

## ÉDITORIAL



### Rapport Moral de l'exercice 2005 - 2007 par Jacques Lamon, Président de l'AMAC

Le Conseil d'Administration vient d'être renouvelé en 2008. Ce rapport rend compte des principales activités de notre association pendant le dernier exercice.

Le nombre des adhérents est stable par période de deux ans. Il atteint 300 environ. Il est plus faible les années intermédiaires où il n'y a pas les Journées Nationales sur les Composites. Ce phénomène est bien identifié. Il a fait l'objet de plusieurs débats au sein du Conseil d'Administration. Aucune solution n'est apparue satisfaisante pour éviter les années creuses.

Les Journées Nationales sur les Composites demeurent le Congrès majeur de la communauté des composites, en France. Les 15èmes de la série se sont déroulées à Marseille, du 6 au 8 juin 2007. Le congrès était remarquablement organisé par Christian Hochard et ses collègues. Il a rassemblé 218 participants. Il a été l'occasion de dresser un bilan des travaux de recherche dans le domaine des composites en France.

Les Journées Scientifiques et Technologiques (JST), atteignent à ce jour le nombre de 45. 6 ont été organisées durant la période 2005-2007, qui a été, de ce fait, une période féconde, le nombre ayant doublé par rapport à l'exercice précédent et par rapport à la moyenne depuis la fondation de

l'AMAC (en 1979). En voici la liste :

1- Matériaux composites renforcés par des fibres végétales – Lorient, 9-10/06/05,

2- Comportement de matériaux et structures composites au choc, impact ou crash, Bordeaux, 29/09/05.

3- Les contrôles non destructifs pour les matériaux composites. Avancées, technologies et applications, Toulouse, 27-28/06/06.

4- Mise en forme des matériaux composites (3), Châtillon, 12/10/06.

5- Vieillessement des matériaux composites, Paris, 8/03/07.

6- Renforcement des polymères par des fibres végétales, Caen, 11-12/10/07.

5 ont donné lieu à un numéro spécial de la revue des Composites et des Matériaux Avancés dont 3 ont été publiés à ce jour. Les JST connaissent généralement un vif succès. Plusieurs s'étendent sur deux jours, ce qui reflète un programme dense, mais aussi l'actualité et l'intérêt des sujets traités.

L'AMAC collabore avec plusieurs sociétés savantes en France et à l'étranger. En ce qui concerne la France, l'AMAC est membre sectoriel de l'AFM (Association Française de Mécanique). Elle

fait partie de la FFM (Fédération Française des Matériaux), dont elle a participé à la fondation avec 20 autres sociétés savantes, en novembre 2003. Cette Fédération a pour objet de favoriser la coopération entre les sociétés savantes concernées par les matériaux. L'AMAC a participé à l'organisation de la Conférence « Matériaux 2006 », et en particulier de 6 colloques, dans lesquels des membres du Conseil d'Administration étaient directement engagés. L'AMAC a eu en charge le colloque intitulé « Comportement et modélisation des matériaux hétérogènes, aléatoires ou composites ». Ce thème avait déjà été traité dans la Conférence précédente « Matériaux 2002 ». Il est transversal, et il couvre des sujets transdisciplinaires qui intéressent les composites. Les Conférences « Matériaux 20XX » (avec XX = 02, 06, 10, etc. ...) de la FFM sont devenues un événement majeur pour la communauté des matériaux, puisque « Matériaux 2006 » a rassemblé 1200 communications et 1600 personnes, à Dijon du 13 au 17 novembre 2006.

La FFM constitue aujourd'hui une force dans le domaine des matériaux. L'AMAC doit s'en sentir proche.

Des liens étroits 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 Materials), dont elle est un membre fondateur. J. Lamon assure la présidence. L'AMAC a été impliquée dans l'organisation d'ECCM 12 (12th European Conference on Composite Materials) qui a eu lieu à Biarritz, du 29 août au 1er septembre 2006. L'organisation d'ECCM 12 était européenne, puisqu'elle était conjointe entre la France et le Portugal (Université de Porto). La participation française à ECCM 12 était largement majoritaire (40% des 350 participants), ce qui a confirmé la place prépondérante de la France dans le domaine des composites.

Parmi les activités internationales de l'AMAC, on doit citer l'édition dans un numéro spécial de Composites Part A, d'une sélection d'articles présentés lors de JNC 15.

On doit y ajouter une mission exploratoire sur les matériaux composites en Inde, du 5 au 11 novembre 2005, à la demande du Ministère des Affaires Etrangères et de l'Ambassade de France à New Delhi. Elle a permis de visiter des Centres de Recherches et des Universités. Elle a donné lieu à plusieurs collaborations entre des Laboratoires français et indiens. Un rapport a été publié.

