



ÉDITORIAL

Elections, constitution et distribution des tâches du Nouveau Conseil d'Administration de l'AMAC 7 Juillet 2005

Par : Philippe OLIVIER (LGMT PRO²COM)



1. Résultats des élections

Les élections du nouveau Conseil d'Administration de l'AMAC ont eu lieu le 7 juillet à l'Ecole des Mines de Paris. Les résultats du dépouillement des 120 bulletins de vote reçus par Marie-Christine Lafarie-Frenot (secrétaire du C.A. sortant) sont donnés dans le tableau 1 avec pour 120 votants, 118 votes exprimés et deux votes nuls.

Nom	Prénom	Laboratoire ou Entreprise	Nombre de voix
BAHLOULI	Nadia	IMFS – ULP Strasbourg	73
BENZEGGAGH	Malk	Laboratoire Roberval – UTC Compiègne	110
BOISSE	Philippe	LAMCOS – INSA de Lyon	110
BREARD	Joël	LMPG – Université du Havre	102
CARON	Jean François	LAMI – ENPC Paris	110
CINQUIN	Jacques	EADS CCR – Suresnes	118
COLIN	Xavier	LIM – ENSAM Paris	87
GUILLAUMAT	Laurent	LAMEFIP – ENSAM Bordeaux	101
HOCHARD	Christian	LMA – UNIMECA Marseille	107
LAFARIE-FRENOT	Marie-Christine	LMPM – ENSMA Poitiers	117
LAMON	Jacques	LCTS – Bordeaux	111
LORY	Pierre	Direction de l'Ingénierie des Matériaux	110
LUBINEAU	Gilles	LMT – ENS Cachan	92
MERAGHNI	Fodil	LPMM – ENSAM Metz	87
OLIVIER	Philippe	LGMT – UPS Toulouse	108
REMOND	Yves	IMFS – ULP Strasbourg	112
ROBIN-BROSSE	Christian	SNECMA Propulsion Solide – Bordeaux	108
THIEBAUD	Frédéric	LMARC – UFC Besançon	97

Tableau 1 : Résultats du dépouillement des votes pour élection du CA AMAC le 07/07/05

Le CA, au vu des résultats (16° et 17° candidats ex-aequo avec 87 voix), décide de porter le nombre des administrateurs de l'AMAC à 17, exceptionnellement pour le mandat 2005-2007. Ses membres en sont :

M. Benzeggagh, P. Boisse, J. Bréard, J. F. Caron, J. Cinquin, X. Colin, L. Guillaumat, C. Hochard, M.C. Lafarie, J. Lamon, P. Lory, G. Lubineau, F. Meraghni, P. Olivier, Y. Rémond, C. Robin-Brosse, P. Thiebaud.

2. Constitution du bureau et répartition des tâches du CA

La répartition des fonctions et des tâches au sein du Conseil d'Administration de l'AMAC est donnée dans le Tableau 2 avec l'adresse électronique de chaque membre.

Bureau du CA	Prénom Nom	e-mail
Président	• Jacques LAMON	lamon@lcts.u-bordeaux1.fr
Vice-présidents	• Marie-Christine LAFARIE-FRENOT • Malk BENZEGGAGH • Jacques CINQUIN	lafarie@lmpm.ensma.fr malk.benzeggagh@utc.fr jacques.cinquin@eads.net
Trésorier	• Yves REMOND	remond@imfs.u-strasbg.fr
Trésorier adjoint	• Gilles LUBINEAU	gilles.lubineau@lmt.ens-cachan.fr
Secrétaire	• Philippe BOISSE	Philippe.Boisse@insa-lyon.fr
Secrétaire adjoint	• Jean-François CARON	caron@lami.enpc.fr
Attribution des tâches		
Liste de diffusion AMAC	• Jean-François CARON	caron@lami.enpc.fr
Site Web AMAC : – Pilotage – Vie du site (www.amac-composites.asso.fr)	• Laurent GUILLAUMAT • Joël BREARD • Gilles LUBINEAU	l-guillaumat@bordeaux.ensam.fr joel.breard@univ-lehavre.fr gilles.lubineau@lmt.ens-cachan.fr
Edition d'AMAC INFOS	• Philippe OLIVIER	philippe.olivier@iut-tlse3.fr
Organisation du Prix Daniel Valentin	• Frédéric THIEBAUD	fthiebaud@univ-fcomte.fr
Annuaire de l'AMAC	• Xavier COLIN	xavier.colin@paris.ensam.fr
Organisation JNC 15	• Christian HOCHARD	hochard@unimeca.univ-mrs.fr
Relations avec industrie	• Fodil MERAGHNI • Christian ROBIN-BROSSE • Pierre LORY	fodil.meraghni@metz.ensam.fr christian.robinbrosse@snecma.fr pierre.lory@renault.com
Relations avec autres sociétés savantes : - SFP - AFM - ESCM }	• Xavier COLIN • Jacques LAMON	xavier.colin@paris.ensam.fr lamon@lcts.u-bordeaux1.fr
Relations avec pays francophones	• Malk BENZEGGAGH	malk.benzeggagh@utc.fr

Tableau 2 : Conseil d'Administration 2005-2007 – Constitution du Bureau et attribution des tâches

VIE DES LABORATOIRES



Le Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux (UMR CNRS 8006) de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers (ENSAM-CER de Paris)

Par X. COLIN et T. BRETHEAU - LIM

Le Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux (LIM) est le résultat de la volonté de l'ENSAM et du CNRS de rassembler, au sein d'une même unité des acteurs complémentaires de la recherche sur les matériaux de structure (polymères, composites et métaux) : mécaniciens, spécialistes de la caractérisation, métallurgistes, polyméristes et spécialistes des procédés de transformation. Il est issu de la fusion de deux laboratoires de l'ENSAM de Paris : le Laboratoire de Microstructure et Mécanique des Matériaux (LM3-UMR8006) et le Laboratoire de Transformation et Vieillessement des Polymères (LTVP-EA 98). Le LIM est reconnu comme UMR8006 depuis le 1er janvier 2006.

