles dans la phase gazeuse.

Une étude expérimentale de l'arc électrique est menée sur un four VAR industriel instrumenté, lors de la refusion d'un alliage de zirconium. Des observations par vidéo rapide synchronisées avec l'enregistrement à haute fréquence de la tension d'arc permettent de décrire le comportement de l'arc électrique et ses interactions avec les mécanismes de transfert des gouttes de métal liquide de l'électrode au lingot. Un diagnostic, résolu spatialement, du plasma d'arc par spectroscopie d'émission optique permet de déterminer la proportion relative et la température d'excitation des différentes espèces de particules composant le plasma.

A partir des résultats expérimentaux obtenus et de l'analyse de la bibliographie relative aux arcs sous vide créés entre deux électrodes solides, nous proposons une démarche de modélisation de l'arc électrique, basée sur une représentation de l'arc comme un ensemble de clusters identiques et indépendants. Dans ce travail, nous nous focalisons sur la description d'un cluster unique, qui combine deux modèles : un modèle cinétique de la formation du plasma dans la région adjacente à la cathode et un modèle hydrodynamique bidimensionnel à deux fluides du jet de plasma en expansion sous vide dans l'espace interélectrode. Le modèle ainsi construit donne accès à la composition du plasma (degré d'ionisation, distribution du nombre de charge des ions) et permet de calculer les grandeurs macroscopiques (densité, vitesse et température) des différentes espèces du jet de plasma, ainsi que la densité de courant électrique et la densité de flux d'énergie cédées par le jet à l'anode. En particulier, le pourcentage de la puissance électrique du cluster transmis par le jet de plasma au bain liquide anodique, prédit par notre calcul (environ 24 %), est en bon accord avec la valeur donnée dans la littérature.

**Thèse de doctorat de LAURENT LADEUILLE soutenue à l'INPL – Nancy le 24 septembre 2001  
Formation Doctorale Science et Ingénierie des Matériaux****FORMATION DES MICROSTRUCTURES ET DES MICROSÉGRÉGATIONS INTRAGRANULAIRES  
EN SOLIDIFICATION INITIALE DES ACIERS AU CUIVRE**

Directeur de thèse : G. LESOULT - Co-Directeur de thèse : D. DALOZ

Jury : H. JONES, W. KURZ, J.P. BARDON, M. BOBADILLA, D. DALOZ, G. LESOULT

Cette étude porte sur la formation des microstructures intra-granulaires et des microségrégations lors de la solidification des premières centaines de  $\mu\text{m}$  en coulée continue d'aciers chargés en cuivre. Deux types d'expériences ont été réalisés pour assurer la solidification d'échantillons en laboratoire dans des conditions thermiques comparables à la formation de la peau en coulée continue :

- *des essais de refusion superficielle par laser*
- *des essais de chute de gouttes d'acier fondu sur un substrat en cuivre, instrumenté avec une photodiode au silicium.*

Les mesures réalisées avec la photodiode permettent de reconstituer l'évolution des conditions locales (gradient thermique, vitesse du front), lors de la solidification des 500 premiers  $\mu\text{m}$  de la zone corticale des gouttes.

L'ensemble des expériences montrent qu'essentiellement deux types de microstructures peuvent se former en peau des aciers au cuivre : les cellules et les dendrites.

Les microségrégations en cuivre ont été mesurées dans les échantillons refondus par laser et dans la zone corticale des gouttes solidifiées sur le substrat instrumenté. Des essais complémentaires de trempe en cours de solidification dirigée ont été réalisés pour l'interprétation des résultats. Ces expériences mettent en évidence le rôle important joué par la diffusion du cuivre dans le liquide résiduel de la zone pâteuse en régime cellulaire. La diffusion du soluté dans le liquide est à l'origine d'une forte surfusion chimique à la pointe des cellules et contribue à réduire significativement l'amplitude des microségrégations en solidification initiale.

