

Septembre 2005 - n°21

ÉDITORIAL

Rapport moral sur l'exercice 2003-2004

Par Jacques LAMON, Président de l'AMAC



● L'Assemblée Générale de l'AMAC, qui s'est tenue le 23 mars lors des 14èmes Journées Nationales sur les Composites à Compiègne, a été l'occasion de présenter un bilan des activités pendant le dernier exercice, qui prend fin avec le renouvellement du Conseil d'Administration.

En bref, il apparaît que l'exercice se caractérise par une stabilisation de la situation de l'AMAC et par une continuité des actions dans le sens d'une plus grande ouverture sur le plan international et sur le plan de la pluridisciplinarité, et dans le sens de la diffusion des informations et des connaissances auprès de ses membres.

Les problèmes de secrétariat, qui avaient empoisonné la vie de l'AMAC pendant plusieurs des années précédentes ont été résolus. Le secrétariat est maintenant assuré par Jean-Marie Krempf (de l'IMFS, Strasbourg), qui est un collaborateur de l'actuel trésorier (Yves Rémond). Cette proximité présente de nombreux avantages qui facilitent la gestion. Le secrétariat fonctionne bien, les fichiers sont tenus à jour et

toutes les tâches nécessaires à la marche de l'AMAC peuvent être effectuées régulièrement, comme il se doit.

Les adhésions connaissent des fluctuations périodiques dont l'origine structurelle est bien connue. Ces fluctuations résultent simplement du fait qu'un certain nombre d'adhérents ne renouvellent leur adhésion qu'au moment de leur inscription aux JNC (Journées nationales sur les Composites) tous les deux ans. Ceci entraîne des difficultés de gestion (dont le trésorier se fera certainement l'écho) : les recettes sont divisées par 2 voire 3 les années intermédiaires entre les JNC. En outre, les fichiers doivent évoluer en parallèle, ce qui alourdit le fonctionnement. Des solutions diverses ont été examinées, mais une solution satisfaisante devra être trouvée.

Il n'y a pas lieu de s'appesantir sur la diffusion rapide des informations par les canaux du service e-mail et du site Web. Cependant, si le site Web continue de s'étoffer, la participation active d'un plus grand nombre permettrait d'accroître son dynamisme.

AMAC Infos continue d'être publié à la fréquence habituelle de 2 numéros par an. Il essaie de rendre compte de l'état de l'art dans un secteur particulier des composites (les composites dans l'automobile, dans le ferroviaire, à la Direction des Applications Militaires du CEA), de la vie des laboratoires et de l'actualité des conférences. Le nombre de pages a cru grâce

au rédacteur en chef.

L'édition de l'annuaire 2005 a été confiée à la Société EDIF (les Editions d'Île de France). L'annuaire doit, en effet, paraître avec une fréquence raisonnable (deux ans). Compte tenu de la lourdeur de la tâche, l'aide d'un professionnel s'est avérée nécessaire. EDIF fera son affaire des frais d'édition grâce aux encarts publicitaires.

La revue des Composites et des Matériaux Avancés (Hermès-Lavoisier) a commencé à publier des numéros spéciaux rassemblant les articles présentés lors d'une Journée Scientifique et Technique (JST). Ces articles sont sélectionnés par le Comité Scientifique de la JST. Deux volumes sont parus depuis que l'accord entre l'AMAC et les Editions Hermès-Lavoisier a été mis en place :

- 1) Mise en forme des matériaux composites
- 2) Dialogue Essai/calcul dans les structures hétérogènes.

Les volumes correspondants à des JST récentes sont en cours de préparation. L'AMAC est satisfaite de ce système qui permet la publication d'articles en langue française dans une revue à comité de lecture, et de numéros thématiques de qualité sur des sujets d'actualité.

Les Journées Nationales sur les Composites continuent d'être organisées avec un succès qui ne se dément pas, comme en témoigne la dernière édition. Celle-ci a rassemblé un auditoire nombreux malgré

la concurrence de plusieurs conférences qui se sont tenues au cours de la même période. Ceci mérite d'être souligné.