L'AMAC a accordé son label à des congrès nationaux (2) ou internationaux (6). Ce nombre

reste stable par rapport à la période précédente :

- Composites Testing and Model Identification (CompTest 2006), Porto, Portugal, 10-12/04/2006
- 12th European Conference on Composite Materials (ECCM 12), Biarritz, France, 28/08-1/09/06
- Colloque "Sécurité dans le transport", Talence, France, 11-13/10/06
- Matériaux 2006, Dijon, France, 13-17/11/06
- 1er Congrès Méditerranéen sur les Matériaux Composites (C2MC), Béchar, Algérie, 9-11/12/2006 (ADEMCO/AMAC)
- 8ème Congrès de Mécanique, El Jadida, Maroc, 17-20/04/07
- 6th International Conference on High Temperature Ceramic Matrix Composites (HT-CMC-6), New Delhi, Inde, 4-7/09/07
- Composites 2007 ECCOMAS

Thematic Conference, Mechanical Response of Composites, Porto, Portugal, 12-14/09/07.

Le site Web s'est enrichi d'une nouvelle page présentant les activités des laboratoires dans les composites. Ces fiches sont destinées à favoriser les échanges entre laboratoires, notamment en vue de constituer un réseau composite qui faciliterait la construction de projets en réponse aux appels à programmes de recherche nationaux ou européens. Cette page se remplit lentement. Le site contient la trace des différentes activités de l'AMAC, qui viennent d'être évoquées. L'alimentation en informations variées est plus difficile parce qu'elle nécessiterait le concours spontané d'un plus grand nombre.

3 numéros d'AMAC Infos ont été publiés, suivant le rythme de 2 numéros par an. AMAC Infos traite de sujets divers intéressant les composites, la vie des laboratoires, les conférences, la vie

de l'association. A cet égard, les contributions sont sollicitées.

L'édition 2005 de l'annuaire a été envoyée aux adhérents, en 2006. L'édition 2007 sera bientôt distribuée. L'annuaire est publié par les Editions de l'Île de France (EDIF).

Deux jeunes chercheurs ont été récompensés par le Prix Daniel Valentin pour leurs travaux dans le domaine du comportement mécanique ou des composites à matrice céramique. Ce nombre peut paraître en recul, mais le Prix n'a pas été attribué en 2005 pour le cru 2004.

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 communication, 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.

## Bilan Financier

### Par Yves REMOND, Trésorier de l'AMAC

### Bilan Financier au 01/01/2008

Les comptes de l'AMAC sont actuellement largement positifs et permettront à la future équipe du bureau, issue du conseil d'administration récemment élu, d'engager des activités variées et de promouvoir les matériaux composites. Le trésorier laissera donc son poste après plus de onze années au service de l'association, il tient ici à remercier vivement Jean-Marie Krempff pour son aide très importante et très efficace.

#### Récapitulatif du solde du compte courant depuis 2003 :

01/01/2003 :	32108,26 €
01/01/2004 :	20306,19 €
01/01/2005 :	28958,13 €
01/01/2006 :	21934,08 €
01/01/2007 :	22870,31 €
01/01/2008 :	58412,16 €*

Ne nous emballons pas, les résultats très positifs des JNC15, dont il faut féliciter son président et le comité d'organisation, ont été versés entièrement en 2007, alors qu'ils étaient souvent répartis sur deux exercices auparavant. La marge existe mais il faut relativiser !

#### Récapitulatif des exercices depuis 2003 :

2003 (64 cotisants)	Recettes : 42924,01 €	Dépenses : 53347,08 €
2004 (101 cotisants)	Recettes : 19627,87 €	Dépenses : 10915,88 €
2005 (75 cotisants)	Recettes : 8885,74 €	Dépenses : 15735,04 €
2006 (106 cotisants)	Recettes : 25439,91 €	Dépenses : 24563,68 €
2007 (108 cotisants)	Recettes : 62689,75 €	Dépenses : 27147,90 €

Remarque : de nombreuses dépenses, comme celles des JNC, sont souvent externalisées, et donc non visibles dans les comptes d'exercice, c'est pourquoi seule la différence recettes – dépenses est significative ici.

**Le détail 2007 est présenté ci-dessous :**

<b>Recettes :</b>		<b>Dépenses :</b>	
Colloque Matériaux 2006	4995,00 €	Bulletin AMAC n°23	2569,35 €
Colloque JNC 15	46863,98 €	Bulletin AMAC n°24	2451,80 €
Cotisations	9175,00 €	Actes JNC 15	13623,22 €
Divers recettes	1655,77 €	Divers JNC 15	1671,23 €
<b>Total</b>	<b>62689,75 €</b>	AFM Cotisation + Pub	1470,92 €
		Repas CA	260,80 €
		Prix Poster JNC 15	500,00 €
		Prix Daniel Valentin	1500,00 €
		MAIF	174,27 €
		Secrétariat	2926,31 €
		<b>Total</b>	<b>27147,90 €</b>

## VIE DE L'ASSOCIATION



### Bilan de la JST AMAC

#### « Renforcement des polymères par des fibres végétales / Ecomatériaux - 2007 » Caen, les 11 et 12 octobre 2007

Ces journées scientifiques et techniques soutenues par l'AMAC ont été organisées par MM. M. GOMINA, J.-P. JERNOT du Laboratoire de Cristallographie et Sciences des Matériaux (CRISMAT - Caen), L. BIZET, J. BREARD du Laboratoire de Mécanique, Physique et Géosciences (LMPG - Le Havre) et C. BALEY du Laboratoire Polymères Propriétés aux Interfaces et Composites (L2PIC - Lorient). Une première JST sur le thème du renforcement des polymères par des fibres végétales avait eu lieu en juin 2005 à l'Université Bretagne Sud / Lorient (organisée par C. BALEY), ce qui explique en partie le succès de celle organisée à Caen. Cette JST a reçu le soutien de la région Basse Normandie, du Réseau Normand Matériaux Polymère Plasturgie (RMPP) et du GdR Chimie pour le développement durable, RdR1 : les matières premières renouvelables comme matières premières et sources de nouveaux produits et matériaux.

