

Juillet 2010 - n°27

## ÉDITORIAL



### Rapport Moral de l'exercice 2008 - 2010

par Jacques Lamon, Président de l'AMAC

Ce dernier exercice qui s'est achevé en janvier 2010, a été à nouveau une période active pour l'association.

Les 16èmes Journées Nationales sur les Composites (JNC) se sont déroulées à Toulouse, du 10 au 12 juin 2009. Le congrès a été remarquablement organisé par Philippe Olivier et ses collègues. Il a rassemblé 207 participants. Les JNC demeurent le congrès de référence pour la communauté des matériaux composites en France. Il a été l'occasion de dresser un bilan des travaux de recherche dans le domaine des composites en France, et aussi de célébrer les 30 ans de l'AMAC.

Les Journées Scientifiques et Technologiques (JST), atteignent à ce jour le nombre de 47. 2 JST ont été organisées durant la période 2007-2009 :

1- Apport des techniques de mesure de champ et des méthodes inverses d'identification en mécanique des matériaux composites – Metz, 7 février 2008.

2- Matériaux composites pour la construction – Marne la Vallée, 18 novembre 2009.

Ce nombre est en net recul par rapport à l'exercice précédent qui avait été une période féconde.

Il est inférieur à la moyenne depuis la fondation de l'AMAC (en 1979). Ceci est dû à des glissements progressifs de date.

Un numéro spécial de la revue des Composites et des Matériaux Avancés a été publié sur le « Renforcement des polymères par des fibres végétales » en 2008. Il faisait suite à la 45ème JST, qui s'était tenue les 11 & 12 décembre 2007 à Caen.

L'AMAC collabore avec plusieurs sociétés savantes en France et à l'étranger. Ainsi l'AMAC est membre sectoriel de l'AFM (Association Française de Mécanique). Elle fait partie de la FFM (Fédération Française des Matériaux). Elle a participé à sa fondation avec 20 autres sociétés savantes, en novembre 2003. La FFM a pour mission de favoriser la coopération entre les sociétés savantes concernées par les matériaux, au travers de l'organisation de la série de congrès « Matériaux 20XX » (avec XX = 02, 06, 10, etc...), tous les 4 ans. L'AMAC est engagée dans l'organisation de 4 colloques de « Matériaux 2010 ». Ces congrès rassemblent plus d'un millier de participants.

Des liens sont en train d'être établis avec le SAMPE France. Des actions communes sont envisagées. Le SAMPE France regroupe environ 250 membres.

L'AMAC tient une place importante dans l'ESCM (European Society for Composite Mate-

rials), dont elle est un membre fondateur. La présidence a été cédée à Leif Asp (Suède) en 2008, qui avait organisé ECCM13 à Stockholm.

A ces activités internationales, on doit ajouter l'édition dans un numéro de Composites Part A, d'une sélection d'articles de JNC 15. Les articles ont été évalués par les experts de la revue, dans l'optique de la publication dans un journal et non dans un numéro spécial. Les revues internationales sur les matériaux composites, telles que Composites Science and Technology, n'acceptent plus l'édition de numéros spéciaux. Ce changement de politique éditoriale peut limiter la diffusion internationale des articles des JNC. Cependant, on peut espérer que la mise en ligne des Actes via HAL leur donnera une large audience.

L'AMAC a accordé son label à des congrès nationaux (4) ou internationaux (7). Ce nombre reste stable par rapport à la période précédente :

- International Symposium on Aircraft Materials (ACMA 2008) Agadir, Maroc, 12 – 14 mai 2008

- Organic Materials for Construction: Technical and Environmental Performances (ORGAGEC'08) Marne la Vallée, 27 – 29 août 2008

- Journée AMAC&MECAMAT : Ecomatériaux, Amiens, 13 octobre 2008

- 3rd International Conference on Polymer Behaviour (ICPB3) Marrakech, Maroc, 3-7 novembre 2008

- Minisymposium AMAC&CSMA : Matériaux et structures composites: modélisation et calcul ; Colloque National en calcul des structures, Giens, 25-29 mai 2009

- 17th International Conference on Composite Materials (ICCM17) Edinburgh, GB, 27 - 31 juillet 2009

- International Symposium on Aircraft Materials (ACMA 2010) Marrakech, Maroc, 19-21 mai 2010

- Matériaux 2010, Nantes, 18-22 octobre 2010

- 7th International Conference on High Temperature Ceramic Matrix Composites (HT-CMC-7), Bayreuth, Allemagne, 20-22 septembre 2010.

- Dynamic behavior of polymers and composites, Strasbourg, 1-3 décembre 2010.

- Composites Testing and Model Identification (CompTest 2011), Lausanne, février 2011.

Le site web garde la trace des différentes activités de l'AMAC, qui viennent d'être évoquées. Il devient progressivement lieu d'archivage pour les années de l'ère internet. L'alimentation en informations d'actualité est plus difficile parce qu'elle nécessite

rait le concours spontané d'un plus grand nombre, ou de permanents. Mais il existe d'autres sites qui rendent ce service. Les actes des JNC 15 sont accessibles en ligne sur le site. Ceux des JNC14 le seront prochainement. Ceux des JNC 16 sont accessibles via Hal.

Le site de l'AMAC est maintenant hébergé par un hébergeur indépendant (VH) afin d'éviter à l'avenir les difficultés de transfert liées à l'hébergement par un service informatique universitaire. La nouvelle adresse est [www.amac-composites.org](http://www.amac-composites.org).

2 numéros d'AMAC Infos ont été publiés. AMAC Infos traite de sujets divers intéressants les composites, la vie des laboratoires, les congrès, la vie de l'association. Les contributions sont sollicitées. La fréquence s'est ralentie par rapport à la période précédente, mais elle reste dans la moyenne. Ainsi le 26ème numéro a célébré les 30 ans de l'AMAC, avec des témoignages

des fondateurs et des présidents successifs. Ce numéro anniversaire a permis de montrer que les matériaux composites ne doivent pas être considérés seulement comme des matériaux avancés mais comme des matériaux qui avancent.

Une nouvelle édition de l'annuaire a été publiée en 2008.

Le Prix Daniel Valentin 2008 a été attribué en juin 2009, à un jeune chercheur pour ses travaux dans le domaine des composites. Le Prix n'a pas été attribué en 2008 pour le cru 2007, faute de candidats ayant poursuivi leur activité dans le domaine des composites après leur thèse. Le Prix Daniel Valentin n'est pas un prix de thèse. Il souhaite en effet, reconnaître une activité continue dans le domaine des composites pour un jeune chercheur âgé de 35 ans au plus.