Les Journées Scientifiques et Techniques atteignent maintenant le nombre de 40, depuis la fondation de l'AMAC. Trois JST ont été organisées pendant la période 2004-2005, ce qui correspond à la fréquence souhaitée :

- Dialogue essai/calcul dans les structures hétérogènes *Blois (25 – 26 mars 2004)*
- Mise en forme des matériaux composites : couplage procédés/propriétés *Le Havre (2 – 3 décembre 2004)*
- Matériaux composites renforcés par des fibres végétales *Lorient (9 – 10 juin 2005).*

Ce rythme est celui des exercices précédents. Il avait été jugé suffisant, car une inflation dans le nombre de manifestations ne manquera pas de nuire à la qualité, à la crédibilité et au renouvellement de la production scientifique.

L'AMAC collabore avec plusieurs sociétés savantes en France et à l'étranger. Elle fait partie de la Fédération Française des Matériaux (FFM), qu'elle a fondé avec une vingtaine d'autres sociétés savantes qui avaient participé à l'organisation du Congrès Matériaux 2002 (Tours, 21 – 25 octobre 2002), dont le succès est connu.

La FFM a été construite au cours de la réunion du 13 novembre 2003. Elle a pour objet de permettre la coopération entre sociétés savantes concernées par les matériaux. Elle organise en 2006 la Conférence Matériaux 2006 (Dijon, 13-17 novembre 2006), où l'AMAC a la charge du colloque intitulé « Comportement et modélisation des matériaux hétérogènes, aléatoires ou composites ». Cette expérience a été renouvelée car elle a permis de traiter de sujets transdisciplinaires qui intéressent les composites.

L'AMAC a accordé son label à des conférences nationales (1) ou internationales (7) :

Euromech 453 :
International Stresses in Polymer Composite Processing and Service Life
Ecole des Mines de Saint-Etienne, 1-3 décembre 2003

Tenth Annual International Conference on Composites Engineering, ICCE/10
La Nouvelle Orléans, 20-26 juillet 2003

International Forum of Advanced Material Science and Technology (IFAMST)
Université de technologie de Troyes, 5-8 juillet 2004

Third International Conference on Fatigue of Composites (ICFC 3)
Doshisha University, Kyoto, Japan, 13-15 septembre 2004

COMP Test 2003 :
International Conference on : Composites Testing and Model Identification
Université de Bristol, 21-23 septembre 2004

1ères Journées de la Fédération Française des Matériaux
Limoges, 26-28 octobre 2004

5th International Conference on High Temperature Ceramic Matrix Composites (HT-CMC 5). Seattle, USA, 12-16 septembre 2004

L'AMAC participe activement au Conseil de la Société Européenne des Matériaux Composites (ESCM) (Vice-

Présidence, Trésorier), dont elle est un membre fondateur. Sa participation est, cependant, réduite à 2 membres. Il conviendra de l'étoffer. Pour cela il faudra que la Communauté française soit présente à la prochaine Assemblée Générale qui aura lieu lors d'ECCM 12 (12th European Conference on Composite Materials). L'AMAC sera fortement impliquée dans l'organisation d'ECCM 12 qui se tiendra à Biarritz, du 29 août au 1er septembre 2006. L'organisation d'ECCM 12 est européenne ; elle est conjointe entre la France et le Portugal.

Trois jeunes chercheurs ont reçu le Prix Daniel Valentin lors de cet exercice. Leurs travaux, dont la qualité a été remarquée, concernaient plusieurs aspects de la Science des Composites. Le nombre des candidatures mériterait d'être augmenté.

Conclusion :

L'AMAC semble faire preuve de dynamisme et remplir les missions de communication, de diffusion et d'animation de la connaissance scientifique, qu'elle s'est fixées. 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 la physicochimie qui fournit les outils de base pour l'élaboration des composites, et qui, donc, conduit vers de nouveaux matériaux.