Le LIM est structuré en quatre équipes :

- Procédés et performances des matériaux (Abbas Tcharkhtchi)
 - Microstructures et propriétés (Pierre Gilormini)
 - Mécanique des matériaux composites (Didier Baptiste)
 - Durabilité (Jacques Verdu)
- Il fait principalement partie de deux réseaux :
- le réseau national que constitue l'ENSAM, avec ses 8 Centres, ses 3 Instituts post-diplôme et ses 22 laboratoires ou équipes de recherche.
 - la Fédération Francilienne en Mécanique des Matériaux, Structures et Procédés (F2M-msp-FR2609) dirigée par André Zaoui.

L'activité du LIM parcourt le cycle de vie des matériaux : la

mise en œuvre, les propriétés qui en résultent, le vieillissement en service, et un peu le recyclage. La vie d'un matériau débute par une phase de transformation au cours de laquelle il passe du statut de « matière » au statut de « matériau » constitutif d'une pièce (ou d'une structure). Lors de cette transformation, de très nombreuses modifications microstructurales s'opèrent donnant ses propriétés au matériau : apparition d'anisotropies (texture cristallographique, orientation de renforts, allongement de grains ou de phases dans des directions particulières...), dimension des éléments constitutifs (taille de grains, de sphérolites, d'interphases, de lamelles...), composition en phases (chimiques ou cristallographiques),

contraintes internes (de tous ordres)... Toutes ces caractéristiques présentent d'ailleurs le plus souvent des gradients au sein de la pièce. Elles résultent de l'ensemble des sollicitations thermomécaniques subies par le matériau lors de ces transformations et généralement regroupées sous le terme de « procédés ».

La mise en relation des microstructures issues des procédés et des propriétés d'emploi passe nécessairement une modélisation à fort contenu physique, pouvant servir de base à la réalisation de simulations permettant d'explorer à moindre coût et à moindre temps de vastes domaines de valeurs. De tels modèles reposent sur une formulation mathématique rigoureuse, per-

mettant d'en définir clairement le sens (statistique) et les limites d'application, et sur un dialogue avec l'expérience à toutes les échelles du problème, fournissant les paramètres d'entrée et permettant d'en valider les prévisions. L'ensemble de cette approche peut permettre, à terme, d'obtenir des propriétés initiales maîtrisées.

Le problème reste cependant entier concernant l'évolution des propriétés initiales en conditions de service. Les phénomènes mis en jeu à ce stade sont le plus souvent le produit de l'interaction forte entre les sollicitations mécaniques et l'environnement dans lequel fonctionne la pièce. Il est indispensable de prendre en compte la température, l'atmosphère humide ou corrosive, les rayonnements ambiants... Essentiellement mise en œuvre dans le cas du vieillissement des polymères, cette activité s'appuie sur une connaissance détaillée des schémas mécanistiques et cinétiques responsables de leur évolution en ambiance oxydante ou ionisante. Les lois de comportement qui en résultent ont vocation à être introduites dans des logiciels de calcul des structures permettant de prédire l'évolution structurale du matériau, la distribution des modifications structurales dans l'épaisseur (couplage diffusion-réaction) et de calculer la durée de vie dans des conditions d'exposition donnée (isothermes ou non), à condition de disposer d'un critère de fin de vie pertinent.

1. Procédés

Les procédés de mise en forme des matériaux polymères et composites à matrice organique ont des caractéristiques communes. Ce sont essentiellement :

- La complexité du comportement rhéologique des fluides en présence et la sensibilité forte de ce comportement aux paramètres thermodynamiques : température, pression, cisaillement...

- Le caractère non-uniforme des champs de température et de contrainte,

- La brièveté de l'opération de mise en forme par rapport à la plupart des constantes de temps des processus à l'œuvre : relaxation, cristallisation, réactions chimiques...

L'objectif principal est ici de tenter d'établir la relation entre

les caractéristiques de l'objet fabriqué (dimensions, état de surface, propriétés d'emploi...) et les conditions de mise en œuvre. Il s'agit évidemment d'une recherche fortement interdisciplinaire à la convergence de la physique (thermique, physique des polymères...), de la chimie (réactions de polymérisation, greffage, dégradation...) et de la mécanique (rhéologie, contraintes résiduelles...).

Les procédés principalement abordés sont le rotomoulage, l'élaboration de composites à matrice thermodurcissable et le thermoformage de composites à matrice thermoplastique.

Rotomoulage

Le rotomoulage connaît actuellement un regain d'intérêt. Les principaux axes de recherche abordés sont :

a- L'étude du passage de l'écoulement d'un matériau pulvérulent à celui de l'écoulement d'un liquide : coalescence et densification de la poudre, élimination des bulles d'air ; le résultat de ce processus sur la qualité de la pièce.

b- La dégradation du matériau : le rotomoulage est très exigeant du point de vue de la stabilité du matériau ce qui pose quelques problèmes pour son application à certains polymères sensibles à la dégradation thermique ou à la thermo-oxydation

c- Pièces multicouches : l'adhésion entre les couches constitue un enjeu crucial. Nous nous focalisons notamment sur la nature de l'interphase et les caractéristiques mécaniques qui en découlent. Deux brevets ont été déposés avec le CEA (Le Ripault) et le laboratoire « Procédés » de l'université « Queen's » de Belfast (Polymer Processing Research Centre de Queen's University of Belfast) concernant la fabrication de pièces multicouches par rotomoulage. Un laboratoire commun avec le CEA est en cours de mise en place.

d- Moussage des polymères : des pièces multicouches comportant une couche de mousse de polymère, peuvent être élaborées par rotomoulage. Nous avons lancé une étude pour comprendre le mécanisme de moussage intervenant au cours du procédé. L'objectif est d'identifier un modèle cinétique afin de pouvoir maîtriser le procédé.

e- Rotomoulage réactif qui se décline sur trois projets d'étude :

- Evolution de la rhéologie de l'époxy au cours du rotomoulage

- Recyclage du PET : en partenariat avec le laboratoire « Procédés » de l'université « Queen's » de Belfast et avec plusieurs laboratoires Français et Irlandais.

