

Centre des matériaux PM FOURT (MINES ParisTech – MAT)

Directeur : Esteban P. BUSSO
À partir du 10 mars 2011 : Yves BIENVENU

Unité mixte de recherche CNRS (UMR 7633)
Directeur de l'UMR : Georges Cailletaud
Secrétaire générale : Anne Piant
Conseillers scientifiques : Dominique Jeulin,
Gilles Rousselier, Frédéric Feyel

Téléphone 33(0)1 60 76 30 00
Courriel mat@mat.mines-paristech.fr
Web et publications
<http://www.mines-paristech.fr/Fr/MAT>

Enseignants chercheurs	33
Autres personnels	54
Doctorants MINES ParisTech	104
Doctorants autres établissements	5
Autres étudiants	9
(y compris les Formations spécialisées)	

Le Centre des Matériaux est situé, depuis sa création en 1967, sur le site d'Évry-Corbeil de la société SNECMA du groupe SAFRAN. Ses activités concernent principalement les matériaux de structure utilisés dans les secteurs de l'aéronautique, l'énergie, l'automobile et la mécanique. Des études concernent également des matériaux possédant des propriétés ou des morphologies particulières pour la génération et stockage de l'énergie, les composants pour l'électronique, mais aussi pour des biomatériaux. La majeure partie des actions est réalisée en collaboration avec de grands groupes industriels, mais de nombreux travaux concernent aussi les PME-PMI.

Le Centre a été noté A+ lors de la dernière évaluation faite par l'AERES. Il est associé au CNRS, dans le cadre d'une Unité mixte de recherche (UMR 7633) appartenant à la Fédération francilienne des laboratoires en mécanique et matériaux. Il est partenaire des pôles de compétitivité constitués en Île-de-France (SYSTEM@TIC, ASTech, MOVE'O, EMC2, I-TRANS) et du pôle scientifique d'Évry Vals de Seine qui regroupe aussi l'Université d'Évry, l'INT, l'ENSIEI et le Genopole.

L'ambition du Centre est de réaliser une recherche scientifique de qualité profitant à l'industrie et à la société. Les ressources contractuelles du Centre représentent 50% d'un budget global d'environ 13 millions

d'euros et résultent d'accords avec des partenaires industriels dans le cadre de programmes bilatéraux ou dans celui de programmes de l'Agence nationale pour la Recherche, des Instituts Carnot, de l'Union européenne, de la DGA, des pôles de compétitivité et des programmes européens.

L'activité de recherche est caractérisée par une étroite complémentarité entre des approches expérimentales et la modélisation des phénomènes. Les résultats sont fréquemment intégrés dans des codes de calculs numériques.



Formation

Les activités de formation concernent les cycles suivants :

- Ingénieurs civils et Corps techniques de l'État : participation tronc commun, option SGM ;
- Masters recherche *Materials & Engineering Sciences in Paris* (www.lmt.ens-cachan.fr/MAGIS) et *Matériaux pour les structures et l'énergie* (<http://mse.mines-paristech.fr/>), *International Nuclear Energy* (www.master-nuclear-energy.fr), tous avec plusieurs laboratoires franciliens en matériaux et mécanique ;
- Mastère spécialisé *Comportement des matériaux et dimensionnement des structures -COMADIS*, (www.mat.mines-paristech.fr/Formation/fr_comadis) ;
- Doctorats spécialités *Sciences et génie des matériaux et Mécanique* dans l'École doctorale *Sciences des métiers de l'ingénieur*, portée par l'Ensam et MINES ParisTech ;
- Formation permanente, principalement dans le cadre du CACEMI.



Recherche

Les travaux des équipes de recherche et du groupe de valorisation présentés ici, visent la compréhension des phénomènes et des processus permettant d'expliquer et de prévoir le comportement des matériaux en fonction des sollicitations mécaniques, thermiques et de l'environnement. La maîtrise des matériaux repose sur les procédés d'élaboration (le contrôle des microstructures a un effet bénéfique considérable sur leurs propriétés mécaniques). La notion de performance des matériaux s'est progressivement effacée au profit de celles de fiabilité et de préservation de l'environnement.