Aujourd'hui nous constatons que, pour son développement ou tout simplement sa survie, la société du XXIème siècle devra augmenter significativement son utilisation des ressources renouvelables. Par ailleurs, suite aux demandes des consommateurs, la réglementation impose de plus en plus une innocuité sanitaire et environnementale des produits et procédés. C'est dans ce contexte que de nombreux travaux de recherche s'intéressent à la valorisation des agro-ressources pour des marchés autres qu'alimentaire. L'utilisation de fibres végétales (fibres naturelles les plus disponibles) comme renfort de matériaux composites à matrice organique s'inscrit dans cette logique.

Le développement de matériaux composites renforcés par des fibres végétales impose une approche pluridisciplinaire. L'objet de cette JST a donc été de réunir sur ce thème des personnes provenant de différents domaines : biologie, chimie, mécanique, physique, technologie...

Ces journées ont réuni une centaine de personnes : chercheurs (Universités, CNRS, INRA, Ifremer...), industriels (grands groupes, PME ...), spécialistes du monde agricole et de la valorisation des agro-ressources (chambre d'agriculture, responsables des filières lin et chanvre, agriculteurs...).

Au cours de ces journées, les participants ont pu discuter sur différents aspects du renforcement des polymères par des fibres végétales et confronter leurs points de vue sur le développement des écomatériaux. Les principales thématiques abordées furent :

- les éco-composites : utopie ou matériaux d'avenir ;
- les fibres végétales et les parois cellulaires du bois (bio-nano-composite naturel) ;
- les nanocomposites à renfort polysaccharide ;
- les biopolymères ;
- les interfaces fibre/matrice ;
- les composites renforcés par des fibres végétales : mise en œuvre et comportement mécanique ;
- la gestion de fin de vie : biodégradation, recyclabilité des écomatériaux ;

- les analyses du cycle de vie, les écobilans ;
- l'optimisation de la conception de structures en composite à fibres naturelles.

Les filières industrielles représentées étaient principalement celles de l'automobile, de l'aéronautique, du nautisme, de la médecine et de la construction qui sont fortement impliquées dans le développement de nouvelles applications techniques. Des perspectives ont été précisées sur le développement de matériaux issus d'agro-ressources, ainsi que sur les enjeux économiques et agricoles au niveau de l'aménagement du territoire.

Une prochaine JST est en cours d'élaboration ; elle devra permettre de consolider un groupe de recherche sur le thème « Renforcement des polymères par des fibres végétales / Ecomatériaux ». L'appel à communication sera probablement fait au niveau européen.

Un compte rendu de ces journées sera publié sous forme d'articles, au cours de l'année 2008, dans la Revue des Composites et Matériaux Avancés.

**J. BREARD, M. GOMINA, J.-P. JERNOT**  
co-organisateurs de la JST

---

## **Bilan d'ICCM 16**

### **Sixteenth International Conference on Composite Materials**

### **July 8-13, 2007, Kyoto, Japan**

**Par Jacques LAMON, Président de l'AMAC**  
**et Jacques CINQUIN, EADS I.W., membre du C.A. de l'AMAC**

ICCM 16 était organisée pour ICCM, par le Dr. Takashi Ishikawa (Advanced Composite Center, JAXA). ICCM n'est pas une société savante, mais plutôt un groupe d'une vingtaine de personnes qui veille à l'attribution de l'organisation d'un congrès ICCM tous les deux ans, sur un continent différent. Ce groupe est bien organisé, hiérarchisé. ICCM n'a pas de liens avec les Sociétés Savantes.

ICCM 16 a rassemblé 702 participants (pour 711 communications) de 50 pays, et notamment 33 français, 66 anglais, 247 japonais, 93 américains.

On peut noter que la participation industrielle ne représentait que 9%, ce qui est relativement peu :

Environ 1% d'industriels Français, 2% d'industriels Européens (hors Français), 2% d'industriels Américains, 4% d'industriels Japonais. Parmi les secteurs industriels représentés une très grande majorité provenait de l'industrie Aéronautique. Dans les présentations plénières on a pu ressentir la compétition que se livrent Airbus et Boeing sur l'utilisation des composites pour les structures d'avions civils. Les industriels présents étaient issus essentiellement de grands groupes. Pratiquement pas de présence de PME/MPI. Bien que la participation soit essentiellement universitaire, les thèmes présentés comportaient un nombre significatif de résultats assez appliqués provenant de coopérations Université/Industrie. Les grands groupes industriels avec des centres de recherche ont tout intérêt à participer à ce congrès qui représente un lieu d'échange privilégié universités/industries sur le plan mondial.