- Rotomoulage du polyuréthane : l'objectif est de fabriquer les pièces rotomoulées en polyuréthane à partir d'isocyanate et de polyols (société RAIGI).

Elaboration de matériaux composites : modélisation des procédés et optimisation

Il s'agit ici, pour l'essentiel, de partir de monomères réactifs imprégnant un ensemble de fibres pour parvenir à une pièce en matériau composite. La simulation est évidemment essentielle : elle doit prendre en compte les mécanismes chimiques, les variations spatiales et temporelles des paramètres influents (en particulier la température) et l'exothermicité éventuelle de la réaction. Les principaux axes sont les suivants :

- Stratification de matériaux composites à matrice thermodure : nous nous intéressons à la modélisation des phénomènes exothermiques intervenant pendant la cuisson de stratifiés épais. L'étude porte plus particulièrement sur l'influence des cycles de pression et température sur la santé des pièces stratifiées à matrice époxy. Cette thématique concerne également l'effet du vieillissement des préimprégnés verre-époxy sur les caractéristiques finales du stratifié. Ces produits coûteux sont fournis aujourd'hui avec une durée de garantie très courte en regard à leur durée de vie effective. Celle-ci dépend fortement de la température et leur stockage doit s'effectuer à basse température (-18°C). Il est donc souhaitable de définir une méthode permettant de connaître l'état d'évolution de la résine et la valeur critique au-delà de laquelle il conviendrait d'interdire la mise en œuvre du pré-imprégné. L'une des ramifications du projet consiste en la conception et la réalisation de moules de grandes dimensions, avec une application aux pales d'éoliennes.

- Elaboration de pièces

épais-ses en matériaux composites : l'élaboration thermique de pièces épaisses à partir de matrice réactive nécessite la maîtrise constante de l'incrément de température, en tout point du matériau à transformer, et donc, la maîtrise des sources de chaleur dans le temps et dans l'espace. Dans le contexte du chauffage par hystérésis diélectrique, la connaissance de la distribution spatiale de la densité volumique de puissance électromagnétique absorbée, c'est-à-dire la connaissance de la distribution spatiale de l'amplitude du champ électrique, peut assurer cette maîtrise des sources de chaleur et tendre vers leur uniformité spatiale. Cette approche a été développée et validée pour la réalisation de pièces en composite de forte épaisseur. Le plus caractéristique des résultats de ce travail concerne la distribution spatiale des sources de chaleur d'origine électromagnétique pour une mise en œuvre du chauffage par hystérésis diélectrique à la fréquence de 915 MHz, sur des éprouvettes en matériau composite à renforts unidirectionnels de verre et de matrice époxy DGEBA-DDA et de grandes dimensions. La mise en évidence de l'effet de compensation de l'atténuation, compensation obtenue à partir du chargement diélectrique non uniforme selon la direction principale de propagation, impose que soient connues les caractéristiques d'atténuation des chargements diélectriques les plus différenciés : chargement d'un matériau à faible permittivité (de structure nid-d'abeille habituellement) ou chargement à permittivité élevée.

Thermoformage de composites à matrice thermoplastique

Une collaboration s'est développée entre J. Launay du LMSP et Marc Legrand (LIM Lille) qui dispose d'une presse expérimentale aux performances industrielles, opérationnelle pour le thermoformage de composites thermoplastiques. Des modèles de calculs ont été proposés par le LMSP en vue d'une intégration au sein de codes de calcul comme PAM-FORM. La validation de ces modèles est réalisée par des essais qui sont réalisés à Lille. A cette fin, le procédé de thermoformage a été optimisé tant du point de vue de la con-

ception des outillages, pour une géométrie non développable, que du point de vue des paramètres « procédé » (température et pression à appliquer).

2. Microstructures et comportement mécanique

La notion centrale de cette activité est celle de milieu désordonné. Les objets d'étude sont donc des métaux (cristallins, avec un ordre statistique à travers la texture cristallo-graphique), des polymères (élastomères, polymères avec phase cristalline ou non et même éventuellement chargés par des renforts courts) ou des composites.

Le but des recherches entre-prises dans l'équipe sur les polymères diffère selon qu'il s'agit de polymères semi-cristallins ou d'élastomères. Dans le premier cas, c'est la relation entre procédé et microstructure qui est visée, dans l'autre c'est plutôt l'écriture de lois de comportement plus pertinentes. Dans les deux cas, l'approche part de la compréhension des mécanismes physiques et tente de les intégrer au mieux dans la simulation. Enfin, les progrès de la dynamique moléculaire ouvrent de nouvelles perspectives en matière de simulation et de compréhension du comportement des polymères ; cette compétence sera développée très prochainement dans l'équipe.

L'injection des composites à matrice thermoplastique

Les propriétés mécaniques de polymères semi-cristallins dépendent beaucoup des conditions de cristallisation et des morphologies induites par le procédé de transformation. Si un polymère est fortement chargé en fibres courtes (jusqu'à 60% en masse), la cinétique de cristallisation est modifiée et rend plus difficile une bonne maîtrise des dimensions des pièces injectées. Une thèse a eu pour but de déterminer les tenseurs de rigidité et de dilatation thermique du matériau en fonction de l'orientation des fibres sur une large gamme de température (de la cristallisation à la température ambiante). Cela passe par l'utilisation de techniques d'homogénéisation, avec les difficultés induites par le fort taux de fibres et le caractère viscoélastique de la matrice aux températures élevées. Ce travail s'inscrit dans une colla-

boration entre trois laboratoires (LIM, LMB Lyon, Polytech Nantes) et trois industriels (Legrand, Moldflow, Solvay), dans le cadre du projet SCOOP.