La formation aux matériaux composites était un des objectifs soulignés lors de la période

précédente. Une formation doctorale sur la mise en forme des composites est mise en place en 2010 (Nantes du 1 au 3 mars). Elle devrait être étendue à d'autres axes. Une école d'été est en cours de définition et devrait avoir lieu dans un avenir proche.

Le nombre des adhérents est resté stable : 300 membres environ. Comme d'habitude, il a été plus faible pendant l'année où il n'y a pas eu les Journées Nationales sur les Composites (2008).

En conclusion, l'AMAC est une société savante qui essaie d'œuvrer dans la Science des Composites, prise dans son acception la plus large, incluant tous les éléments de la discipline. Elle a accru son activité internationale, et elle a des relations fructueuses avec plusieurs autres sociétés, en France ou à l'étranger. Elle fait preuve de dynamisme dans la diffusion des connaissances et l'animation dans le domaine des composites. Les efforts dans le

sens de la pluridisciplinarité sont à poursuivre, non seulement vers les procédés d'élaboration et la fabrication des composites, mais aussi vers la physicochimie qui fournit les outils de base pour l'élaboration de matériaux nouveaux, facteur d'innovation. Les composites ayant atteint un degré de maturité indéniable, et les connaissances ayant été générées étant très grandes, l'AMAC doit en tenir compte pour ses activités futures, et jouer un rôle accru dans le domaine de la formation et de l'enseignement.

Toutes les activités de l'AMAC reposent sur le dévouement des membres du Conseil d'Administration qu'il convient de remercier pour le travail accompli.

Je souhaite bonne chance au nouveau conseil d'Administration qui vient d'être élu pour 2 ans, et à son nouveau président Yves Rémond.

## Bilan Financier

### Yves REMOND, Trésorier pour l'exercice 2009

Les comptes de l'AMAC en fin d'exercice 2009 présentent un solde réduit de 9739,52 € alors que l'exercice avait démarré avec un solde positif de 59300,64€. Le différentiel important est essentiellement à attribuer aux investissements que l'AMAC a effectués dans la préparation des JNC16 de Toulouse. Nous sommes en train de solder les comptes de cette grande manifestation, ce qui se traduira par un retour financier prévisionnel de 52400,00€ sur le compte courant en 2010, redonnant ainsi à l'association sa capacité d'action pour l'année en cours. Notons pour l'analyse que selon les organisateurs des JNC et leurs tutelles, les dépenses associées à cette manifestation sont soit attribuées directement aux comptes de l'AMAC et réglées par chèque, soit gérées par une structure officielle dépendant d'une université ou d'une école. Dans ce dernier cas, les factures sont réglées directement sur un compte alimenté par les inscriptions au congrès et seul le solde est reversé à l'AMAC à l'issue de l'événement. Il est donc difficile de comparer les années entre elles sans cette clé de lecture.

Le détail 2009 est présenté ci-dessous :

Solde du compte courant des cinq dernières années :

01/01/2006 : 21934,08€

01/01/2007 : 22870,31€

01/01/2008 : 58412,16€

01/01/2009 : 59300,64€

01/01/2010 : 9739,52€\*

\* sans prise en compte du reversement attendu des JNC16 de 52400,00€

L'exercice 2009 se traduit globalement par les éléments suivants :

Dépenses : 72827,60€

Recettes : 23266,48€ (sans les inscriptions aux JNC16, externalisées, elle figureront dans l'exercice 2010)

Recettes		Dépenses	
Cotisations / versement.	12355,86€	JNC16	51243,22€
Versement DR15	8000,00€	Le Moai Toulouse	4290,00€
Matériaux 2006	1451,00€	Avance JNC17	300,00€
Intérêts factures	24,62€	Repas CA	426,90€
Soutien JNC16	1435,00€	Prix D.Valentin	1500,00€
		Prix Poster	500,00€
		Secrétariat	2694,35€
		Retour ESCM	7635,00€
		AFM Cotisations	550,00€
		AFM Publicité	920,92€
		Annuaire	753,48€
		MAIF	103,30€
		Bulletin AMAC INFOS	1910,43€
<b>Total</b>	<b>23266,48€</b>	<b>Total</b>	<b>72827,60€</b>

## Prix Daniel Valentin : le lauréat 2008

Christophe BOUVET est le lauréat du Prix Daniel Valentin 2008. Au moment de sa candidature, Christophe BOUVET est âgé de 34 ans et occupait depuis septembre 2002 un poste de Maître de Conférences à l'Université Paul SABATIER de Toulouse. Il assurait ses activités d'enseignement dans la filière Génie Mécanique et ses activités de recherche au sein du LGMT devenue depuis Juin 2009 l'Institut Clément Ader (regroupement des laboratoires LGMT, ISAE (Mécanique) et CROMEP de l'Ecole des Mines d'Albi).

Avant 2002, durant sa thèse et également entant qu'ATER, Christophe BOUVET a étudié le comportement mécanique sous chargement multiaxial d'alliages à mémoire de forme. Ses travaux, basés en particulier sur le dialogue essai/calcul et sur une interaction forte entre les essais expérimentaux et la modélisation numérique, se sont révélés d'une grande utilité, à l'occasion de sa nomination à Toulouse, où Christophe BOUVET a opéré une conversion thématique puisqu'il s'est intéressé aux matériaux composites.

Le lauréat a eu l'occasion depuis 2002 de travailler principalement sur 3 thèmes. Le premier thème traite de l'impact et de la tolérance aux dommages de structures composites qui représente son axe principal de recherche, le deuxième de la propagation de coupures dans les stratifiés tissés composites minces (étude de la propagation d'une coupure dans des tissus minces de verre et de carbone sous chargement de fatigue contrôlé en déformation : approche expérimentale et modélisation) et le dernier de la conception d'un matériau d'âme multifonctionnel pour structure composite sandwich à bases de fibres enchevêtrés (aspect innovant en travaillant sur la nature des fibres pour régler les propriétés). La production d'articles est relativement importante et témoigne de la reconnaissance académique de Christophe BOUVET et donc de la réussite de sa conversion thématique.

Christophe BOUVET - qui a soutenu son HdR cette année et occupe à présent un poste d'enseignant chercheur HdR à l'ISAE - présentera ses travaux lors des prochaines Journées Nationales des Composites, JNC17 en 2011 à Poitiers.