**ASSEMBLÉE GÉNÉRALE****22 mars 2002 à 12h****à l'École des Mines de Paris – Salle Vendôme - 60 Bd St. Michel, 75006 Paris****ORDRE DU JOUR**

- |   |   |
|---|---|
| 1) Rapport moral et rapport d'activité 2001.                        | 5) Fixation des cotisations pour l'an 2003. |
| 2) Présentation du rapport financier 2001 et projet de budget 2002. | 6) Questions diverses.                      |
| 3) Résultat des élections au Conseil. Renouvellement des membres.   | 7) Conclusions et perspectives.             |
| 4) Constitution du bureau.  |   |

## JA 2001

## THÈMES ABORDÉS – COMMENTAIRES DES ANIMATEURS

*Symposium 1: «Pour l'assemblage pensez collage»*

Lors des journées d'automne, la principale spécificité de ce symposium sur le collage repose essentiellement sur l'éventail très large des sujets abordés. En effet, pour le collage, de nombreuses problématiques et matériaux ont été pris en compte : bois, métal, polymère, céramique, bioadhésion, peau, les dents, les os...

Ce symposium regroupait des exposés à caractère très scientifique, jusqu'à la modélisation de certains phénomènes, par les principales écoles et universités françaises : École des Mines de Paris et de Sophia-Antipolis, ICSI Mulhouse, université de Bordeaux, ESPCL... Les principaux sujets concernaient les mécanismes de plasticité lors de la rupture d'un joint de colle, le collage de tôles galvanisés huilées, les adhésifs sensibles à la pression, les relations entre adhérence et formulation.

Trois exposés de centres techniques : CREACOL, CETIM et CTTM ont balayé des applications industrielles de colles et adhésifs pour différents secteurs industriels : automobile, bâtiment, biens de consommation... L'exposé du CTTM du Mans traitait des moyens de fonctionnaliser des polymères pour améliorer l'adhérence. Toujours pour améliorer l'adhérence, l'exposé du LMS-ENSM Besançon proposait un moyen qui consiste à traiter les grains/particules classiquement utilisés pour un sablage et de traiter une surface métallique en réalisant ainsi un sablage mécano-chimique.

Toujours pour illustrer des applications industrielles, différents exposés ont montré le potentiel élevé du collage dans l'industrie aéronautique, du bois, la bioadhésion sur acier inoxydable, le domaine dentaire et médical.

Au niveau des tests d'adhérence deux communications proposaient des résultats obtenus sur des systèmes industriels : un premier sur la détermination de l'énergie d'adhérence résine époxydes/acier inoxydable par la technique de gonflement-décollement (INPG/ENSEEG St Martin d'Hères) et sur les revêtements thermoplastiques sur métaux : méthodes d'évaluation de l'adhérence et de la durabilité en milieu agressif (ATOFINA).

**D. VERCHERE**  
Animateur S1

\*\*\*\*\*

*Symposium 2: «Fibres et fils à haute performanoe»*

Les fibres métalliques "petites par leur taille, (jusqu'à 1 µm de diamètre), grandes par leur applications", sont enfin sur la voie d'une percée commerciale dans un nombre considérable d'applications.

Dans le domaine de la filtration, on s'approche peu à peu de la microfiltration, le domaine vaste de l'industrie alimentaire.

Dans le domaine "haute température", les brûleurs MF (Metal Fiber Burners) se sont bien implantés faisant appel à la multifonctionnalité des produits fibreux / poreux frittés ou textilés.

Il y a même l'espoir de les utiliser pour le renforcement de composites à matrice d'aluminium, l'avantage additionnel étant de pouvoir garder une bonne ductilité du composite.

Aussi les aciers à haut carbone continuent à tenir leur promesse. Avec des résistances à la traction dépassant 4 GPa, le steelcord, âgé de plus de 50 ans, maintient sa position comme matériel renforçant favori dans le pneu radial, une "niche" d'environ un million de tonnes par an. Grâce à sa microstructure quasi-idéale, l'acier perlitique a bien résisté aux menaces de différents matériaux de substitution comme les fibres de verre, les fibres carbone, les fibres organiques et les fibres amorphes.