L'AMAC peut jouer un rôle accru d'animation de l'activité scientifique. On peut penser à plusieurs domaines tels que le normalisation, la formation, les coopérations avec des pays étrangers (les pays francophones), le lancement de programmes, etc ... Cependant, toutes les actions de l'AMAC reposent, pour la plus grande part, sur le dévouement des membres du Conseil d'Administration.

Jacques LAMON
Président de l'AMAC

ÉDITORIAL

Rapport Financier
Par Yves Rémond, Trésorier de l'AMAC

AMACINFORMATIONS
AMACINFORMATIONS
AMACINFORMATIONS
AMACINFORMATIONS
AMACINFORMATIONS

Chers adhérents,

La situation financière de notre association est décrite ici pour les années 2003 et 2004. Vous pouvez constater que les comptes sont stables et l'association en bonne santé, mais l'AMAC reste très fragile. En effet, cette stabilité vient essentiellement de la réduction très forte de nos dépenses d'administration et de secrétariat depuis deux ans. Les tâches de base sont maintenant largement réparties entre tous les membres du conseil d'administration qui ne comptent pas leur temps ! Vous savez par ailleurs que Jean-Marie Krempff (ingénieur CNRS à Strasbourg) passe un temps important à suivre les factures, faire des envois variés. Il a également mis en place un suivi informatique précis des adhérents ce qui nous rend grand service. Je ne parle pas du travail de secrétariat auquel il apporte une forte contribution. Cette aide est considérable et je voudrais le remercier vivement dans cette tribune pour son dévouement et sa bonne humeur. Il doit néanmoins partir en retraite l'été 2006, mais acceptera sans doute de prolonger un peu sa collaboration à nos cotés.

La réduction des dépenses ne fait pas tout vous vous en doutez, et nous vivons toujours sur deux pieds : le premier est le soutien financier que nous procure les JNC tous les deux ans, le second réside dans les cotisations de nos membres. Sur ce plan, nous sommes toujours un peu limite et mon appel est simple : faites de la publicité pour l'AMAC et incitez vos collègues à s'y inscrire, c'est la survie de l'AMAC qui est en jeu !

Yves Rémond
Trésorier de l'AMAC

Comptes AMAC Exercices 2003 et 2004

2003	Solde au 1 ^{er} janvier 2003	32 108,26 €
• RECETTES		
	Cotisation 2003 et reliquat 2002 : (Pour 64 cotisants hors JNC13)	6 151,00 €
	Retour partiel du colloque JNC13	20 000,00 €
	Autres subventions JNC13	11 822,06 €
	Ventes des actes JNC13	3 571,95 €
	JST ENSAM	1 379,00 €
Total		42 924,01 €
• DEPENSES		
	Organisation JNC13	11113, 84 €
	Actes JNC13	21539,46 €
	Bulletin AMAC n°16	2281,36 €
	Bulletin AMAC n°17	1695,15 €
	Annuaire AMAC	1074,01 €
	AMAC Info	230,45 €
	Lavoisier JST	3053,17 €
	Secrétariat 2002 (ENSAM)	4448,88 €
	Matériel secrétariat	748,00 €
	Secrétariat 2003	1680,98
	Provision JMK	1400,00 €
	Prix Daniel Valentin	4500,00 €
	AFM	550,00 €
	MAIF	46,08 €
	Conseil administration	180,70 €
	Divers (affiche AMAC, frais gestion)	136,26 €
	Bouygues Telecom	47,74€
Total		53 347,08 €
	Solde au 31 décembre 2003	20 306,19 €
2004	Solde au 1 ^{er} janvier 2004	20 306,19 €
• RECETTES		
	Cotisation 2004 (Pour 101 cotisants)	8 237,90 €
	Solde du colloque JNC13	8 968,97 €
	Autres subventions JNC13	1727,00 €
	Ventes des actes JNC13	694,00 €
Total		19 627,87 €
• DEPENSES		
	Organisation JNC13	3 648,73€
	Organis ation JNC14	1 994,23 €
	Bulletin AMAC n°18	1 695,15 €
	Bulletin AMAC n°19	1 695,15 €
	Secrétariat 2004	2 124,90 €
	AFM	1 010,46 €
	Conseil administration	387,10 €
	Divers (frais gestion)	74,01 €
	Société Française de Chimie	41,30€
Total		10 915,88 €
	Solde au 31 décembre 2004	28 958,18 €