Le soudage de composites à matrice PEEK

Les phénomènes physiques mis en jeu lors du soudage en continu de bandes composites (fibres de carbone enrobées dans une matrice semi-cristalline PEEK) qui déterminent la qualité du soudage et la tenue mécanique de la pièce sont encore mal maîtrisés. Le but est de les comprendre et de les modéliser en appliquant des modèles de reptation moléculaire dans des conditions fortement anisothermes et en identifiant des cinétiques de cristallisation où les vitesses de refroidissement peuvent atteindre 100 K/s. Ce travail, soutenu par la DGA, s'effectue en collaboration avec l'industriel qui développe le procédé (EADS).

Méthodes de champs et identification inverse du comportement in situ des phases d'un matériau composite

Dans le cadre de l'ACI « Energie, éco-conception, » il s'agit d'aborder le comportement de joints collés utilisés pour le renforcement de structures endommagées. Deux objectifs sont poursuivis :

- comprendre le comportement d'un renfort composite notamment en condition de fatigue ;

- modéliser le comportement de la structure afin de prévoir sa durée de vie définie comme le temps nécessaire à l'amorçage d'une fissure. Cela nécessite d'identifier in situ la loi de comportement de la colle.

L'expérimentation consistepour l'essentiel en mesures des contraintes résiduelles par diffraction X grâce à des particules métalliques incluses dans le joint de colle, ainsi qu'à des mesures de champs de déplacement et de température. L'identification du comportement se fait par méthode inverse.

Comportement dynamique de composites à différentes échelles

Afin de rendre possible les simulations numériques des structures en composites soumises à des sollicitations rapides (de 1 à 103 s⁻¹), les lois de comportement et les méthodologies expérimentales de leur détermination doivent être améliorées.

Dans cette problématique, on distinguera deux classes de matériaux composites.

- Composites à fibres courtes : Les lois de comportement implémentées dans les codes de calculs dynamiques explicites (RADIOSS, PAM-CRASH, LS-DYNA) n'intègrent ni les aspects microstructuraux ni les mécanismes de dégradation. Ces aspects deviennent primordiaux dans le cas de composites à renfort aléatoire. En effet, pour ces matériaux le comportement sous chargement dynamique est gouverné essentiellement par la microstructure. La présente étude est donc centrée sur la formulation et l'identification de lois de comportement multi-échelles et non-linéaires sous sollicitations rapides pour composites à renfort aléatoire. Les mécanismes à prendre en compte sont essentiellement la rupture interfaciale (matrices thermodurcissables) ou le grossissement de cavités (matrices thermoplastiques). L'endommagement y est introduit à travers des critères locaux traduisant de manière quantitative et probabiliste les phénomènes physiques de dégradation. Ces phénomènes sont identifiés expérimentalement lors d'essais de traction dynamique interrompus réalisés selon une stratégie incrémentale originale. Il y aura ensuite implémentation du modèle multi-échelles dans le code ABAQUS explicite. Les simulations qui en résulteront permettront d'estimer, à l'échelle de la pièce composite, la répartition spatio-temporelle des déformations et des contraintes ainsi que l'endommagement induit.

- Composites à fibres longues : Lors du délaminage, les modes 1 et 2 se trouvent le plus souvent combinés ; la caractérisation en mode mixte est donc incontournable. Par ailleurs, une inconnue majeure est l'effet du niveau d'endommagement intralaminare sur la propagation du délaminage. Il n'existe actuellement aucune approche expérimentale ou numérique pour quantifier cet effet. Enfin, l'exploitation des résultats d'essais dynamiques reste un point dur : la littérature scientifique est loin d'être unanime sur la façon de procéder. Des travaux sont actuellement menés visant deux objectifs :

- la conception et la mise au point de montages expéri-

mentaux pour caractériser les délaminages sous chargement dynamique dans divers stratifiés,

- la mise au point d'une méthodologie d'identification des paramètres des lois de comportement d'interface (mode 1 et mode 2) en collaboration étroite avec le LMT de Cachan.

3. Durabilité

L'originalité de notre démarche, dans le domaine du vieillissement, réside dans l'angle d'approche des problèmes, privilégiant l'analyse cinétique plutôt que mécanistique, et l'étude des conséquences du vieillissement sur les propriétés d'utilisation plutôt que l'identification détaillée des modifications structurales. Ceci nous rend plus proches des problèmes d'ingénieur (pour l'essentiel axés sur la prédiction de durée de vie), et nous permet dans le même temps de nous confronter à des enjeux scientifiques motivants.

Mettre au premier plan de nos préoccupations la modélisation cinétique nous a par exemple :

- Fourni une grille de lecture particulièrement efficace des mécanismes. C'est ainsi que nous avons été conduits à reconsidérer les mécanismes de synergie entre antioxydants ou les relations entre structure et comportement thermogravimétrique ;

- Obligé à rechercher des caractères universels là où les auteurs s'étaient attachés à découvrir des différences, par exemple dans la thermooxydation des polyéthylènes ;

- Conduit à modifier radicalement notre point de vue sur la méthodologie d'essai dans le domaine du vieillissement.

De même, focaliser notre attention sur les conséquences du vieillissement au niveau des propriétés d'utilisation et en particulier sur les mécanismes de fragilisation a débouché sur des problèmes encore non résolus de physique des polymères.

Dans le domaine de l'oxydation, la période récente est essentiellement caractérisée par :

- l'introduction systématique de méthodes numériques dans la résolution des schémas cinétiques ;

- la diversification des modes de vieillissement : initialement axés sur les phénomènes de

thermoxydation à l'état solide, nous avons abordé la thermoxydation à l'état fondu (dans les conditions de mise en œuvre) et le vieillissement radiochimique.

Cette activité se répartit sur trois axes principaux :

Thermoxydation de composites à matrice thermostable

Les composites à matrice polyimide, par ex. de type PMR-15, poly(bismaléimide) ou époxy, sont généralement utilisés à des températures supérieures aux températures d'utilisation des polyoléfines (traités depuis le début des années 90 au LTVP), mais les schémas cinétiques sont les mêmes. Les principales différences résident dans l'intérêt particulier porté :

- aux phénomènes de perte de masse ;
- aux phénomènes de couplage fissuration-oxydation.