Les cordes fines, un produit dérivé (spin off) du steelcord, ont fait apparition sur le marché, une application exemplaire étant l'emploi de ces câbles d'acier fins dans la nouvelle génération d'ascenseurs ou l'emploi de petites courroies au lieu de câbles de gros diamètre, a permis de réduire substantiellement le coût d'investissement (plus besoin d'une chambre à machine, plus de boîte de vitesse, dimensions des poulies de ≤ 100 mm, ...).

Par la maîtrise des systèmes d'adhésion entre l'acier et toute la gamme des thermoplastes, il s'annonce une nouvelle famille de composites, les SRTP (Steel Reinforced Thermoplasts).

Enfin, la convergence (combinaison) des technologies de production de fibres (métalliques), des technologies "cladding" et des produits steelcord à très haute résistance, a donné naissance à une nouvelle famille de produits hybrides dont le plus représentatif sera un fil / câble conducteur à haute résistance mécanique (50 IACS / > 2 GPa)

**I. LEFEVER**  
Co-Animateur S2

## *Symposium 4: « Modélisation des procédés et des microstructures pour des décisions novatrices et sûres Journée JeanMorlet*

Le symposium était dédié à la mémoire de Jean Morlet qui nous a quittés en avril 2000.

Industriel exemplaire, il était animé par la conviction que les relations de l'industrie avec le monde de la recherche, pour peu qu'elles fussent bien gérées, ne pouvaient qu'être profitables aux deux parties. Il savait que l'industriel n'a pas nécessairement les moyens, les compétences ou la disponibilité d'esprit pour mener à bien certaines études de compréhension à moyen ou long terme. En particulier, il avait décelé très tôt que la modélisation des comportements des matériaux et des procédés mis en œuvre pour les fabriquer était un enjeu majeur dans un monde où le développement technologique s'accélérait et dont les exigences en termes de fiabilité et de coût ne feraient que se durcir.

Les relations qu'il allait tisser avec de nombreux laboratoires étaient basées sur le postulat très simple que les échecs passés étaient principalement dus à une incompréhension mutuelle de ce que l'autre pouvait apporter. Il s'attacha donc à clarifier les participations de chacun dans les programmes d'études menés en commun, avec le résultat que l'on connaît (Beck, *LSG2M - Nancy*) et dont quelques exemples à vocation illustrative dans le domaine des procédés seront cités : procédé CLU d'affinage en convertisseur, coulée continue rotative de billettes ou encore procédé d'atomisation et de compaction de poudres pré-alliées (Raisson, *HTM Tecphy - Clermont-Ferrand*).

Après ces exposés introductifs, des exemples actuels de ce que la modélisation apporte à l'industrie ont été présentés, tant en termes de procédés de fabrication, de méthodes de calculs que de matériaux.

Ainsi, l'approche thermodynamique de l'élaboration de l'acier permet de décrire finement les équilibres métal-laitier et de prédire la nature du semis inclusionnaire (Gaye, Faral, Lehmann, *IRSID - Maizières les Metz*). Elle autorise également la prédiction des formulations potentiellement les plus intéressantes pour les alliages de magnésium ainsi que les traitements thermiques adaptés. On notera que ce domaine de recherches est très jeune et que la première étape consiste bien souvent à estimer les paramètres thermodynamiques eux-mêmes, à en déduire un diagramme de phases simplifié et de confronter ce dernier à la réalité par quelques expériences choisies. Ce processus itératif a été notamment utilisé pour concevoir de nouveaux alliages dans le système Mg-Y-Sc-Mn présentant des propriétés de bonne tenue à chaud (Pisch, Antion, Tassin-Arques, *LTPCM - St Martin d'Hères*).