La France n'était pas représentée, en rapport à son activité dans le domaine des composites. Il est vrai que la communauté française fréquente généralement peu les conférences ICCM. Parmi les reproches entendus, il en est un qui revient souvent à savoir que la conférence est trop grosse. Il y a beaucoup de sessions : 65 différentes, mais les thèmes sont très voisins :

- 51 sessions sur la mécanique
- 9 sessions sur les matériaux
- 4 sessions sur la fabrication
- 1 session sur la microstructure (interfaces).

Le découpage en un trop grand nombre de sessions peut donner cette impression.

Il y avait donc seulement 14 sessions dont le titre ne faisait pas référence à la mécanique, et qui concernent la science des matériaux. Il n'y avait pas de session sur les fibres, ce qui est paradoxal puisque le Japon en est un producteur majeur. Les communications concernaient principalement les composites à matrice résine, et un peu les CMC, les C/C, les composites à matrice métallique et les écomposites. Il faut y voir l'effet de l'activité importante du Japon dans les composites à matrice résine (80% des travaux sur les composites de Boeing sont réalisés au Japon), et des références au protocole de Kyoto, pour ce qui est des écomposites. D'ailleurs, de nombreuses communications justifiaient le travail présenté par des considérations sur l'environnement.

Quelques communications choisies parce qu'elles illustrent des thèmes importants de la science des composites, et qu'elles permettent de situer certains travaux par rapport à notre activité nationale.

1- Enhancing the stab resistance of flexible body armor using functionalized SiO<sub>2</sub> nanoparticles:

**Floria Eve Clements**

**Florida Atlantic University, Boca Raton, USA**

Ce travail mérite quelque attention simplement parce qu'il porte sur l'amélioration des performances de composites à matrice résine par la modification de la matrice. A cette fin, les auteurs utilisent des nanoparticules de silice pour accroître la résistance à l'impact d'éléments pare-balle flexibles renforcés par des tissus de Kevlar.

Des particules de silice sont fonctionnalisées et dispersées par ultrasons dans un mélange de polyéthylène glycol et d'éthanol, qui est renforcé par un tissu de Kevlar. La résistance à la pénétration est mesurée par des tests d'impact. L'incorporation des particules de silice améliore les performances. Cet effet est attribué au film qui recouvre le tissu et à la formation de liaisons siloxane pendant la fonctionnalisation des particules.

2- Characterization of EPON 862 reinforced with functionalized MCNT's,

**Merlin Theodore, Tuskegee University, Alabama, USA**

Les auteurs ont étudié les effets de la fonctionnalisation de nanotubes de carbone multiparois, sur la morphologie, les propriétés thermiques et mécaniques d'un nanocomposite à matrice époxy.

Les auteurs annoncent que la fonctionnalisation de nanotubes conduit à une meilleure dispersion des nanotubes, et à une amélioration des propriétés mécaniques. On observe une augmentation de la résistance à la rupture en flexion par rapport à celle de la matrice d'environ 50%, mais les matériaux demeurent fragiles.

Ce papier est exemplaire d'un grand nombre de communications dans ce domaine.

D'une manière générale, les travaux sur les nanocomposites ou les nanotubes dans des matrices ne permettent pas de renforcer ces dernières, en dépit de l'enthousiasme affiché par les auteurs. Quelques propriétés peuvent augmenter, dans la mesure où elles accompagnent une rigidification. Mais la ténacité, elle, n'est pas améliorée. Le mécanisme qui conduit à l'augmentation de la contrainte de rupture n'est pas expliqué. Il y a peu d'approches nano/macro qui relient les propriétés mécaniques à la nanostructure, de manière quantitative et explicite.

Sur le plan mécanique, l'apport des nanotubes est jugé décevant. Les budgets accordés à cette thématique sont réduits drastiquement aux Etats-Unis, et progressivement au Japon (question de culture).

3- Dans la session « Green Composites », plusieurs communications s'intéressaient à l'emploi du bambou, ou de fibres à base de bambou pour le renforcement de plastique, de caoutchouc.

Le bambou est un matériau remarquable, dont l'emploi est largement répandu en Asie. On commence à s'y intéresser comme élément de renfort.

4- Damage theories for fiber-reinforced polymer composites: the third world-wide exercise (WWFE-III)

**A.S Kaddour and coworkers, Quinetiq, Farnborough, UK**

Cette communication concerne le lancement d'un nouveau programme international destiné à valider ou évaluer les différents modèles de rupture capables de décrire le développement de fissures et d'endommagement dans les composites stratifiés à matrice polymère. Plusieurs problèmes critiques pour cette famille de matériaux composites ont été identifiés, de même qu'un certain nombre de théories, qui ont été utilisées ou publiées et qui introduisent le développement de fissures ou de l'endommagement. Ces théories seront examinées dans le cadre de ce programme, dans la mesure où elles apportent les éléments qui permettent de considérer les questions soulevées par le traitement des problèmes critiques pour l'emploi des composites sus mentionnés. Les organisateurs invitent les auteurs de ces modèles ainsi que ceux d'autres, et des représentants de l'industrie et des développeurs de logiciel, à prendre part à ce projet. Celui-ci doit durer au moins deux ans.