Pr Frédéric THIEBAUD (chargé de l'organisation du prix D. Valentin)

Laboratoire de Mécanique Appliquée R. Chaléat

24 rue de l'Epitaphe - 25000 Besançon

---

## Bilan de la Réunion du GT Eco-matériaux

**Lundi 21 septembre 2009**

**Lieu : Université de Picardie Jules Verne, Amiens**

Ce GT Eco-matériaux contribue au groupe de travail commun entre les associations AMAC et MECAMAT. Rappelons que le terme d'éco-matériaux est défini dans une publication de Kohmei Halada en 1992 et cette notion prend tout son sens dans le contexte de développement durable et d'éco-conception. De manière générale, il s'agit de matériaux qui contribuent à la réduction de l'impact environnemental lié aux activités humaines. Kohmei Halada, pionnier en la matière, classe les éco-matériaux en quatre grandes catégories : i) Les matériaux contenant moins de substances dangereuses, ii) Les matériaux avec un meilleur profil environnemental, iii) Les matériaux avec un potentiel de recyclage plus important, iv) Les matériaux présentant une productivité plus importante par rapport aux ressources utilisées.

Les objectifs de la rencontre organisée à Amiens en 2009 étaient : informer sur les « éco-matériaux » en France (normes, législations, contexte économique et social, perspectives...), favoriser la communication d'informations scientifiques et techniques, contribuer à l'identification des besoins en recherche dans le domaine de la mécanique des matériaux et des matériaux composites.

Cette journée s'est organisée sur la base de trois thèmes principaux : a) thèmes transversaux sur les éco-matériaux et l'éco-conception, b) géopolymères et sédiments, c) bois et fibres végétales.

Ces journées ont réuni une quarantaine de participants de divers horizons.

Dans le cadre du prochain congrès Matériaux 2010, nous co-organisons le colloque 12 « Matériaux et Environnement » et plus particulièrement la session 12-1 Eco-matériaux, recyclage et matériaux pour un développement durable > Descriptif : Matériaux incluant des fibres naturelles (végétales, minérales, animales), tri des déchets et valorisation de matériaux recyclés, en privilégiant les caractéristiques physiques de ces « nouveaux » matériaux.

Joël BREARD

Membre du CA de l'AMAC

et Co-organisateur du GT Ecomatériaux avec E. Bretagne (MECAMAT)

---

# Bilan des JNC16

## Toulouse (Conseil régional de Midi Pyrénées) 10, 11 et 12 Juin 2010

Pour la première fois depuis leur fondation en 1978, les Journées Nationales sur les Composites se sont tenues en Midi Pyrénées. Au plus fort les JNC16 ont accueilli plus de 200 participants des communautés scientifiques et industrielles. Le travail de sélection des soumissions réalisé par les membres du comité scientifique des JNC16 a permis de retenir 158 résumés pour des présentations orales ou par affiches (posters). Les 10, 11 et 12 Juin 2009, au-delà des conférences plénières, les journées sont articulées autour de sessions fonctionnant en parallèle (jusqu'à trois en parallèle) sur les thèmes suivants :

o Applications aéronautiques ou industrielles :	11 contributions ;
o Approches multi échelles :	8 contributions ;
o Assemblages et Interfaces :	14 contributions ;
o Etude du comportement des matériaux composites :	13 contributions ;
o Durabilité et Effets de l'environnement :	7 contributions ;
o Dynamique, Impact, Crash :	9 contributions ;
o Ecomposites, Biocomposites, Recyclage :	14 contributions ;
o Endommagement, Rupture :	9 contributions ;
o Endommagement, Délaminage :	12 contributions ;
o Endommagement, Fatigue :	10 contributions ;
o Méthodes expérimentales :	11 contributions ;
o Modélisation du matériau :	7 contributions ;
o Nanocomposites :	5 contributions ;
o Procédés de mise en forme, mise en œuvre :	16 contributions ;
o Structures sandwich :	5 contributions ;
o SHM (contrôle santé matière), CND :	7 contributions.

Parmi ces contributions, on en dénombre 8 relatives aux composites à matrice céramique et/ou carbone (composites thermostructuraux), 2 sur les composites à matrice métallique et 4 portant sur les techniques de mesure de champs. L'ensemble des communications présentées aux JNC16 est disponible sur différents supports :

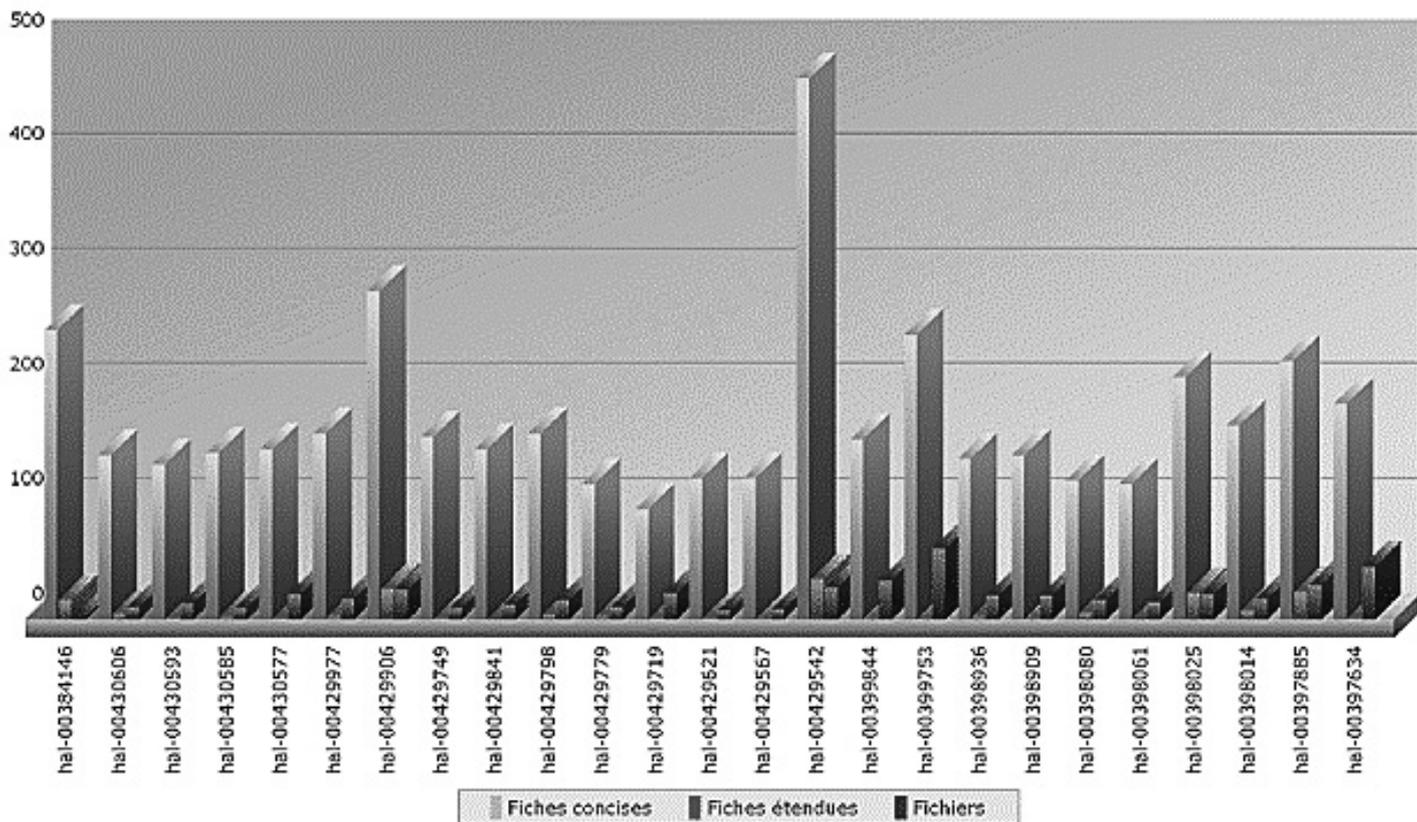
- un recueil ouvrage papier de résumés (ISBN 978-2-87717-092-6) ;
- un CD-ROM contenant les articles de 10 pages au format pdf.