La modélisation ne passe naturellement pas que par l'utilisation de théories connues et éprouvées, mais également par l'observation fine des systèmes à étudier. On notera par exemple l'utilisation de l'analyse d'images sur des microstructures mal organisées et l'application de la méthode en microscopie électronique où l'étude en transformée de Fourier permet de mesurer, dans le système Cu-Ag, des densités de dislocations très élevées, de l'ordre de  $10^{16}$  cm<sup>-2</sup>, des dimensions de grains de 10 nm ou encore des variations de paramètre cristallin de quelques pour cent (Hythc, Chevalier, *CECM Vitry sur Seine*, Zgal, Bellon, *UIUC Urbana USA*) ; dans le cas du comportement des parois de Bloch dans les alliages nanocristallins, de l'étude de leur énergie, de leur cassure et de leur multiplication sous l'effet des champs induits qu'elles génèrent au cours de leurs déplacements, imagerie et mesures magnétiques sont conjuguées à la modélisation (Geoffroy, Porteseil, *Laboratoire Louis Néel - Grenoble*, Fratila, *Université Babes-Bolyai - Cluj-Napoca Roumanie*, Waeckerlé, *CRY-IUP Imphy*).

Certains phénomènes, tels que le vieillissement des matériaux, ne se prêtent pas aisément à la modélisation. En effet, les échelles de temps à considérer font qu'il est difficile – voire dans quelques cas impossible – de confronter la théorie à l'expérience. Or, il s'agit à l'évidence d'une question très importante dans nombre d'applications industrielles pour lesquelles la durée de vie des matériaux employés est un paramètre crucial. A l'aide d'exemples simples, l'état d'avancement des méthodes de modélisation est détaillé pour trois situations différentes (Martin, CEA-Saclay, *Gif sur Yvette*) :

- le cas des processus activés thermiquement où la théorie est établie et où les difficultés sont surtout techniques,
- le cas inverse (barrière d'activation faible devant l'agitation thermique) pour lequel les modèles actuels ne sont pas d'une aide significative,
- le cas des matériaux « forcés », où l'évolution microstructurale se fait sous le double effet de processus activés et de sollicitations dynamiques imposées (irradiation, fatigue, ...) et pour lesquels une phénoménologie assez simple est en cours d'élaboration.

Les calculs numériques prennent naturellement une place importante et sont utilisés dans des domaines aussi variés que

- la modélisation de la refusion à arc sous vide, avec comme résultat significatif la carte des concentrations en éléments d'alliages dans le lingot final et de possibles adaptations du logiciel à d'autres procédés (Jardy, *LSG2M - Nancy*),
- l'optimisation du forgeage par la méthode des éléments finis qui conduit, par un choix judicieux du maillage et des algorithmes de calcul, à une description suffisamment précise de la réalité pour permettre de notables économies dans les mises au point industrielles (Chenot, Fourment, *CEMEF - Sophia Antipolis*),
- le dimensionnement des aubes monocristallines avec prédiction de leur durée de vie, problème pour lequel la mise au point de codes de calculs tridimensionnels avec prise en compte des singularités géométriques a été nécessaire (Cailletaud, Forest, Remy, *Centre des matériaux - Ecole des Mines de Paris*),

Les modèles numériques sont aussi une source de problèmes théoriques pour les mathématiciens qui fournissent ensuite théorèmes et solutions pratiques : les méthodes de calculs parallèles, où chaque ordinateur ne reçoit des autres que les seules informations dont il a besoin pour résoudre sa partie du problème total, permettent aux sous-ensemblés de traiter chacun leur problème, la solution de l'ensemble étant atteinte aux prix de quelques itérations seulement. Les applications concernent aussi bien l'automobile, les calculs d'acoustiques, les simulations de crash que la signature radar d'objets de formes complexes (Balabane, *ENPC CERAM - Marne la Vallée*).

Enfin, signalons la forte participation à la séance de posters (28) présentant des travaux récents ou en cours dans des domaines aussi variés que la conception, l'élaboration, la microstructure, les propriétés et le comportement des matériaux, la solidification, la diffusion, la recristallisation, le décapage et les traitements de surface, ou encore le traitement des coproduits.