Dans la même session intitulée « Benchmarking of failure criteria under 3D loading », il y avait plusieurs communications sur les essais biaxiaux. En voici un exemple :

- Biaxial testing of fiber reinforced composites

**D. Van Hemelrijck, Université de Bruxelles**

L'exercice WWFE-I précédent avait montré que les modèles ne permettaient pas de prévoir correctement la rupture des composites et qu'il n'y avait pas suffisamment de résultats expérimentaux disponibles.

Un dispositif de traction biaxiale a donc été développé pour étudier le comportement des composites stratifiés. L'éprouvette est cruciforme et le dispositif utilise 4 vérins indépendants pour solliciter l'éprouvette. Ceci est assez classique. Les déformations sont mesurées par corrélation d'image digitale. La géométrie de l'éprouvette a été définie par la combinaison de calculs par éléments finis et de résultats expérimentaux obtenus pour plusieurs éprouvettes. Deux types d'éprouvette ont été retenus : sans trou et avec un trou central.

Le prochain ICCM 17 aura lieu à Edimbourg, du 27 au 31 juillet 2009. Il est prévu d'accorder une place plus grande au matériau.

**Jacques Lamon, Jacques Cinquin**



## Activités composites au LMARC de Besançon par Frédéric Thiebaud Le LMARC de Besançon

Le Laboratoire de Mécanique Appliquée Raymond Chaleat (LMARC) est un des laboratoires de recherche les plus anciens de l'Université de Franche Comté. Très rapidement, il devient une Unité Mixte de Recherche CNRS et conserve ce label de sa création 1962 jusqu'à nos jours. En 1995, il déménage de ses locaux situés au cœur de l'UFR-ST pour venir s'installer sur la zone de TEMIS (Technopole Microtechnique & Scientifique/ LMARC 24 rue de l'Epitaphe 25000 Besançon) et dispose d'une surface utile d'environ 2500 m<sup>2</sup>. En janvier 2004, il devient l'un des cinq départements de l'Institut FEMTO-ST (Franche-Comté Electronique Mécanique Thermique et Optique - Sciences et Technologies), associée au CNRS (UMR 6174) et rattachée simultanément à l'Université de Franche-Comté (UFC), l'Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et de Microtechniques (ENSMM), et l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM).

Le LMARC rassemble actuellement près de 115 personnes dont 40 enseignants-chercheurs et chercheurs, 25 ingénieurs, techniciens et administratifs et environ 50 doctorants. Ses activités de recherche sont orientées vers plusieurs branches de la mécanique des solides et des matériaux. Les domaines d'expertise couvrent les thématiques allant de l'analyse du comportement des matériaux à l'élaboration de systèmes mécaniques complexes. Les activités sont réparties au sein de 4 équipes de recherche :

- Modélisation et mise en forme des matériaux,
- Biomécanique et mécanismes,
- Propriétés mécaniques des matériaux.

C'est dans cette dernière équipe (PMM) que l'on trouve les activités relatives à l'étude des composites. Plus largement, l'objectif de PMM est de contribuer à la compréhension des phénomènes physiques associés aux déformations des matériaux pour en tirer des modèles de comportement et fournir les méthodes et outils numériques d'aide au dimensionnement des structures. Ses thèmes de recherche et son savoir-faire concernent :

☞ L'étude du comportement des matériaux (métaux, composites, polymères, matériaux piézoélectriques, alliage à mémoire de forme...) :

- Développement de moyens expérimentaux,
- Fatigue, fluage, effet de l'environnement, durabilité...,
- Modélisation thermomécanique et par homogénéisation,
- Identification expérimentale

des comportements.

☞ L'analyse numérique :

- Développement d'outils de simulation,
- Méthode d'identification inverse,
- Méthodes fiabilistes d'aide au dimensionnement.

### Activités composites à Besançon

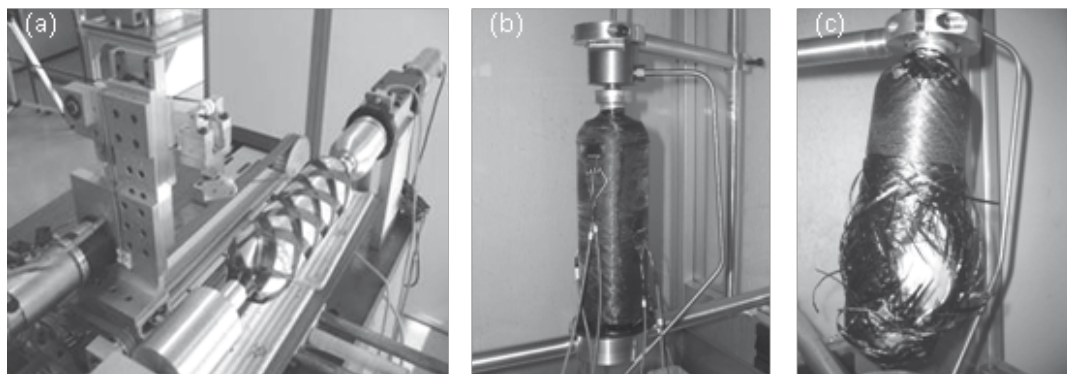
Les matériaux étudiés sont essentiellement des composites à matrice thermodurcissable ou thermoplastique renforcée par des fibres de verre ou de carbone. Le groupe de recherche impliqué dans l'étude de ces matériaux est constitué d'une douzaine de personnes couvrant ainsi une large gamme de compétences, liées au domaine expérimental ainsi que celui de la modélisation. En effet, nous élaborons nos matériaux d'études, nous procédons ensuite à leur caractérisation thermomécanique afin d'aboutir à l'établissement de lois de comportement qui seront ensuite implémentées dans des codes de calcul. Actuellement, deux axes forts sont développés au sein de

l'équipe et concernent la fatigue des matériaux composites et les composites appliqués au stockage d'hydrogène.