Pour la première fois dans « l'histoire des JNC » 135 articles (10 pages) sur les 158 résumés de l'ouvrage papier - *certain auteurs n'ayant pas souhaité que leur communication soit en archive libre* - correspondants aux présentations orales et par affiches des JNC16 sont disponibles en archives ouvertes sur H.A.L. (Hyper Articles en Ligne ; <http://hal.archives-ouvertes.fr/>) à l'adresse suivante :

<http://hal.archives-ouvertes.fr/JNC16/fr/>

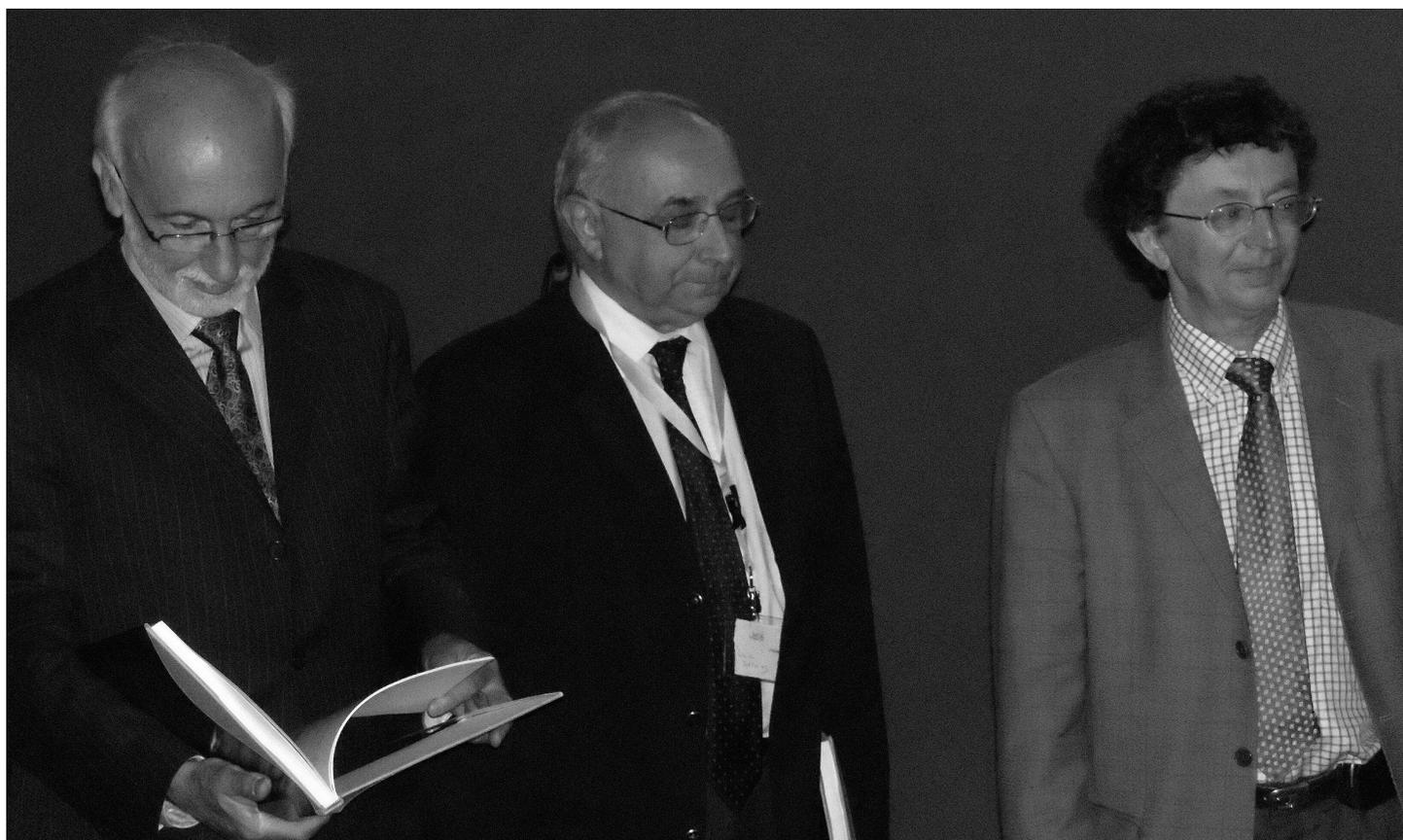
Depuis la mise en ligne effective de ces 135 articles (dès le 11/06/2009 pour certains articles), il est possible d'établir un bilan de la consultation de ces derniers. Nous en donnons ci-après un extrait sur les 25 articles les plus consultés. On notera comme faits marquants :

- (i) Ce sont d'abord les fiches descriptives (« fiches concises ») des articles saisies sur HAL qui sont consultées. Elles donnent titre, auteurs, adresses et court résumé ;
- (ii) Ensuite arrive la consultation des fichiers pdf des articles ;
- (iii) Enfin, certaines fiches d'articles ont été consultées plus de **470** fois !