Bilan des 14^e Journées Nationales des Composites – JNC14 Compiègne 22-24 Mars 2005

Les JNC14 se sont déroulées à l'Université Technologique de Compiègne (centre de transfert et de recherche Royallieu / Guillaumat) les 22, 23 et 24 mars dernier. Le Comité d'Organisation des JNC14 a su articuler cette manifestation autour des thèmes de recherche interpellant les scientifiques universitaires et industriels. De l'aéronautique à l'automobile, de l'électronique à l'électroménager, des loisirs à la santé, de l'habitat au génie civil, autant de domaines familiers pour lesquels la notion de « Matériau » a subi ces dernières années une remarquable révolution. Le matériau est passé du statut d'acteur statique aux propriétés figées, à celui d'acteur dynamique proposant des performances façonnables et adaptables.

La complexification du matériau composite et des formes géométriques nécessite désormais une convergence des « savoir-faire » issus des domaines de la chimie, de la physique et de la mécanique et un savoir pluridisciplinaire. Les nouvelles règles de conception, la notion de matériaux multifonctionnels, la diversité des procédés de fabrication, la caractérisation et les méthodes expérimentales spécifiques, la modélisation, la simulation et prédiction comportementales, les techniques de CND, les divers aspects de la durabilité, la recyclabilité et réparabilité fournissent à la communauté scientifique et industrielle un prodigieux espace d'échanges et de partenariats. En organisant tous les deux ans les JNC, l'AMAC s'est toujours fixée pour objectif de contribuer à la mise en place de cet espace et de contribuer à relever le défi du décloisonnement des connaissances scientifiques et technique exigé par la « solution composite ».

Les organisateurs des JNC14 ont privilégié certains aspects de la recherche « Composites » en confiant aux conférences plénières le soin d'aborder les interrogations, les avancées scientifiques et les difficultés spécifiques, inhérentes et persistantes des matériaux composites. Les acquis et l'état des avancées scientifiques ont été pris en charges par les communications (orales et posters). Les JNC14 se sont donc articulées autour 128 contributions ordonnées selon les thèmes suivants :

- Endommagement, Rupture, Comportement mécanique, Multi-échelles :	35 articles
- Modélisation, Simulation, Validation, Approches probabilistes :	30 articles
- Structures, Conception, Optimisation, Assemblage, Réparation :	19 articles
- Méthodes expérimentales, Caractérisation, CND :	13 articles
- Vieillessement, Durabilité :	11 articles
- Elaboration, Procédés de fabrication :	9 articles
- Constituants fibres matrice :	7 articles
- Interface, Interphase :	4 articles

Toutes les communications (orales ou posters) sont regroupées dans les actes des JNC14 (3 volumes, 1350 pages).

Les JNC14 ont été l'occasion, à travers une séance plénière particulière, d'amorcer une réflexion sur la « Problématique de l'intégration des matériaux composites dans les pays à fort potentiel de développement ». A cet effet, des personnalités universitaires et/ou industrielles des pays méditerranéens (Algérie, Liban) ont été invitées à apporter des éclairages indispensables à la compréhension de cette problématique.

Pr. Malk Benzeggagh
UTC, Laboratoire Roberval
Président du Comité d'Organisation des JNC14

Les Matériaux Composites au Laboratoire de Mécanique et Physique des Matériaux (UMR CNRS 6817), Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et Aérotechnique (ENSMA) Poitiers - Site du Futuroscope

Par Marie Christine Lafarie-Frenot, Professeur à l'Université de Poitiers.