### Fatigue des composites :

La prédiction de la durée de vie en fatigue des pièces composites peut être décomposée en plusieurs objectifs ayant des degrés de sophistication divers. Compte tenu de la variabilité observée, il semble aujourd'hui illusoire de vouloir prédire finement de façon temporelle l'évolution individuelle de l'ensemble des marqueurs d'intégrités. Par contre, avoir une prédiction globale de la résistance à rupture après une certaine quantité de sollicitations (ce que l'on peut donc appeler le potentiel restant) constitue un objectif qui semble nécessaire dans une phase de dimensionnement.

Le potentiel restant d'une structure peut globalement être compris comme la résistance résiduelle statique d'un matériau ayant subi une sollicitation en fatigue. Dans le cas présent, nous avons donc déterminé expérimentalement l'évolution de ce potentiel sur des stratifiés  $[+\varphi, -\varphi]_n$ . Afin de réaliser



Procédé de fabrication et essai de rupture sur réservoir de type III  
(a) enroulement filaire, (b) prototype instrumenté, (c) prototype après destr

une analyse multiaxiale de type traction-pression interne, nous avons utilisé des éprouvettes tubulaires.

Les travaux effectués ont mis en évidence l'existence de deux phénomènes concurrents qui influencent la durée de vie :

- à basse fréquence, l'interaction fatigue - fluage qui augmente la durée de vie avec la fréquence,
- à des fréquences plus élevée, la dissipation thermique qui diminue la durée de vie avec la fréquence.

### Stockage d'hydrogène et composites :

Avec les difficultés présentes et futures liées aux approvisionnements et aux implications climatiques des énergies fossiles, il est certain que des moyens de substitution doivent être développés. L'hydrogène apparaît comme l'une des principales sources d'énergie de remplacement. Pour utiliser l'hydrogène comme vecteur d'énergie, il faut le produire, le transporter, le stocker et le convertir. Au laboratoire, on s'intéresse depuis une dizaine d'année au stockage et plus précisément à deux modes différents : le stockage solide par hydrure (modélisation thermomécanique) et le stockage gazeux sous haute pression (conception et optimisation de réservoirs). Dans ce dernier cas, les composites jouent un rôle prépondérant. En effet, le réservoir est constitué principalement d'un liner (métallique ou thermoplastique), dont le rôle est de garantir l'étanchéité au gaz, et d'un renfort mécanique (fibre de carbone + résine) assurant la tenue mécanique de la structure. La figure suivante montre l'élaboration et la caractérisation mécanique d'un réservoir de type III (liner métallique entièrement bobiné de carbone).

Plusieurs thèses sont engagées actuellement sur ce sujet. Le Laboratoire est également impliqué dans deux projets



*Machine d'enroulement filaire*

européens (Storhy, Hytrain).

### Les moyens d'élaboration :

De par leur nature, les composites présentent des dispersions aussi bien en terme de fabrication qu'en terme de caractérisation. Il apparaît donc clairement que la maîtrise du processus de fabrication, et donc des paramètres qui en découlent, devient incontournable si on veut aboutir à des modèles de prédiction fiable. Durant ces dernières années, l'équipe s'est donc dotée de diverses techni-

ques d'élaboration permettant ainsi la réalisation en interne de structures planes mais également de formes de révolution.

Nous disposons de techniques classiques d'élaboration telles le moulage sous pression et le sac à vide. Pour la fabrication de nos structures planes, les matériaux de base sont des préimprégnés unidirectionnels ou de type tissus. Outre la fabrication de structures minces à base de résine thermodurcissable, nous avons développé la

possibilité d'élaborer des structures épaisses (plusieurs centimètres) de type résine thermoplastique / renfort verre. Notons que l'emploi de matrice thermoplastique requiert des températures de polymérisation élevées (proche de 400°C) associé à l'application d'une pression. Le Laboratoire dispose également d'une machine d'enroulement filaire. La figure suivante présente une vue générale de la machine.

La machine possède quatre axes de déplacement pilotés dont:

- une rotation du mandrin,
- trois déplacements de l'œil de distribution.

L'œil de distribution possède également un degré de liberté supplémentaire mais non piloté (rotation autour de l'axe Z). La taille maximale des pièces réalisables peut être évaluée à environ 80 mm de diamètre pour une longueur de 1 m. Un logiciel de pilotage de la machine a été conçu. Un langage de programmation orienté objet



*Machine hydraulique biaxiale*

a été choisi et permet ainsi une utilisation aisée de la machine (interface utilisateur / machine simplifiée). Actuellement cette machine permet d'obtenir des tubes stratifiés, croisés de sections circulaires ou carrées mais également des tubes fermés (réservoirs). Pour des raisons de simplicité, la voie sèche (utilisation de préimprégnés) est le mode de fabrication privilégié. Notons que la voie humide a été également développée, laissant ainsi la possibilité de faire varier les constituants (matrice et renfort).