Cet outil permet donc de juger de l'impact des JNC16. Un bilan complet devrait être prochainement transmis à l'ensemble du C.A. de l'AMAC et disponible sur le site WEB de l'association.

Les JNC16 ont aussi été l'occasion de fêter le trentième anniversaire de l'AMAC fondée en 1979 (cf. AMAC INFOS n°26). Pour marquer cet évènement dans la vie de l'association, trois des membres fondateurs de l'AMAC, messieurs BATHIAS, VERCHERY et BUNSELL ont accepté l'invitation de l'AMAC de participer au dîner de gala des JNC16 à (Toulouse le 11/06/10). Ils ont a cette occasion pu exposer avec force détails la fondation de l'AMAC et les premières années de sa vie.



De Gauche à Droite : A. BUNSELL, C. BATHIAS et G. VERCHERY lors du dîner de gala des JNC16.

# Un jeune membre AMAC lauréat du « Best Track Technical Paper in Manufacturing & Processes » de l'ACMA

(American Composites Manufacturers Association)

Mathieu HAUTIER, membre de l'AMAC depuis Juin 2009, s'est vu récompensé du Prix du « Best Technical Paper in Manufacturing & Processes » de l'AMCA. Ce prix lui a été remis lors de la conférence annuelle de l'ACMA (9-11 Février 2010) à Las Vegas pour ses travaux sur la réparation des stratifiés structuraux monolithiques par infiltration de résine. Mathieu HAUTIER est actuellement étudiant en troisième année de thèse inscrit à l'Université Paul Sabatier Toulouse 3. Il effectue ses travaux de recherche à l'ONERA de Châtillon (DMSC – David LEVEQUE) en collaboration avec l'ICA (Philippe OLIVIER).



Mathieu HAUTIER lors de la remise du Prix entouré de Kedzie FERNHOLZ et Ellen LACKEY également récompensées par l'ACMA.

## VIE DES LABORATOIRES



### Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (GeM)

Créé à Nantes en janvier 2004, le GeM réunit aujourd'hui 170 personnes (58 chercheurs ou Enseignants chercheurs) autour de trois activités principales : (i) Génie civil, (ii) Calcul de structures et (iii) Matériaux et procédés. Rattaché à 3 tutelles (Ecole Centrale, Université et CNRS), le GeM est localisé sur 4 sites, (i) à Nantes à l'Ecole Centrale et à la faculté des sciences, et (ii) à Saint Nazaire au CRTT et à l'IUT. Dans ce contexte, les composites ont pris depuis 5 ans une place très forte au sein du laboratoire (environ 20 thèses de doctorat sont en cours actuellement sur ce thème, thèses encadrées par une quinzaine de chercheurs).

Cet essor des composites dans la métropole de Nantes Saint Nazaire est lié initialement à l'activité aéronautique (Airbus

et fabrique notamment les tronçons centraux de l'A380, de l'A400M, et de l'A350 et depuis peu d'autres entreprises, à l'image de Daher ou de Spirit renforce cette activité) mais aussi à celle du nautisme (Bénéteau), du naval (DCNS, STX) et de l'industrie des transports (véhicules haut de gamme notamment). Dans ce contexte, à l'initiative conjointe des industriels, des pouvoirs politiques (région, état et Europe) et des universitaires, le Technocampus EMC2 a été créé pour mettre en place une plate forme mutualisée de moyens de mise en œuvre et de contrôle de structures composites. Cette plate forme initiée en partie par le GeM est indiscutablement liée aux activités composites du GeM.

Le GeM est l'un des membres fondateurs du Technocam-

pus EMC2. Après que EADS ait détaché en 2005 à l'Ecole Centrale 5 ou 6 ingénieurs du CCR de Suresnes (aujourd'hui intégré au sein d'EADS IW), l'intérêt de la co-localisation de chercheurs universitaires et industriels est apparu de façon évidente. La volonté d'Airbus de focaliser ses activités de recherche sur un nombre limité de sites a par ailleurs incité les régions européennes à proposer la mise en place de structures de recherche et développement mutualisées. C'est dans ce contexte qu'a été imaginé en 2006 et inauguré en sept 2009 le Technocampus EMC2. Ce centre est un ensemble de locaux loué à des partenaires (EADS, AIRBUS, CETIM, DAHER, EUROPE TECHNOLOGIE, NDT EXPERT ... Ecole Centrale de Nantes, Polytech' Nantes, ICAM et Ecole Centrale des

Mines de Nantes) pour développer ensemble ou avec d'autres partenaires des projets de recherche et développement autour de la mise en œuvre et du contrôle de structures composites. La mutualisation des moyens est assurée par l'exigence imposée à tous de laisser ses moyens libres pendant au moins 20% du temps, pour les rendre accessibles à des partenaires qui voudraient les utiliser de façon évidemment non concurrentielles. En louant aujourd'hui 100 m2, le GeM se trouve ainsi intégré au sein d'un bâtiment avec les chercheurs d'EADS IW pour y développer des études avec eux, mais aussi avec d'autres acteurs du centre (Airbus, CETIM, Daher,) et aussi de nombreux autres groupes ou PME qui travaillent sur les composites (Rhodia, Arkema, Zodiac Aerospace, ...).

Parmi les moyens spécifiques disponibles, on peut citer

- Moyens de drapage : salles de drapages manuelles et robots de placement de fibre de grande taille.
- Moyens chauds : Etuve et autoclaves de diverses tailles  
Moyens d'infusion
- Moyens de CND (US Laser notamment)
- Pultrusion TD et TP
- Moyens de soudage de composites à matrice TP (induction et US notamment)
- Moyens de parachèvement
- Moyens d'essais mécaniques
- Microtomographie aux rayons X

Autour de ces moyens, et le plus souvent en liaison avec des partenaires industriels, le GeM se structure autour de 3 thèmes principaux.