Après une période de collaboration avec l'ONERA, nous avons été invités à participer au RRIT « Supersonique » pour l'étude des matériaux devant affronter l'épreuve du vol supersonique (80 000 heures à 120°C dans l'air). L'objectif du projet est l'étude et la prévision du vieillissement des structures composites carbone/époxy soumises à des chargements thermomécaniques répétés.

Notre travail a consisté à modéliser l'oxydation des matrices époxyde et bismaléimide par un modèle cinétique d'oxydation radicalaire en chaîne, couplé à l'équation de diffusion de l'oxygène. Ce modèle permet de prédire, pour différentes conditions de vieillissement, la perte de masse et l'épaisseur de la couche oxydée d'échantillons épais de matrice et de composite UD. Dans le cas de la matrice pure, nous avons modélisé le retrait induit par l'oxydation et estimé le niveau de contraintes induites au cours du vieillissement.

Vieillessement radiochimique de composites époxy-verre

Ce travail, entrepris en collaboration avec le CEA Le Ripault sous l'égide de la COGEMA, porte sur le vieillissement de composites à matrice époxy destinés à être utilisés dans des conditions extrêmement sévères (hautes températures, doses élevées).

Ayant établi un schéma mécanistique, en particulier sur la

base de données RMN et RPE, et identifié les principales constantes de vitesse, nous avons utilisé la théorie de Di Marzio (1964) pour établir la relation entre le nombre de coupures de chaînes et la température de transition vitreuse T_g . Nous aboutissons ainsi à un modèle permettant de prédire l'évolution d'une propriété d'utilisation (T_g) en fonction des conditions d'exposition : débit de dose et température.

Parmi les points originaux de ce travail, autres que le modèle ci-dessus, il faut noter :

- la mise au point d'une structure de résine optimisée au point de vue de la résistance aux radiations (taux d'aromaticité élevé) ;
- l'étude détaillée des effets de l'irradiation sur la ténacité ;
- la prise en compte d'étapes élémentaires (terminaison) gouvernées par la diffusion des radicaux dans le modèle (théorie de Waite, 1962).

Absorption d'eau par les polymères

Depuis longtemps, nous nous intéressons aux relations structure-hydrophilie et structure-diffusivité de l'eau dans les polymères, en particulier dans les matrices de composite du type époxy ou polyétherimide. Les relations entre chaleur de dissolution et structure nous ont permis de comprendre pourquoi la concentration à l'équilibre d'eau dans le polymère augmente avec la température dans certains polymères (polyesters par exemple) et diminue dans d'autres (certains réseaux époxy et polyimides par exemple). Nous avons par ailleurs montré que lorsque la sorption obéit aux lois de Langmuir, dans le cas des époxy, c'est dû à l'hydrolyse des époxydes résiduels alors que jusqu'ici, la nature des sites retenant fortement l'eau n'était pas connue. Cet axe de recherche nous a permis d'établir une collaboration avec l'Université de Monash (Melbourne). L'équipe de W. Cook nous a fourni une série d'échantillons de polymères thermodurcissables et de réseaux interpénétrés qui nous ont permis de tester nos idées sur les relations structure-absorption d'eau. La période écoulée a vu la fin d'une longue collaboration avec le CREA sur les problèmes de fissuration osmotique des polyesters.

Couplage fatigue-vieillessement humide d'un composite verre/PA66

Le comportement en fatigue des polymères chargés ou composites est très influencé par les paramètres du procédé de mise en forme, par exemple, la distribution et l'orientation des fibres dans la matrice. La température de transition vitreuse du PA66 (70°C à 10 Hz) est peu éloignée de la température ambiante et une augmentation de la température même modérée ou une variation de la concentration d'eau peut induire un changement d'état physique de la matrice. Le comportement mécanique (module d'élasticité, résistance mécanique, ténacité...) dépend de la concentration d'eau dans le matériau en raison de son effet plastifiant. Les composites à matrice PA66 sont très hydrophiles et l'interface matrice/renfort est un site potentiel très important de l'amorçage de l'endommagement. Des essais de fatigue interrompus effectués sur des éprouvettes équilibrées avec différentes concentrations d'eau nous permettent d'étudier l'effet de couplage fatigue/humidité, l'objectif final étant la modélisation du comportement et la prédiction de durée de vie

Effet de l'anisotropie d'un stratifié sur son oxydation

Cette étude se situe dans la suite du projet RRIT Supersonique. La nécessité de connaître le coefficient de diffusion de l'oxygène dans les 3 directions a requis la conception d'un dispositif de perméation fonctionnant jusqu'à 120°C. Le modèle cinétique intègre ces nouvelles valeurs ; il est validé par des mesures de perte de masse et d'épaisseurs de couche oxydée.

Vieillessement sous contrainte des polymères et composites organiques

Afin de dimensionner les structures en composite à matrice polymère pour le long terme et de disposer de critères de durée de vie pertinents, il faut introduire le facteur-temps dans les lois de comportement. Pour atteindre cet objectif, on introduit les techniques d'homogénéisation dans le domaine du vieillissement des polymères ; en particulier, on couple les modèles d'homogénéisation, chers aux mécaniciens, aux modèles cinétiques, développés depuis

longtemps par le LTVP, ce qui devrait constituer un véritable tournant dans ce domaine. Il s'agit de :

- développer un modèle cinétique permettant de prédire l'évolution des propriétés mécaniques du polymère pendant son vieillissement avec prise en compte des relations entre la microstructure et les propriétés macroscopiques ;

- développer une loi de comportement présentant un réel sens physique pour qu'un « interfaçage » avec le modèle cinétique soit possible.

On s'attaque en particulier au problème du vieillissement sous contrainte. On s'appuie sur une campagne expérimentale importante qui permettra d'écrire une nouvelle loi de comportement à partir d'un modèle d'homogénéisation des milieux aléatoires. Cette loi de comportement aura un rôle prédictif quant à la durabilité des matériaux composites.

Entartrage des canalisations

Les progrès accomplis en matière d'études des phénomènes d'entartrage depuis une vingtaine d'années ont porté sur les mécanismes de formation du tartre et sur les essais accélérés.