Une nouvelle machine d'enroulement filaire avec des possibilités dimensionnelles accrues ainsi qu'un four de polymérisation de grande dimension viendront renforcer les moyens d'élaboration du Laboratoire

Les moyens de caractérisation: Depuis de nombreuses années, le LMARC de Besançon a su développer une véritable compétence autour des études multiaxiales du comportement mécanique des matériaux (métaux, composites...). Le laboratoire dispose d'un parc machines important. Outre la présence de machines classiques de traction / compression (asservissements électrique et hydraulique), nous disposons d'équipements multiaxiaux (machines biaxiales et triaxiales). La géométrie tubulaire obtenue par enroulement filaire induit fortement le type de sollicitation à appliquer. Les essais de caractérisation développés sont de type traction/compression, torsion, pression interne/externe et toutes combinaisons de ces dernières (essais en contraintes complexes). La figure suivante présente la réalisation d'un essai de traction-pression interne sur une structure composite de type verre R / époxy.

Ce type d'essai a nécessité le développement de montages mécaniques spécifiques, soit de type universel ou dédié et également la mise en place

de protocoles expérimentaux rigoureux. Outre le fait d'assurer le maintien des éprouvettes, il faut également garantir les étanchéités pour les essais de pression à l'huile. Chaque type de sollicitation requiert donc des spécificités mécaniques particulières.

Pour l'étude des réservoirs d'hydrogène, notons également la présence d'un banc hydraulique d'éclatement 3000 bars et d'une machine de cyclage sous gaz H<sub>2</sub> jusqu'à 700 bars. Un système articulé adaptable sur une machine traction a été développé permettant ainsi la réalisation d'essais de flexion-torsion 4 points (état de contrainte non homogène) sur des éprouvettes parallélépipédiques composites. Des bancs de fluage sont également disponibles au sein du laboratoire. Pour compléter ces équipements de caractérisation mécaniques, nous disposons d'une caméra thermique (fort utile pour l'étude en fatigue des composites) ainsi que de moyens d'observations de la microstructure (microscopie optique, MEB à vide partiel).

Modèle de comportement mécanique LMARC de structures composites: Le LMARC a développé depuis une vingtaine d'années un modèle de comportement multiéchelle qui s'est progressivement enrichi. Ce modèle est particulièrement adapté pour la simulation du comportement dépendant du temps. Il est également apte à prendre en compte les effets de l'environnement comme par exemple celui de l'humidité sur le comportement mécanique et réciproquement l'effet de l'endommagement sur les cinétiques d'absorption.

A la base le modèle traduit des comportements élastoviscoélastique et viscoplastique endommagé. Dans un premier temps, le modèle cherche à décrire les effets des phénomènes par des considérations sur leur physique. Par exemple, l'effet de l'endommagement est

introduit via un modèle auto-cohérent prenant en compte la densité de défaut. Cette première phase permet d'introduire des variables physiques traduisant les phénomènes comportementaux. Une fois reconnues ces variables internes, leur cinétique est obtenue via une analyse thermomécanique de processus dissipatifs.

Ce modèle de comportement est en général identifié sur des essais uniaxiaux et multiaxiaux incluant des phases de fluage et des chargements répétés progressifs. Suivant ce que l'on souhaite simuler comme phénomène, le modèle peut être tronqué de façon logique. Il a été également amélioré pour décrire l'endommagement de fatigue de certains composites.

Modélisation probabiliste et mécano-fiabiliste des structures: Ces travaux ont pour objectif la construction d'un outil d'aide à la conception optimale et à l'évaluation de la fiabilité de structures composites. L'évaluation de la fiabilité de ce type de structures doit permettre, par un meilleur calibrage des coefficients de sécurité à adopter, d'éviter les surdimensionnements qui sont actuellement un frein important à certains développements industriels.

La construction d'une plateforme logiciel pour le dimensionnement mécano-fiabiliste de structures composites stratifiées nécessite de disposer préalablement d'un modèle mécanique le plus performant possible et d'un modèle numérique parfaitement maîtrisé. Pour cela, il a été développé un élément fini spécifique de coque multi-couche à faible coût numérique. Cet élément permet la prise en compte de grandes transformations dans le cadre d'une formulation en référentiel tournant matériel (rotation des fibres de renfort). Il intègre un comportement (décrit précédemment) pour une modélisation multi-échelle du comportement du stratifié. La modélisation numérique du

comportement de couche repose sur une famille d'algorithmes de type prédicteurs-correcteurs à chronologie inversée, A-B stables et précis à l'ordre 2. L'identification du modèle de comportement a nécessité, compte tenu de sa complexité, le développement d'une méthodologie d'identification en données restreintes, basée des méthodes de recherche heuristique. Un outil d'analyse fiabiliste utilisant le calcul de la probabilité de défaillance a alors été construit pour un calcul mécano-fiabiliste de structures fortement non-linéaires avec combinaison de scénarios de défaillance potentiels.