**F. DUFFAUT, J.F. TIERS, J.F. WADIER**  
Animateurs S4

# JA 2001

## LAUREATS 2001



*Philippe Bompard, médaille Bastien Guillet, avec Louise Priester*



*Ricardo Cozar et Jean-François Tiers, lauréats du Prix Jules Garnier avec Xavier Shaeffer d'ERAMET*



*Roland Oltra recevant le Prix Uguine René Castro des mains de Jacques Jupille*



*Le Président félicitant Yves Combres, lauréat du Prix Mishima*



*Gérard Lesoult, médaille Chaudron*



*Valérie Maillot recevant le Prix Jacques Pomey*



*Annick Percheron Guégan, Vice-Présidente, félicitant Jean-Rémi Butruille, Prix Rist*



*Frédéric Soisson, Prix Rist*



*Société Française de Métallurgie et des Matériaux  
section Sud-Est*

*colloque*

## TRAITEMENTS THERMOMECHANIQUES

*hommage à Claude Rossard  
(1929 – 1989)*

**18 – 20 mars 2002**

**Ecole nationale supérieure des mines  
de Saint-Etienne**

**Espace Fauriel, Amphithéâtre A022**

comité d'organisation

**Frank MONTHEILLET**  
Julian DRIVER  
Anna FRACZKIEWICZ  
Helmut KLOCKER  
ENSM-SE

inscriptions

Cercle d'Etude des Métaux  
ENSM-SE

Le laminage contrôlé a été mis au point dans les années soixante pour améliorer les caractéristiques mécaniques (limite d'élasticité, température de transition fragile-ductile) des aciers de construction. Depuis, d'énormes progrès ont été accomplis dans la compréhension des mécanismes de la déformation à chaud. Les approches de la métallurgie physique ont été combinées avec celles de la mécanique des milieux continus. Les techniques de modélisation ont bénéficié de la généralisation des outils informatiques. La notion de traitement thermomécanique s'est étendue à d'autres catégories d'alliages (aluminium, titane, nickel, aciers ferritiques) et à d'autres procédés tels que le forgeage.

Les scientifiques français ont occupé une place importante dans ces développements, tant dans les laboratoires universitaires qu'industriels. Parmi ceux-ci l'Institut de Recherche de la Sidérurgie (IRSID), et tout particulièrement **Claude Rossard** (1929-1989) ont joué un rôle éminent. Le colloque "**Traitements thermomécaniques**" assemble des contributions illustrant les progrès effectués récemment dans trois domaines : ductilité et endommagement à chaud, contrôle et optimisation de la taille des grains, texture globale et orientation locale des grains. Diverses familles d'alliages sont concernées et une large place est réservée à l'exposé de problèmes industriels.

Ce colloque s'adresse à un large public, universitaire et industriel. Son niveau scientifique élevé est garanti par des conférenciers souvent de renommée internationale.

La langue du colloque est le français. Un recueil des documents (les textes des conférences), édité sous forme d'une publication de la SF2M sud-est, sera mis à la disposition des participants à l'ouverture du colloque.

---

*Afin de faciliter leur participation à ce colloque, un tarif préférentiel des frais d'inscription est proposé aux doctorants. Les jeunes chercheurs sont aussi invités tout particulièrement à présenter leurs travaux sous forme de posters, auxquels une session spéciale sera consacrée. Des panneaux d'affichage de format A0 seront disponibles pour affichage des posters pendant toute la durée du colloque.*

---

**Personne à contacter Mme GARNIER – Cercle d'Etude des Métaux – 158 cour Fauriel – 42100 St Etienne**  
Tél. : 04 77 4202 36 – Fax: 04 77 42 0000 – [sf2m.sud-est@emse.fr](mailto:sf2m.sud-est@emse.fr) – [cemetaux@sms.emse.fr](mailto:cemetaux@sms.emse.fr)