La mise au point de méthodes électrochimiques pour l'étude de l'entartrage a marqué un tournant décisif dans l'étude des paramètres influençant l'incrustation du carbonate de calcium. Par ailleurs, ces techniques permettaient d'obtenir des résultats très rapides, en quelques dizaines de minutes, voire en quelques minutes si l'on travaillait avec des électrodes brossées, et ce, aussi bien en eau chaude qu'en eau froide. Cependant, ces méthodes présentent quelques inconvénients. Le premier est qu'elles ne s'appliquent qu'à des matériaux conducteurs ou rendus conducteurs. Elles sont donc, en pratique, réservées aux métaux. Le second inconvénient est lié au fait que l'interface métal/eau est portée à un pH extrêmement élevé lors de l'essai. De ce fait, on ne se trouve plus dans des conditions thermodynamiques réalistes d'entartrage. Depuis cette époque, d'autres méthodes ont vu le jour, notamment la méthode de Précipitation Contrôlée Rapide, ce qui a permis d'étudier

très finement le processus de germination-croissance du carbonate de calcium et, ainsi, de discriminer deux eaux de compositions identiques mais de pouvoirs entartrants différents. Or cette technique ne permet de caractériser que l'eau employée. Il était donc nécessaire de la transposer dans un essai où l'on puisse introduire une surface d'un matériau quelconque, conducteur ou non conducteur.

La méthode gravimétrique intègre ces différents impératifs, de manière à être à la fois une méthode accélérée et une technique réaliste vis-à-vis des conditions thermodynamiques

que l'on rencontre dans les entartrages réels. Les matériaux utilisés pour ces essais sont des tubes de divers type, dont le diamètre est de l'ordre d'un demi pouce et dont la longueur est de 10 cm. Ces tubes peuvent ainsi être pesés aisément sur une balance de précision. Ce dispositif est conçu de telle façon que les eaux utilisées amorcent légèrement leur précipitation dans un bac tampon. De cette manière, on peut simuler un circuit d'eau chaude qui présente des conditions entartrantes.

4. Conclusion

Le LIM est donc avant tout

un laboratoire dédié à l'étude des matériaux de structure avec une forte compétence dans le domaine des matériaux polymères. La fertilisation croisée entre polyméristes et mécaniciens est en cours, et elle devra, pour porter tous ses fruits, faire l'objet d'une volonté obstinée de tous les acteurs. Il serait par ailleurs souhaitable que le LIM retrouve une activité plus intense dans le domaine des matériaux métalliques. Les compétences de base y sont fortes et la transmission des acquis et méthodes entre les diverses familles de matériaux représente une voie de progrès très prometteuse.

Le transfert des méthodes de changement d'échelle des métalliques aux polymères semi-cristallins est en cours ; la mise en œuvre des méthodologies d'approche du vieillissement en service des polymères sur le cas des métaux pourrait apporter des progrès significatifs.

Contact : T. Bretheau (Directeur du LIM)
ENSAM, 151 Boulevard de l'Hôpital 75013 Paris

VIE DE L'ASSOCIATION



Bilan de la JST : «Renforcement des polymères par des fibres végétales» 2005 Colloque organisé les Jeudi 9 & Vendredi 10 juin 2005 à l'Université de Bretagne Sud - IUP - 2 rue Le Coat Saint Haouen, 56100 Lorient

Présentation de ces journées

Aujourd'hui nous constatons que, pour son développement ou simplement sa survie, la société du XXIème siècle devra de plus en plus se tourner vers des ressources renouvelables. Par ailleurs la réglementation et le consommateur demandent l'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 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'objectif de ce colloque était de réunir sur ce thème des biologistes, des chimistes, des physiciens, des mécaniciens, des technologues, des agriculteurs et des industriels.

Cette JST (Journées Scientifique et Techniques) était organisée en relation avec l'Ademe, la Fédération des Industries Nautiques (FIN), le Groupement Français des Polymères Section Ouest (GFP Ouest), Lorient Technopole Innovation (LTI) et Plasti-Ouest (Fédération de la Plasturgie).

Ce colloque a réuni 117 personnes avec la participation, entre autres, de chercheurs (Universités, CNRS, INRA, Ifremer, CEVA...), d'industriels (grands groupes, PME, et représentants tel que Plasti-ouest et BreizPack) et des spécialistes du monde agricole et de la valorisation des agro-ressources (chambre agriculture, responsable des filières lin et chanvre, agriculteurs...).

Par ailleurs, 19 conférences orales et 15 posters ont été présentés. Le souhait d'avoir des présentations dans différentes disciplines a été respecté, les thèmes abordés concernaient :

- les fibres végétales et les parois cellulaires du bois (bio-nano-composite naturel)
- l'interface fibre/matrice,
- les composites renforcés par des fibres végétales,
- les nanocomposites à renfort polysaccharide,
- les biopolymères,
- la gestion de fin de vie par biodégradation,
- les analyses de cycle de vie,
- les perspectives de développement des matériaux issus d'agro-ressources.

Actuellement un recueil de conférences est en cours de rédaction dans le cadre d'un numéro hors série de la revue RCMA (parution début 2007).

Compte tenu de la pertinence de ce thème de recherche et de la participation active de nombreuses personnes, l'organisation d'un colloque (JST) sur le même thème est prévue en 2007 à Caen. De plus les échanges confirment qu'une approche pluridisciplinaire est indispensable si l'on souhaite développer des connaissances sur le renforcement des polymères par des fibres végétales, ainsi de nombreuses personnes sont intéressées par la création d'un réseau de laboratoire sur ce thème. Ce point est en cours de réflexion entre les organisateurs de cette JST.