## 1. Mise en forme des composites

Autour de F. Chinesta et A. Poitou, le laboratoire est fortement impliqué dans ce domaine au travers de travaux de recherche (i) sur certains procédés et sur leur modélisation numérique et (ii) sur l'émergence de stratégies de calcul innovantes qui ouvrent de nouvelles possibilités pour la simulation de la mise en forme des composites. Les procédés étudiés portent pour une part sur les composites à matrice thermoplastique (drapage automatisé, soudage ultrason, thermoformage) et sur les composites à matrice thermodurcissable (cuisson).

Disposant des modèles de comportement et des modèles procédés, l'équipe aborde la simulation efficace des procédés de mise en forme qui a pour but prioritaire l'optimisation des procédés eux-mêmes. L'efficacité doit se concevoir ici comme la résolution précise et rapide des équations modélisant les matériaux et le procédé. En particulier des techniques de réduction de modèles, capables de

réduire les temps de calcul de quelques ordres de grandeur, ont été mises en place pour effectuer des simulations directes, mais aussi pour permettre de mettre en place des stratégies de contrôle ou d'optimisation, reconnues coûteuses en temps de calcul. Ces actions de recherche sont regroupées sous le volet Stratégies de calcul des modèles couplés, multi-physiques, multi-échelles de très grande taille.

Ces actions de recherche s'inscrivent dans le double contexte (i) du Technocampus EMC2 et (ii) de la Chaire de la Fondation EADS « Advanced modeling of composites manufacturing processes » adossée au GeM depuis septembre 2008.

### 1.1 Modélisation des procédés

Les procédés étudiés sont nombreux. Ils visent tous à diminuer les coûts (procédés hors autoclaves) ou à permettre une conception optimisée (soudage notamment). Sans rentrer dans une liste exhaustive, on peut citer

- Le soudage par ultrasons de composites à matrice thermoplastique : ce procédé amène localement la chaleur par déformation mécanique d'un directeur d'énergie moulé à l'interface. La simulation d'un tel procédé est difficile car elle nécessite un raffinement spatial à l'échelle de ce directeur d'énergie (qq. 1/10ème de mm) et la prise en compte de deux échelles de temps : le temps d'un cycle de sollicitation (20 kHz-1) et celui du procédé (la seconde). Le point de vue adopté consiste à utiliser une technique d'homogénéisation en temps.

- La cuisson d'un composite à matrice thermodurcissable. Ce procédé induit des transformations chimiques couplées à l'établissement de contraintes et de déformées résiduelles. Ce travail s'effectue en collaboration avec l'équipe de D. Delaunay du LTN pour les aspects thermocinétique et l'équipe EMM du GeM. L'originalité de l'approche réside dans la prise en compte (i) d'un comportement à seuil au voisinage

du point de gel et (ii) de l'anisotropie du retrait chimique.

- Le placement de fibres. Ce procédé permet d'obtenir une forme complexe, éventuellement non développable, grâce à l'enroulement de fines bandes de composites à matrice thermoplastique ou thermodurcissable. Dans ce contexte nous nous intéressons principalement aux thermoplastiques pour lesquels nous modélisons l'effet d'un chauffage laser sur la consolidation in situ du composite.

- La modélisation des suspensions de nanotubes de carbone. Dans le cadre d'une collaboration avec le Prof. Mackley de l'Université de Cambridge ainsi que avec le Prof. Régner de l'ENSAM Paris, des approches de type dynamique Brownienne, théorie cinétique et approches de type milieu continu ont permis cette modélisation.

### 1.2 Stratégies de calcul

Afin d'alléger les calculs, mais aussi de résoudre des problèmes jusqu'à présent jamais résolus, nous avons mis en place différents démonstrateurs fondés sur les techniques de réduction de modèles, et plus particulièrement la méthode PGD (Proper Generalized Decomposition). Cette technique est basée sur une séparation de variables, permettant l'introduction d'extra-coordonnées dans le modèle sans se soucier de leur impact dans le calcul. Cette démarche nous a permis en particulier de développer :

- Des modèles paramétriques, où les paramètres matériaux ou procédés, les conditions initiales, les conditions aux limites, ... sont introduits comme extra-coordonnées du modèle. La résolution fournit la solution en tout point, en tout instant, et pour toute valeur des différents paramètres introduits comme extra-coordonnées.

- L'optimisation et l'analyse inverse. Si les paramètres sur lesquels s'applique l'optimisation sont introduits dans le modèle comme des extra-coordonnées, une seule résolution

du modèle suffit, et donc la procédure d'optimisation ne fait appel qu'à la solution précalculée qui est ensuite particularisée pour les différents choix des paramètres. L'optimisation de forme ou le contrôle non-destructif sont des cas particuliers qui permettent de calculer, en un seul calcul, la solution pour toute géométrie ou pour toute position d'un défaut.

- La simulation en temps réel, l'homogénéisation linéaire et non-linéaire avec son couplage image-calcul, les problèmes multi-échelle en temps, la décomposition plane-out plane dans la simulation 3D de problèmes définis dans des géométries plaque ou coque constituent des applications où la PGD peut apporter des solutions en rupture. Nos démonstrateurs ont prouvé la faisabilité de telles approches.

## 2. Durabilité des composites et instrumentation

Autour de F. Jacquemin, le GeM mène des actions sur la durabilité des matériaux composites. Ce paramètre conditionne leur utilisation mais également leur développement. Il s'agit de prévoir l'intégrité de la structure après une histoire mécanique en interaction avec des conditions environnementales. La prévision de la durée de vie mais aussi des performances en service des structures composites nécessite la détermination des contraintes hygrothermiques, aux échelles des constituants et des plis, générées par les conditions environnementales. En effet, les matériaux composites à matrice organique interagissent avec l'environnement puisqu'ils absorbent de l'humidité principalement par le biais de leur matrice polymère. La mécanique des milieux continus et les modèles de transition d'échelles (modèles auto-cohérents de Kröner-Eshelby et de Mori-Tanaka) fournissent des informations complémentaires sur la localisation des contraintes hygro-mécaniques dans les plis, les fibres et la matrice des matériaux composites. Des simplifications d'ordre géométrique liées à la microstructure des matériaux, sur les tenseurs mis en jeu

dans le formalisme auto-cohérent, permettent d'aboutir à des expressions analytiques pour les champs mécaniques locaux. Ces approches ont conduit, par exemple, à la conception de cycles hygrothermiques de laboratoire accélérés, permettant de reproduire les états mécaniques multi-échelles dans une structure composite aéronautique, afin d'appréhender, en un temps raisonnable, la durabilité du matériau. Ce travail a notamment permis de tenir compte de la présence de porosités dans la microstructure, d'un comportement viscoélastique de la résine ou d'un vieillissement des propriétés de celle-ci et de simuler les répercussions éventuelles sur les contraintes internes hygrothermiques aux échelles des constituants et des plis.