Les activités de recherche du LMPM relèvent des domaines de la physique du solide, de la science des matériaux, de la mécanique des matériaux et des structures. L'objectif commun à l'ensemble des recherches est d'expliquer les propriétés des matériaux en relation avec l'état structural initial ou avec les modifications de structure et/ou les processus de détérioration qui surviennent sous les effets couplés des sollicitations mécaniques, de la température et de l'environnement. Les études concernent tous les matériaux dits 'avancés', dans le cadre d'utilisations extrêmes : de sollicitations mécaniques, de température, de durée ... De plus, du fait de la double étiquette de l'école d'ingénieurs à laquelle il est associé - Mécanique et Aérotechnique – le laboratoire a de nombreuses collaborations contractuelles avec les industries relevant des domaines du transport (aéronautique, automobile, maritime...) et de la production d'énergie (moteurs

aéronautiques, industrie nucléaire...). C'est dans ce contexte que les recherches sur les matériaux composites se sont développées, dès le début des années 1980, sous l'impulsion du professeur Denys Gamby, nouvellement nommé à l'ENSM. Depuis lors, selon les avancées techniques et scientifiques des travaux et la conjoncture économique qui a conduit à des soutiens industriels versatiles, plusieurs axes de recherches ont concerné les matériaux composites. Les brèves descriptions de ces travaux qui vont suivre sont classées par type de matériaux, mais ce classement correspond généralement aussi au champ applicatif qui leur correspond.

1. Stratifiés composites à fibres continues de carbone et matrice polymère

Les recherches concernant ces matériaux ont été continues au LMPM durant les 25 dernières années... Elles ont été la plupart du temps conduites avec le soutien des entreprises aéronautiques : Aérospatiale, devenue EADS, Dassault Aviation.... Plusieurs aspects du comportement mécanique des stratifiés composites carbone polymère ont été abordés, à la fois expérimentalement et théoriquement : l'endommagement par microfissuration matricielle, le comportement visco-élastique et/ou viscoplastique ; le rôle de multiples facteurs intrinsèques ou extrinsèques ont été appréhendés : la nature des constituants (matrice thermodurcissable ou thermoplastique), la séquence d'empilement, la géométrie (facteurs d'échelle), le type de sollicitation (chargement quasi-statique, fluage-recouvrance, fatigue, cyclage thermique...), la température et la nature de l'environnement gazeux (azote, air, oxygène...)....

Le problème est abordé par trois approches complémentaires :

- Des essais instrumentés permettent de solliciter les échantillons et de créer des endommagements dans des conditions contrôlées. Des séquences d'empilement « modèles » sont choisies afin de favoriser tel ou tel aspect du comportement à atteindre.
 - Des observations fines par microscopie optique et électronique à balayage, par radiographie X, des mesures de déformations par diverses techniques, ponctuelles ou de champ (jauges extensométriques, extensométrie laser, granularité-laser, corrélation d'images numériques ...) permettent de caractériser le comportement et/ou les endommagements.
 - Des modèles semi-analytiques ou numériques de l'évolution des champs de contraintes produits localement sont alors proposés, homogénéisés et testés dans des conditions d'essais nouvelles. D'autres types de modélisations plus phénoménologiques ont aussi été envisagés.
- **Fatigue : caractérisation et modélisation mésoscopique des endommagements induits par des sollicitations cycliques**

Cet axe de recherches concerne l'étude approfondie du premier type d'endommagement observé lorsque des composites stratifiés sont sollicités en fatigue : la multi-fissuration de la matrice le long des fibres. Ce type d'endommagement peut se manifester très rapidement sous l'effet de sollicitations cycliques, mécaniques ou thermiques. Lorsqu'elle ne dépasse pas un certain seuil, cette forme d'endommagement peut être tolérée par les constructeurs ; par contre, lorsqu'elle atteint son état de saturation, elle est alors suivie d'autres modes de dégradation bien plus destructeurs (délaminages, ruptures de fibres...) dont l'apparition doit absolument pouvoir être évitée et donc prévue.