Christophe Baley L2PIC Université de Bretagne Sud
e-mail : christophe.baley@univ-ubs.fr

Bilan de la J.S.T. „Comportement de matériaux et structures composites au choc, impact et crash.“

Le 29 septembre 2005 à l'ENSAM centre de Bordeaux

Cette journée co-organisée par Fodil Meraghni et Laurent Guillaumat a porté sur le thème du chargement dynamique appliqué à des structures composites. Trois sessions ont porté sur : i) les matériaux et essais, ii) les modélisations et iii) le comportement au crash. La journée a rassemblé une trentaine de personnes comprenant une dizaine d'orateurs, la présence de nombreux industriels a permis de jauger leurs attentes et leurs approches du problème du dynamique des structures réelles. Plusieurs tables rondes ont permis aux différents interlocuteurs d'échanger sur les thématiques proposées. Il a ainsi été constaté que la communauté française était mal préparée lors du montage des dossiers européens et il a été convenu de proposer une réunion au début de l'année prochaine regroupant universitaires et industriels pour aborder le problème et tenter de trouver des solutions.

Sur le plan scientifique cette journée a confirmé l'influence des gammes de vitesses sur le comportement dynamique ainsi que l'aspect multiéchelles (du matériau à la structure). Il semble donc important que les communautés qui traitent des matériaux et de leurs modes d'endommagements et du comportement des structures puissent échanger davantage.

Les exposés de la première session ont montré la grande disparité des comportements des matériaux, qu'il s'agisse de mousse, de céramique et de composites à matrice organique ou métallique. De plus, les essais pour déterminer les propriétés dynamiques sont souvent très délicats à mettre en place notamment en raison de phénomènes vibratoires qui viennent perturber les mesures. La deuxième session a porté sur les modélisations et la tendance est de proposer des solutions permettant de relier la microstructure au comportement dynamique macroscopique. Cela autorise la prédiction de l'influence de paramètres d'élaboration sur la réponse globale du matériau. Concernant la dernière session, il a été clairement montré que les composites avaient une place de plus en plus importante dans le domaine du transport dans les pièces de structures. Cela implique une validation de la tenue au crash de ces matériaux. Ils possèdent des atouts intéressants vis-à-vis de ce type de chargement mais le coût souvent important des essais au crash conduit les industriels à essayer de développer des maquettes virtuelles ce qui demande une bonne connaissance des lois de comportements dynamiques et de posséder des codes d'éléments finis compétents dans ce domaine.

Les co-organisateurs souhaitent remercier l'ENSAM de Bordeaux à travers F. Routaboul, son directeur, pour son aide dans l'organisation de cette JST ainsi qu'Annie Artal toujours disponible pour participer aux tâches administratives.

Laurent Guillaumat, ENSAM Bordeaux

Une mission de l'AMAC en Inde

Une délégation de l'AMAC a effectué récemment (5-11 novembre 2005) une mission exploratoire sur les matériaux composites en Inde. Celle-ci a été organisée avec l'aide du Ministère des Affaires Etrangères (Ambassade de France à Delhi), et avec le Professeur Manocha (Université Sardar Patel). La délégation de l'AMAC était composée pour l'essentiel de membres du bureau, que l'on reconnaîtra sur la photographie.

Les institutions visitées avaient été sélectionnées pour leur importance. Ce sont les plus avancées. La visite des laboratoires et les discussions ont confirmé leur haut niveau international.

- 1- NAL : National Aeronautical Laboratory, Bangalore (Etat du Karnataka)
- 2- Indian Institute of Science, Bangalore
- 3- Sardar Patel University, Vallabh Vidyanagar (Etat du Gujarat)
- 4- Indian Institute of Technology (Delhi).

Bangalore est située au Sud du pays. Elle est la capitale du Karnataka. C'est une ville commerciale bouillonnante d'activité. Bangalore est le premier centre d'informatique de l'Inde et le troisième au monde. Ses exportations déjà très importantes à l'échelon national doublent chaque année. Grâce à l'informatique, Bangalore est devenue une ville encore plus internationale que Bombay. Nombre de multinationales ont fait construire à Bangalore des bureaux qu'elles font équiper de matériel informatique local dont les performances sont comparables à celles du matériel américain.

Vallabh Vidyanagar (Etat du Gujarat) se trouve au Nord Ouest de l'Inde à 90 km d'Ahmadabad, la ville de Gandhi. Le Gujarat est l'état le plus riche et l'un des plus éduqués du pays.

Enfin, Delhi, au Nord, est à la fois la capitale de l'Inde, une entité politique indépendante et le plus grand centre industriel et commercial de l'Inde du Nord. Elle compte 12 millions d'habitants qui vivent en majorité dans l'immense zone tentaculaire de 1500 km² qui s'étend autour des sept cités historiques successives.

L'Inde est une terre de contrastes saisissants où histoire et tradition côtoient une modernité d'un dynamisme étonnant. Elle ne ressemble guère aux clichés qui ont souvent cours. Bien que le pays se place juste derrière les Etats-Unis dans le domaine des technologies de l'information, la vie quotidienne demeure profondément ancrée dans ses coutumes ancestrales.

L'accueil a toujours été chaleureux et respectueux. Un large spectre de thèmes a été abordé lors des visites : composites à matrice résine, carbone, céramique, métallique, science des matériaux, nanomatériaux, procédés, contrôle non destructif, textiles, usinage, nanocomposites. Nos hôtes ont manifesté un désir répété de s'engager dans des relations de coopération dans le domaine des matériaux composites avec des laboratoires français. Au cours des réunions de synthèse plusieurs formes de coopération ont été envisagées : coopération de recherche, coopération dans l'enseignement des matériaux composites, et plusieurs thèmes ont été identifiés qui correspondent notamment à des compétences complémentaires. Il existe plusieurs programmes de coopération financés par le Ministère des Affaires Etrangères. L'AMAC étant une Société Savante dont les adhérents appartiennent à un nombre important de laboratoires et d'universités français, elle se propose d'œuvrer afin de favoriser les partenariats franco-indiens. Tous ceux qui souhaitent davantage d'informations afin d'établir des coopérations avec l'Inde sont invités à contacter l'AMAC.