Les développements récents en génie des matériaux sont le fruit d'une collaboration entre physico-chimistes, métallurgistes, mécaniciens et numériciens. Cette association, outre la formation de jeunes scientifiques intégrant les quatre cultures, a permis des avancées significatives par :

- la prise en compte de lois représentatives du comportement d'une variété de matériaux (métaux et alliages, céramiques, polymères, composites, tissages, multimatériaux...) et d'assemblages (soudage, brasage, collage...) dans des conditions complexes de sollicitation (grandes déformations, fluage, fatigue...) pour le dimensionnement des composants et des structures ;
- l'intégration de la notion de défauts et d'endommagement dans l'évaluation de la fiabilité ;
- le développement des approches « multiéchelles » qui déduisent à partir de caractéristiques microstructurales, les propriétés macroscopiques (mécaniques, fonctionnelles ou physiques) ;
- le développement des approches multi-physiques qui permet, à partir d'une compréhension des mécanismes physiques de couplage entre la microstructure, par exemple, et la diffusion, de prédire le comportement et la durée de vie des matériaux ayant des structures complexes ;
- le développement et la validation du concept d'approche locale de la mécanique de la rupture qui intègre les caractéristiques microstructurales dans les processus d'endommagement.

Équipe Surfaces, interfaces & procédés (SIP)

Marie-Hélène Berger, Yves Bienvenu, Christophe Colin, Cécilie Duhamel, Vincent Guipont, Michel Jeandin, Alain Thorel, Anthony Chesnaud

L'objectif des recherches est de relier les paramètres procédés aux propriétés d'emploi, via la microstructure. L'approche scientifique repose sur la thermodynamique des volumes, des surfaces et interfaces, sur la cinétique des transferts de chaleur et de matière, sur la physico-chimie de la matière condensée et sur la mécanique des matériaux. L'élaboration et la mise en forme impliquent des transformations de phase (solidification, polymérisation, cristallisation...) ou le passage de l'état de poudre à celui de matériaux denses ou à porosité maîtrisée, ainsi que des réactions entre phases. L'étude des interfaces (joints de grains, interfaces hétérophases) est indispensable pour comprendre l'élaboration ou l'endommagement en service. L'équipe est, de ce fait, impliquée dans les études et analyses de la matière à toutes les échelles. Les principaux thèmes actuels d'étude sont :

- Matériaux et structures pour la conversion de l'énergie ainsi que composants pour l'électronique de puissance et contacts électriques ;

- Multimatériaux pour propriétés fonctionnelles ou pour applications structurales ;
- Applications des faisceaux intenses d'énergie ou de la projection dynamique pour fabriquer de façon additive des objets à partir de poudres.

Équipe Matériaux & mécanique (MM)

Jacques Besson, Sabine Cantournet, Laurent Corté, Jérôme Crépin, Lucien Laiarinandrasana, Anne-Françoise Lorenzon, Yazid Madi, Thilo Morgeneyer, André Pineau, Henry Proudhon

L'équipe se situe à la frontière entre l'étude physique et structurale des matériaux et la mécanique des milieux continus. Elle combine intimement la caractérisation expérimentale des mécanismes physiques gouvernant le comportement des matériaux et leur interprétation à l'aide de modèles analytiques et numériques.

Les études menées à ce jour concernent les alliages métalliques, les polymères thermoplastiques et les élastomères pour, notamment, l'aéronautique, la production d'énergie électrique, pétrolière et gazière et les moyens de transport terrestres. Plus récemment, ce champ de recherche s'est élargi à de nouvelles problématiques liées à la matière molle et aux biomatériaux. Les principaux thèmes d'étude sont les suivants :

- Mécanismes et mécanique de la plasticité et de la viscoplasticité monotone et cyclique ;
- Endommagement sous chargement cyclique ;
- La rupture, étudiée principalement selon la méthodologie de l'approche locale développée au Centre des Matériaux ;
- Physico-chimie et mécanique de la matière molle et des biomatériaux.

Équipe Comportement à hautes températures (CHT)

Michel Boussuge, Alain Köster, Vincent Maurel, Loïc Nazé, Luc Rémy

L'étude du comportement de matériaux à hautes températures s'appuie sur une large panoplie de moyens d'essais mécaniques sur éléments de volume et sur structures, entre l'ambiante et 2000°C, voire au-delà, qui associe essais monotones, de fluage, de relaxation, cycliques et sous chargements thermiques et mécaniques combinés. Il s'agit de simuler expérimentalement, de façon aussi réaliste que possible les sollicitations attendues ou observées en service. Cette démarche permet d'identifier les mécanismes de déformation et d'endommagement critiques vis-à-vis du comportement et/ou de la durée de vie des matériaux étudiés.