Composites à matrice thermodurcissable

Une connaissance approfondie des mécanismes de fissuration matricielle et des paramètres influents s'est construite progressivement : les processus d'amorçage, de multiplication, de propagation et de saturation des fissures matricielles ont été soigneusement décrits en fonction des paramètres expérimentaux envisagés. Un modèle bidimensionnel d'une plaque stratifiée croisée multi-fissurée a alors été élaboré (C. Gardin) et a permis d'obtenir une expression semi-analytique du taux de restitution d'énergie associé à la fissuration matricielle transverse, fonction d'une variable adimensionnelle dépendant de la densité de fissures. Cette approche a permis d'obtenir, dans le cas de stratifiés croisés de carbone-époxy (T300/914) sollicités en fatigue (traction ondulée), un critère d'amorçage des fissures en mode I d'ouverture ainsi qu'une loi phénoménologique de propagation des fissures. Par la suite cette approche a été validée dans le cas d'autres drapages sollicités en fatigue uniaxiale.

Les clichés par radiographie X pris à différents stades de la durée de vie d'une plaque stratifiée soumise à une sollicitation de fatigue, montrent que les fissures apparaissent sur les bords libres et se propagent vers le cœur de la plaque (figure 1). Une modélisation phénoménologique de l'évolution de la répartition de l'endommagement dans la largeur de l'échantillon au cours d'un essai de fatigue a été proposé ; elle correspond à deux équations classiques de la Physique Mathématique : la loi de Fick et l'équation du Trafic.

Composites à matrice thermoplastique

L'objectif de ce travail était de comprendre comment la grande ductilité d'une matrice polymère thermoplastique (PEEK), ainsi que la qualité des interfaces (PEEK/carbone), pourraient améliorer la résistance à la fatigue des composites, comparativement à celle des composites à matrice époxyde fragile. De fait, nous avons montré que la meilleure ténacité de la résine PEEK était un facteur défavorable à la résistance à la fatigue des stratifiés croisés fortement confinés : dans ce cas, l'absence de multi-fissuration matricielle, consommatrice d'énergie, conduit à une localisation précoce de l'endommagement, précipitant ainsi la rupture des fibres et donc du stratifié.

- **Prise en compte du comportement viscoélastique dans la compréhension et la modélisation prédictive de l'endommagement de stratifiés composites soumis à des chargements thermomécaniques de longue durée et/ou à températures élevées**

Dans un premier temps, un modèle prédictif du comportement viscoélastique à long terme d'un stratifié de drapage quelconque a été développé (sans endommagement). On a introduit dans ce modèle, identifié par des essais à court terme réalisés sur des drapages simples, un « temps réduit » répondant à un principe d'équivalence temps/contrainte. Une technique d'homogénéisation permet alors de reconstituer le comportement à court terme d'un empilement quelconque, puis, dans un deuxième temps, de prévoir son comportement à long terme, dans les conditions réelles de température. Des essais à long terme ont permis de valider le modèle ainsi construit, du moins sur une décade de l'échelle des temps.

Dans un deuxième temps, l'influence de la vitesse de déformation et de la température sur la fissuration matricielle a été appréhendée, tout d'abord expérimentalement, puis théoriquement. Avec cet objectif, le caractère viscoélastique du matériau ainsi que son comportement fortement non-linéaire ont été introduits dans le calcul global d'un stratifié fissuré. Les calculs montrent que seule

la dépendance à la vitesse de sollicitation de la valeur critique du critère de rupture permet de prédire correctement les courbes de fissuration, et ce quel que soit le critère de rupture utilisé (en contrainte, en déformation ou en énergie). Ce résultat revient à ne prendre en compte le caractère viscoélastique du matériau que dans les zones endommagées au voisinage des fronts de fissure.

Une extension de cette approche à l'endommagement par fatigue est en cours : l'influence notable de la fréquence du chargement cyclique sur les cinétiques de fissuration de ces mêmes matériaux, particulièrement à température élevée, devrait pouvoir être prévue à partir des mêmes concepts.