Jacques Lamon, lamon@lcts.u-bordeaux1.fr



*L'Inde s'étend du 8° au 36° degré de latitude Nord.
Ce sous-continent a la forme d'un gigantesque diamant (3 268 000 km²).
Il compte plus de 1 milliard d'habitants, ce qui le place juste derrière la Chine.*



*L'AMAC constate la durabilité des matériaux composites en Inde :
il s'agit du plus vieil arbre du pays (1800 ans).
Au premier plan, on reconnaît de gauche à droite :
Jacques Lamon, Philippe Boisse, Philippe Olivier, Yves Rémond.*

• Conférences organisées ou parrainées par l'AMAC

JST CND Composites

Toulouse, 20-21 Juin 2006

JST AMAC / COFREND « Les Contrôles Non Destructifs pour les matériaux composites »

Contact :

Secrétariat : Nadine Nathou ; Tel : 05 62 25 87 39 ; Fax : 05 62 25 87 41
e-mail : nadine.nathou@crit.iut-tlse3.fr
Michel CAVARERO (COFREND) : michel.cavarero@crit.iut-tlse3.fr
Philippe OLIVIER (AMAC) : philippe.olivier@iut-tlse3.fr
Plaquette annonce / inscription disponible dès le 01/02/06 sur sites :
www.gso.cofrend.com et www.amac-composites.asso.fr

ECCM 12

Biarritz, 29 Août – 3 Septembre 2006

12^e Conférence Européenne sur les Matériaux Composites

Contact :

M^{me} Josette FORGET ; Tel : 05 56 84 47 00 ; Fax : 05 56 84 12 25
e-mail : eccm12@lcts.u-bordeaux1.fr
Site : <http://paginas.fe.up.pt/ECCM12>

• Autres conférences

COMPOSITES AUSTRALIA 2006

Sydney, 2-3 Mars 2006

Annual Conference in association with Composites CRC

Contact :

Ann Byrne ; Tel : +(613) 9866 5586 ; Fax : +(613) 9866 6434
e-mail : info@compositesaustralia.com.au ;
Site : www.compositesaustralia.com.au

JEC

Paris, 28-30 Mars 2006

Show - Journées Européennes de Composites

Contact :

e-mail : visitors@jeccomposites.com ; Site : jeccomposites.com

Wood & Natural Fibres Composites

Kassel (Allemagne), 5-6 Avril 2006

6th Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium

Contact :

Markus Murr ; Tel : (0561) 804-3675 ; Fax : (0561) 804-3692
e-mail : m.murr@uni-kassel.de
Site : www.uni-kassel.de/fb15/ifw/kutech/veranstaltungen_6th_WPC_Symposium_2006_e1.html

Composites Processing

Merseyside (UK), 27 Avril 2006

Composites Processing 2006

Contact :

Ken L. Forsdyke ; Tel : +44 (0)1443 228867 ; Fax : +44 (0)1443 239083
e-mail : info@composites-proc-assoc.co.uk ; Site : www.composites-proc-assoc.co.uk

Reinforced Plastics 2006

Balaton (Hongrie), 23-25 Mai 2006

Reinforced Plastics 2006 International Conference

Contact :

Mrs. Catherina L. MAROS ; Tel : + 36-23-44-55-26 ; Fax : +36 (23) 44-55-24
e-mail : info@emsz-kompozit.hu ; Site : www.emsz-kompozit.hu/

Int. Manufacturing & Design

Piteå (Suède), 12-13 Juin 2006

International Conference on Manufacturing and Design of Composites

Contact :

Lena Sandström ; Tel : + 46-911 744 02 ; Fax : + 46-911 744 99
e-mail : lena.sandstrom@sicomp.se ; Site : <http://www.sicomp.se>

Composites for Renewable Energy Conference

Contact : Dr J. Summerscales ; Tel : +44 (0) 1752 232650 ;
e-mail : j.summerscales@plymouth.ac.uk ; Site : www.tech.plymouth.ac.uk/sme/acmc/reconf.htm

ICCE 14

Boulder (CO-USA) 2-8 Juillet 2006

14th International Conference on Composites Engineering

Contact : Pr. David Hui ; e-mail : dhui@uno.edu
Site : http://myweb.polyu.edu.hk/~mmkltlau/ICCE/ICCE_Main.htm

ESAFORM 2006

Glasgow (UK), 26-28 Août 2006

Material Forming ESAFORM 2006

Contact : Mrs Janette Green ; Tel : +44 141 548 4849 ; Fax : +44 141 548 4558
e-mail : janette.green@strath.ac.uk ;
Site : http://onlinelearning.dmem.strath.ac.uk/esaform2006/tiki-index.php

21st Annual Tech. Conf. of ASC

Dearborn (MI-USA), 17-20 Septembre 2006

21st Annual Technical Conference of the American Society for Composites

Contact : Pr. P.K. Mallick ; Tel : +1 (313) 593 5119 ; Fax : +1 (313) 593 5386
e-mail : ASC2006-Info@umich.edu ; Site : www.engin.umd.umich.edu/asc2006/index.htm

CDCM06

Stuttgart (Allemagne), 18-19 Septembre 2006

Conference on Damage in Composite Materials - Simulation and Non-Destructive Testing

Contact : Falk Wittel ; Tel : +49 (0) 711 6857093 ; Fax : +49 (0) 711 6853706
e-mail : cdc06@isd.uni-stuttgart.de ; Site : www.isd.uni-stuttgart.de/cdc06/index.htm

TEXCOMP8

Nottingham (UK), 16-18 Octobre 2006

TexComp8: 8th International Conference on Textile Composites

Contact : Pr. Andrew Long ; e-mail : TexComp8@nottingham.ac.uk
Site : www.textiles.nottingham.ac.uk/TexComp8.htm

CICE 2006

(?) Floride (USA), 13-15 Decembre 2006

Third International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2006)

Contact : Dr. Amir Mirmiran ; Tel : +1 305-348-2314 ; Fax : +1 305-348-2802
e-mail : Mirmiran@fiu.edu

Adhésions :

Formulaire téléchargeable sur le site de l'AMAC : <http://www.amac-composites.asso.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