***Avec plus de 20 ans d'expériences dans le domaine des composites à matrice polymère, le laboratoire LMARC de Besançon a su développer une expertise dans l'analyse expérimentale multiaxiale, la modélisation du comportement en statique et en fatigue, et s'ouvre depuis plusieurs années à l'analyse du dimensionnement par des méthodes basées sur les EF et l'analyse probabiliste. On notera que bénéficiant de la loi sur l'innovation, une start-up issue du laboratoire et valorisant ce savoir faire, vient d'être créée (décembre 2007) : MaHyTec (Matériaux Hydrogène Technologie - <http://www.mahytec.com> contact : Pr Dominique Perreux, [dominique.perreux@mahytec.com](mailto:dominique.perreux@mahytec.com)).***

***Cette société s'appuyant sur les activités de recherche précitées proposera son expertise en matériaux et développera des solutions pour le stockage d'hydrogène.***

Contact:

Pr Frédéric Thiebaud, Laboratoire de Mécanique Appliquée R. Chaléat, 24 rue de l'Épitaphe 25000 Besançon ((+33 (0)3 81 66 60 09 / - [frederic.thiebaud@univ-fcomte.fr](mailto:frederic.thiebaud@univ-fcomte.fr))



## Conférences organisées ou parrainées par l'AMAC

**JNC16**

**Toulouse, 2-4 novembre 2009**

**16° Journées Nationales sur les Composites**  
[www.jnc16.iut-tlse3.fr](http://www.jnc16.iut-tlse3.fr)

Contact : Philippe OLIVIER, Tel : 05 62 25 88 36 ; Fax : 05 62 25 87 47 ; e-mail : [jnc16@iut-tlse3.fr](mailto:jnc16@iut-tlse3.fr)

---

### Autres conférences

**ECCM 13**

**Stockholm, 2-5 Juin 2008**

**13° Conférence Européenne sur les Composites**

Contact : <http://eccm13.sicomp.se> ; e-mail : [eccm13@sicomp.se](mailto:eccm13@sicomp.se)

---

**7th Global WPC**

**Kassel, 18-19 Juin 2008**

**7th Global Wood Plastic Composites and natural fibers composites congress and exposition**

Contact : <http://www.wpc-nfk.de>

---

**4th ICAEWHC**

**Bar Harbor, 6-10 Juillet 2008**

**4th International Conference on Advanced Engineered Wood & Hybrid Composites**

Contact : [doreen.boutin@umit.maine.edu](mailto:doreen.boutin@umit.maine.edu) ; [www.aewc.umaine.edu](http://www.aewc.umaine.edu)

---

**9th Int. Conf. Flow Proc Comp.**

**Montréal, 8-10 Juillet 2008**

**Ninth International Conference on Flow Processes in Composite Materials**

Contact : [trochu@polymtl.ca](mailto:trochu@polymtl.ca) ; <http://cchp.meca.polymtl.ca/fpcm9>

---

**MFMs**

**Hong Kong, 28-31 Juillet 2008**

**International Conference on Multifonctional Materials & Structures**

Contact : [mfms2008@a-tech.hk](mailto:mfms2008@a-tech.hk) ; [www.a-tech.hk/MFMS2008/Index.htm](http://www.a-tech.hk/MFMS2008/Index.htm)

---

**DURACOSY'S O8**

**Porto, 16-18 Juillet 2008**

**8th International Conference on Durability of Composite Systems**

Contact : <http://paginas.fe.up.pt/~cosys/>

---

**TexComp9**

**Newark, 13-15 Octobre 2008**

**9th International Conference on Textile Composites**

Contact : [www.ccm.udel.edu/texcomp9/paper.html](http://www.ccm.udel.edu/texcomp9/paper.html)

---

**CompTest 2008**

**Dayton, 20-22 Octobre 2008**

**Composites Testing and Model Identification**

Contact : [http://academic.udayton.edu/stevendonaldson/conf\\_overview.html](http://academic.udayton.edu/stevendonaldson/conf_overview.html)

---

**6th WPC**

**Vienna, 14-16 Octobre 2008**

**6th Wood Plastic Composites 2008 Conference**

Contact : [www.amiplastics.com](http://www.amiplastics.com)

---

**ICCM17**

**Edinburgh, 27-31 Juillet 2009**

**17th International Conference on Composite Materials**

Contact : [ICCM17@iom3.org](mailto:ICCM17@iom3.org) ; [www.iom3.org/EVENTS/iccm17.htm](http://www.iom3.org/EVENTS/iccm17.htm)

---

## CONTACTS



### Adhésions :

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

- Président de l'AMAC : Jacques LAMON – [lamon@lcts.u-bordeaux1.fr](mailto:lamon@lcts.u-bordeaux1.fr)
  - Secrétaire de l'AMAC : Philippe BOISSE – [Philippe.Boisse@insa-lyon.fr](mailto:Philippe.Boisse@insa-lyon.fr)
  - Trésorier : Yves REMOND - [remond@imfs.u-strasbg.fr](mailto:remond@imfs.u-strasbg.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)

---

**AMACINFOS**  
Rédaction - Information

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

Philippe OLIVIER, Equipe PRO<sup>2</sup>COM  
Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse, Dépt. GMP,  
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)