▪ **Comportement mécanique de stratifiés composites troués**

Cet axe de recherches a permis en partie de développer des méthodes de mesures optico-numériques de champs de déplacements. Dans un premier temps, la méthode de granularité laser a été adaptée au laboratoire par F. Lagattu et J. Brillaud puis a évolué vers la technique de corrélation d'images numériques de mouchetis. Ces méthodes ont été utilisées pour la détermination des champs complets de déplacements et de déformations planes au voisinage de trous pour des plaques stratifiées sollicitées en traction ou en compression. L'influence significative du comportement de la matrice (thermodurcissable fragile ou thermoplastique) sur les déformations résiduelles, les endommagements et la résistance à la rupture des structures trouées a été mise en évidence. Une première approche expérimentale de l'influence des contraintes locales dues à un boulonnage sur la résistance mécanique a été réalisée (figure 2). Ces méthodes optiques sont actuellement adaptées à des échelles d'observation bien inférieures : la faisabilité de la mesure des champs de déplacements sous MEB est dès à présent démontrée.

▪ **Étude et prévision du vieillissement de structures composites à matrice organique soumises à des chargements thermomécaniques répétés**

L'étude de l'endommagement par cyclage thermique de stratifiés composites aéronautiques a été initialement motivée par l'application « avion supersonique civil » qui a conduit à la création d'un Réseau de Recherches et d'Innovation Technologique soutenu par le MENRT (RRIT Supersonique, 2000-2002 puis 2002-2004). Grâce à un montage expérimental original développé au laboratoire permettant de réaliser des cyclages thermiques sous environnement gazeux contrôlé, on a mis en évidence une importante accélération des processus d'endommagement en présence d'un environnement oxydant. Au cours d'un cyclage thermique, sous air ou sous oxygène, cette accélération est due à un COUPLAGE entre :

- l'oxydation de la matrice qui se traduit par un retrait superficiel de celle-ci par rapport aux fibres, créant ainsi des sur-contraintes locales, ainsi que par une détérioration de ses propriétés mécaniques. Ces deux phénomènes favorisent l'amorçage de fissures matricielles dans les zones en contact avec l'environnement oxydant (figure 3),
- la fissuration par fatigue de la matrice, les variations cycliques de température induisant des variations cycliques de contraintes dans les différentes couches du stratifié.

De par la nature « superficielle » de l'oxydation, le calcul de l'état de contraintes local, i.e. sur les bords de l'échantillon en contact avec l'environnement oxydant, a permis d'expliquer les différences de cinétiques d'endommagement observées selon l'architecture de l'empilement et selon le type de sollicitation mécanique.

2. Assemblages collés

Durant les années 90, quelques études concernant les assemblages collés rencontrés dans la construction navale ont été réalisées en partenariat avec IFREMER et la DCN. On peut citer celle concernant la dégradation dans l'eau d'assemblages acier-composites verre-polyester, collés par un adhésif époxyde. Cette étude a révélé que la rupture de l'assemblage, adhésive ou cohésive dans le composite, est la conséquence de mécanismes d'endommagement couplés, d'origines physique (diffusion, absorption d'eau) et mécanique. En effet il a été montré que le chemin de diffusion de l'eau était piloté par le gradient de contraintes rencontré dans le joint : l'adhésif, par absorption d'eau, gonfle, sa ténacité se dégrade, guidant ainsi le chemin de fissuration. Parallèlement à ces études expérimentales, un travail plus théorique a permis d'établir des critères de rupture prenant en compte la mixité des modes d'ouverture rencontrés dans la rupture de tels assemblages, plus ou moins 'dissymétriques'.

Très récemment, J.C. Grandidier ayant rejoint notre laboratoire, a repris cette problématique et développe des modèles de comportement de polymères couplant la mécanique, la diffusion et/ou la réaction d'espèces. La mise au point théorique de ces modèles et leur implémentation dans un code de calcul de structures devrait permettre de réelles avancées dans la prédiction de la durabilité des assemblages collés.