Les travaux récents concernent une modélisation du couplage hygro-mécanique entre les états mécaniques internes et les paramètres gouvernant le comportement diffusif, coefficient de diffusion et capacité maximale d'absorption. Ce couplage est tout d'abord introduit au niveau de la matrice hydrophile pour laquelle les paramètres gouvernant le processus de diffusion sont dépendants des déformations locales puis étendu aux plis composites par l'intermédiaire de l'approche multi-échelle. La comparaison avec une approche découplée traditionnelle permet de mettre en évidence la forte interaction entre le comportement diffusif et les contraintes internes.

Parallèlement sont menées des campagnes expérimentales « accélérées » permettant d'étudier le comportement des matériaux composites sous sollicitations combinées aptes à révéler les différents couplages (thermo-mécanique, hygro-mécanique ou hygrothermo-mécanique). Pour ce type d'essais, nous utilisons notamment des méthodes de champs (interférométrie laser de speckle, corrélation d'images, projection de franges) qui présentent un caractère sans contact pertinent et des capteurs ad hoc développés en interaction avec des physiciens (capteurs à réseaux de Bragg pour mesurer

des gradients de déformation le long des fibres notamment). Les prochains développements devraient concerner le comportement de matériaux composites endommagés soumis à des environnements humides. Il s'agira, pour le GeM, d'une part de développer une modélisation du couplage entre endommagement et cinétique d'absorption d'humidité pour les matériaux composites et d'autre part de mettre en place des approches numériques avancées aptes à représenter l'interaction entre la propagation d'un endommagement et la présence d'un environnement humide.

Autour de P. Casari, le GeM développe en interaction avec d'autres laboratoires (IREENA notamment) des nouveaux capteurs à réseau de Bragg qui doivent autoriser une mesure complète de la déformation (éventuellement dans plusieurs directions) le long de la fibre. De façon plus générale, le GeM régulièrement sollicité pour instrumenter de voiliers de compétition et des navires motorisés en matériaux composites. Les études dans ce domaine ont pour but essentiel de rapatrier en laboratoire des problématiques rencontrées dans la conception ou la fabrication de pièces de structure en composites, telles que l'apparition de contraintes internes de fabrication, la caractérisation des matériaux incluant des effets visqueux ou la définition de critères de résistance adaptés en compression ou en délaminage par exemple. Cette expertise a été utilisée avec profit pour collaborer avec le défi français pour l'America's Cup et des projets de grands voiliers de course. Ce travail collaboratif a donné lieu à la publication d'un article dans les Techniques de l'Ingénieur (AM 5655) Les verrous scientifiques se situent principalement en amont de solutions technologiques particulièrement avancées et proposées par les constructeurs de voiliers de compétition, puis dans le slamming (couplage fluide-structure produit lors de l'impact des coques sur les vagues). Des relations privilégiées sont entretenues avec différents chantiers de construction français et étrangers pour alimen-

ter une veille technologique, et un programme de recherche est en cours avec l'Université d'Auckland sur les questions relatives au slamming.

### 3. Calcul des structures

Autour de N. Moes, L. Stainier et L. Gornet, le laboratoire est impliqué dans le calcul et le dimensionnement de structures composites

#### 3.1 De l'endommagement à la fissuration

Autour de N. Moes, le GeM travaille sur une nouvelle modélisation de l'endommagement basée sur le concept de level set épaisse (ou TLS pour Thick Level Set). Cette modélisation considère que l'endommagement se développe via un front d'endommagement et que l'endommagement dans le sillage du front est une fonction explicite (donnée du modèle) de la distance au front. Au delà d'une distance  $l_c$ , l'endommagement est considéré égale à 1. Dans ce modèle TLS, la distance minimale entre un point non endommagé et un point totalement endommagé est donc  $l_c$  par construction. Une des applications cibles actuelles de ce nouveau modèle est la fissuration transverse dans les composites. Le branchement des fissures à l'interface entre plis est capté via le branchement de la level set localisant le front de l'endommagement. Ce travail est en des éléments du projet RUPSCEN piloté par le GeM et financé par la fondation aéronautique et espace. Le projet RUPSCEN s'attache à la modélisation numérique de la rupture dans les composites en couplant des approches à différentes échelles. Les autres partenaires de ce projet sont le LAMCOS, le LMT et l'ONERA. Un couplage de la TLS avec l'approche X-FEM est également en cours pour faire naître les fissures dans les zones complètement endommagées et arrivé ainsi à une transition mécaniquement et numériquement bien posée entre l'endommagement et la rupture.

Autour de L. Gornet, le GeM travaille sur le comportement de structures sandwich pour

la nautisme (NOMEX) à la fois en statique et en fatigue. Le but final est de cet axe est de pouvoir aborder des cas concrets de dimensionnement de structures, dans le domaine des voiliers de compétition avec la société Multiplast notamment.

#### 3.2 Les couplages thermo-mécaniques

Autour de L. Stainier, on développe une approche énergétique variationnelle des problèmes couplés, qui est notamment appliquée à la modélisation du comportement thermo-visco élastique non-linéaire en grandes transformations. Cette approche permet d'unifier dans un cadre mathématique et thermodynamique rigoureux les nombreuses sources de couplage thermo-mécanique, d'intégrer des éléments de plasticité dans le modèle visco-élastique, et finalement de dériver des algorithmes d'intégration numérique efficaces et robustes. Ces modèles présentent par exemple un intérêt évident pour la simulation de procédés de mise en oeuvre et/ou de mise en forme de composites comportant des matériaux thermoplastiques, ou encore pour la simulation de phénomènes d'impact. L'approche variationnelle apporte également un plus en présence de phénomènes de couplage fort, comme par exemple la localisation des déformations liée à l'adoucissement thermique ou au changement de phase au voisinage de la température de transition vitreuse. Finalement, un objectif à moyen terme est également de travailler sur l'exploitation de la signature thermique due à la dissipation liée aux micro-mécanismes de dégradation (au niveau des interfaces ou des composants).