L'identification des mécanismes et des échelles pertinentes des phénomènes nécessite le recours aux observations microstructurales, à différentes échelles, et à leur quantification, avant leur intégration dans les outils de calculs de structure du Centre ou de l'extérieur.

Le champ couvre aussi bien des matériaux métalliques (aciers, alliages à base de nickel, de titane) et non métalliques (céramiques, graphites, réfractaires, cermets...) que des composites à matrice métallique et des multimatériaux. Les pôles d'activité sont le développement et la sélection de matériaux, la détermination de lois de comportement mécanique et d'endommagement en conditions isothermes ou non, monotones ou cycliques.

Équipe Composites, Assemblages, Modélisation (CAM)

Anthony Bunsell, Sébastien Joannes, Jacques Renard, Alain Thionnet

Les activités de l'équipe CAM couvrent l'ensemble des domaines expérimentaux et théoriques nécessaires à la connaissance et à la compréhension des mécanismes physiques au sein des milieux dits « composites ». L'équipe est capable de traiter des études à l'échelle de la microstructure, motivées par des physico-chimistes, aussi bien qu'à l'échelle de la structure, motivées par des mécaniciens. Les principaux thèmes de recherche de l'équipe sont :

- à l'échelle microscopique : l'analyse des constituants (caractérisation et rupture des fibres, le comportement mécanique à long terme des composites, le vieillissement), les problèmes d'interface entre ces constituants (décollement, ensimage) ;
- à l'échelle mésoscopique : la décohésion fibre/matrice, l'endommagement des composites en général, les phénomènes de fatigue et de vieillissement ;
- à l'échelle macroscopique : la caractérisation des assemblages et de leur tenue dans le temps, le délaminage et les effets de bords, le comportement en dynamique rapide, l'écriture des lois de comportement des milieux anisotropes.

Ses thématiques de recherche sont structurées de telle sorte qu'elles généralement conduisent en toute fin, à la réalisation de calcul sur des structures industrielles.

Équipe Comportement & calcul de structures (CoCas)

Georges Cailletaud, Samuel Forest, Matthieu Mazière, Henry Proudhon, David Ryckelynck

L'objectif est de disposer de bonnes représentations du comportement et de la rupture des matériaux dans des codes de calcul. On compte donc des études

avec une forte composante numérique incluant le développement de logiciels, et des recherches menées la plupart du temps en collaboration avec d'autres équipes du Centre, permettant de mettre en regard les modèles développés avec des résultats expérimentaux. Les échanges se font également de plus en plus nombreux avec des équipes extérieures, françaises ou étrangères, en particulier grâce aux différents types de réseaux européens, qui permettent des échanges d'étudiants et des thèses en cotutelle. Tant pour les problèmes de comportement que pour les problèmes de rupture, les méthodes utilisées font appel à l'approche phénoménologique et à l'approche micro-mécanique, la première présentant l'avantage d'une plus grande facilité de manipulation, la seconde de meilleures capacités de prévision. Les thématiques abordées sont :

- Modèles et lois de comportement physiques
- Milieux hétérogènes
- Traitement de problèmes couplés
- Mécanique et micromécanique des contacts
- Réflexions sur la structure des codes

Groupe Valorisation (VAL)

Farida Azzouz, Laurent Jeanfaivre, Djamel Missoum, Nikolay Osipov, Stéphane Quilici

Le groupe VALorisation se situe à l'intersection de la recherche et de la réalité industrielle. Ses activités gravitent essentiellement autour du code de calcul ZéBuLoN, spécialisé dans les matériaux aux comportements non-linéaires. Se plaçant comme une interface entre les laboratoires de recherche et l'industrie, VAL intervient :

- dans le développement du code de calcul ZéBuLoN, partagé entre l'ONERA, Northwest Numerics (Seattle, USA), et le Centre des Matériaux ;
- en amont ou en aval de thèses, dans le cadre de projets de recherche en liaison avec les autres groupes de recherche du Centre des Matériaux ;
- en tant que sous-traitant sur les thèmes de compétence du Centre des Matériaux, par le biais d'études ou d'expertises.
- dans la distribution du code de calcul ZéBuLoN, impliquant la maintenance, la gestion des licences ainsi que l'assistance technique ;
- dans les formations dispensées sur les domaines d'application du code de calcul ZéBuLoN.



Faits marquants

En 2010, 18 thèses de doctorat ont été soutenues ; 2 brevets déposés, 13 chapitres d'ouvrages, 93 articles ou actes de congrès publiés dans des revues internationales à comité de lecture, ainsi que 30 articles dans des Actes de conférences et 3 livres ont été édités.

Olivier Bouaziz a obtenu le prix Jean Morlet de la SF2M et l'*Oustanding Reviewer Award* de Acta Materialia.

Yves Bienvenu a été promu Commandeur de l'Ordre des Palmes académiques.

Anne-Françoise Gorges-Lorenzo a été nommée Chevalier de l'Ordre des Palmes académiques.

François Grillon est devenu membre honoraire de l'European Microbeam Analysis Society (EMAS).

Michel Boussuge et Jérôme Crépin, respectivement Président et Vice-Président de la Fédération des Matériaux, ont organisé le congrès Matériaux 2010 qui a rassemblé, à Nantes, 1 900 participants.

Dans le cadre du programme *FEDER In Europe* et avec le soutien de la Région Île-de-France, le Centre des Matériaux a acquis une machine à électroérosion à fil (investissement 112 k€), un microscope électronique en transmission FEI pour un montant de 900 k€ et se verra livrer, début, janvier 2011, un cluster de calcul d'un montant de 134 k€.

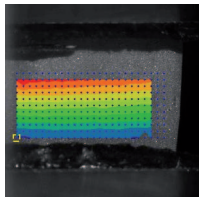
Étude de la cristallisation des polymères sous contraintes multi-axiales par diffraction des Rayons X

Équipe Mécanique et matériaux : S. Cantournet, Y. Pannier, H. Proudhon

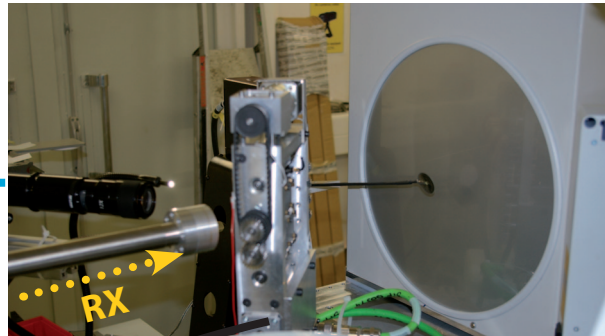
Le but de cette étude est de suivre le phénomène de cristallisation dans les polymères sous contraintes multi-axiales. Une nouvelle machine, compatible avec une ligne synchrotron de diffraction a été développée pour réaliser des essais in situ. L'objectif principal est de relier l'évolution de la microstructure avec les mécanismes de déformation et les propriétés mécaniques. Cette analyse permet aux producteurs de matière plastique d'élaborer de nouveaux types de polymères, de façon à modifier leurs propriétés et les rendre plus résistants, par exemple.

Essais in situ, synchrotron SOLEIL

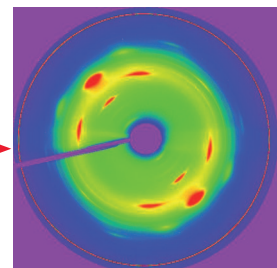
Corrélation d'images



Évolution de la déformation.

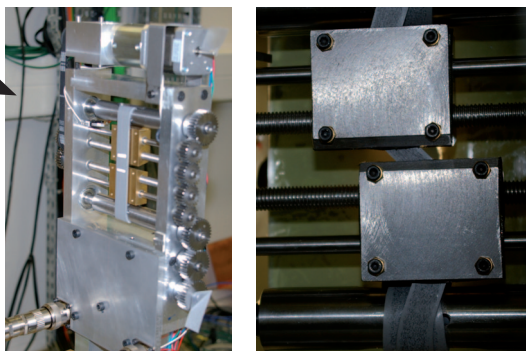


Diffractogramme



Évolution sous charge du taux de cristallinité et de l'orientation des cristallites.

Conception d'une machine motorisée compatible SOLEIL



Traction + cisaillement de polymères sous diffraction des rayons X.