Contact :  
Pr. Arnaud POITOU  
Directeur du GeM  
[Arnaud.Poitou@ec-nantes.fr](mailto:Arnaud.Poitou@ec-nantes.fr)

## Conférences organisées ou parrainées par l'AMAC

**JNC17**

**Poitiers, Futuroscope, 15-17 juin 2011**

**17° Journées Nationales sur les Composites**

[www.jnc17.ensma.fr](http://www.jnc17.ensma.fr)

Contact :

Secrétariat JNC17 : Eliane Bonneau ; Tél : 05-49-49-82-39 – Fax : 05-49-49-82-38 ;

e-mail : [jnc17@ensma.fr](mailto:jnc17@ensma.fr)

---

**19th DYMAT**

**Strasbourg, 1-3 décembre 2010**

**19th DYMAT Technical Meeting**

Dynamic mechanical behaviour of polymers and composites

Contact :

<http://www.dymat.org/dymat%2019%20tm.html>

Dr. Nadia BAHLOULI, IMFS, 2 rue Boussingault, 67000 Strasbourg

Fax : 00 33 3 68 85 29 36 ; e-mail : [19dymat@unistra.fr](mailto:19dymat@unistra.fr)

---

## Autres conférences

**IIMM**

**Sheffield, 1-3 Septembre 2010**

**International Conference on Interfaces & Interphases in Multicomponent Materials**

Contact :

<http://www.polymercentre.org.uk/iimm/> ; Shelagh Cowley ; [s.h.cowley@sheffield.ac.uk](mailto:s.h.cowley@sheffield.ac.uk)

---

**ASC-25th Tech. Meet.**

**Dayton, 20-23 Septembre 2010**

**American Society for Composites - 25th Annual Technical Conference**

Contact :

<http://asc2010.udayton.edu/default.html>

---

**AMPT 2010**

**Paris, 24-27 Octobre 2010**

**Advances in Materials and Processing Technologies**

Contact :

[www.ampt2010.org](http://www.ampt2010.org)

---

**SEICO11 - SAMPE Europe**

**Paris, 28-30 Mars 2011**

**SEICO 11 – SAMPE Europe International Conference & Forum**

Contact :

<http://www.sampe-europe.org> – e-mail : [sebo@sampe-europe.org](mailto:sebo@sampe-europe.org)

---

**Hybrid Materials 2011**

**Strasbourg, 6-10 Mars 2011**

**Second International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials**

Contact :

<http://www.hybridmaterialsconference.com/index.asp>

Charlotte Alman ; Tel : +44 (0) 1865 843089 ; Fax : +44 (0) 1865 843958 ; e-mail : [c.alman@elsevier.com](mailto:c.alman@elsevier.com)

---

**ICMAC 2011**

**Belfast, 22-24 Mars 2011**

**International Conference on Manufacturing of Advanced Composite**

Contact :

<https://www.eventsforce.net/iom/frontend/reg/tOtherPage.csp?pageID=60014&eventID=153>

Melanie Boyce ; e-mail : [melanie.boyce@iom3.org](mailto:melanie.boyce@iom3.org)

**Deformation and Fracture of Composites (DFC-11) and Structural Integrity & Multi-scale Modelling (SI-5)**

Contact : <http://shef.ac.uk/csic/aboutus.html> ; Dr. A. Hodzic ; e-mail : [csic@sheffield.ac.uk](mailto:csic@sheffield.ac.uk)

**EcoComp 2011**

Birmingham, 6-7 Juillet 2011

**4th International Conference on Sustainable Composites**

Contact : [claire.whysall@netcomposites.com](mailto:claire.whysall@netcomposites.com)

**ICCM 18**

Jeju (Corée du Sud), 21-26 Août 2011

**18th International Conference on Composite Materials**

Contact : <http://www.iccm18.org/>

**IIMM**

Sheffield, 1-3 Septembre 2010

**International Conference on Interfaces & Interphases in Multicomponent Materials**

Contact : <http://www.polymercentre.org.uk/iimm/> ; Shelagh Cowley ; [s.h.cowley@sheffield.ac.uk](mailto:s.h.cowley@sheffield.ac.uk)

**SETEC 10**

Brindisi, 16-17 Septembre 2010

**SAMPE Europe Technical Conference**

Contact [www.sampe-europe.org](http://www.sampe-europe.org) ; e-mail : [sebo@sampe-europe.org](mailto:sebo@sampe-europe.org)

**ASC-25th Tech. Meet.**

Dayton, 20-23 Septembre 2010

**American Society for Composites - 25th Annual Technical Conference**

Contact : <http://asc2010.udayton.edu/default.html>

**CONTACTS****Adhésions :**

Formulaire téléchargeable sur le site de l'AMAC : [www.amac-composites.org](http://www.amac-composites.org)

VEUILLEZ NOTER LA NOUVELLE ADRESSE DU SITE WEB DE L'AMAC

[www.amac-composites.org](http://www.amac-composites.org) remplace ~~[www.amac-composites.asso.fr](http://www.amac-composites.asso.fr)~~

Président de l'AMAC : Yves REMOND – [remond@imfs.u-strasbg.fr](mailto:remond@imfs.u-strasbg.fr)

Vice Présidents : Philippe BOISSE, Jacques CINQUIN et Jacques LAMON

Secrétaire de l'AMAC : Laurent GUILLAUMAT – [laurent.guillaumat\\_isat@u-bourgogne.fr](mailto:laurent.guillaumat_isat@u-bourgogne.fr)

Trésorier de l'AMAC : Christian HOCHARD – [hochard@lma.cnrs-mrs.fr](mailto:hochard@lma.cnrs-mrs.fr)

**Liste de diffusion aux adhérents de l'AMAC :**

Pour les annonces de soutenances de thèse, propositions de sujets, conférences...

Envoyez un courrier électronique (sans fichier attaché) à : [amac@enpc.fr](mailto:amac@enpc.fr)

**AMACINFORMS**  
Rédaction - Information

**(Envoyez vos annonces de conférence à publier dans AMAC INFOS)**

Philippe OLIVIER, groupe Matériaux & Structures Composites, Institut Clément Ader,  
IUT Paul Sabatier, 133 C avenue de Ranguel, B.P. 67701, 31077 Toulouse CEDEX 4

Tel : 05 62 25 88 36 ; fax : 05 62 25 87 47 ; [philippe.olivier@iut-tlse3.fr](mailto:philippe.olivier@iut-tlse3.fr)