3. Composites à base de polymères recyclés et de fibres végétales.

Dès le début des années 2000, un axe de recherches a débuté au laboratoire en partenariat avec l'ADEME et la Région Poitou-Charentes. Il s'inscrit dans la problématique du « développement durable » et dans la proposition d'une voie de recyclage des déchets plastiques en les utilisant éventuellement comme matrice dans des composites à charges ou renforts d'origine végétale : des « éco-matériaux ». Plusieurs types de matrices ont été envisagés (PP, PEhd...), et ont été recyclées plusieurs fois par broyage mécanique. Les renforts envisagés correspondent à des matériaux issus de l'agriculture ou de déchets de l'industrie du bois (fibres de chanvre, fibres d'épicéa...)

Dans le PP, la mise en correspondance des évolutions de microstructure et de propriétés mécaniques a mis en évidence l'apparition d'une transition ductile-fragile après un certain nombre de recyclages mécaniques. D'autre part, l'étude morphologique des composites a montré l'apparition progressive de la phase cristalline bêta dans le PP lorsque le taux de renfort augmente. On a par ailleurs constaté qu'à partir de 30% de fibres ajoutées, la loi de comportement du composite obtenu ne dépendait plus du nombre de recyclages subis par le polymère.

Enfin, pour ces matériaux renforcés ou non, une première approche de détermination des paramètres d'une loi de comportement simple a été proposée, par méthode inverse, à partir des champs de déformations mesurés par corrélation d'images numériques en pointe de fissure.

Cet axe de recherches est actuellement étendu à l'étude du recyclage de composants semi-structuraux en PP de l'industrie automobile, dans le cadre d'une ACI du réseau RT3 du ministère.

4. Conclusion

Des recherches concernant la durabilité des matériaux composites à matrice polymère se sont déroulées continûment au LMPM durant ces 25 dernières années. Elles ont permis de développer des outils expérimentaux spécifiques originaux et d'acquérir une connaissance approfondie du comportement mécanique de ces matériaux, et plus particulièrement de leurs mécanismes d'endommagement. La plupart des sollicitations mécaniques et thermiques rencontrées ont été étudiées, associées à diverses conditions environnementales d'usage, selon le type d'application structurale considérée.

Contact :

Pr. M. C. Lafarie-Frenot
LMPM, ENSMA
1 Avenue Clément Ader
B.P. 40109
86961 Futuroscope - Chasseneuil

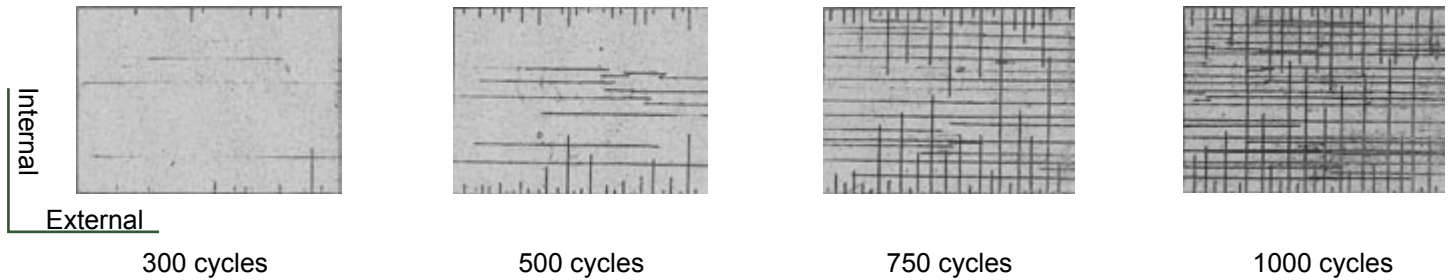


Figure 1: Fissuration progressive de stratifiés composites carbone – époxyde $\{0,90\}_S$ soumis à des cycles thermiques (-50°C/150°C) sous oxygène.

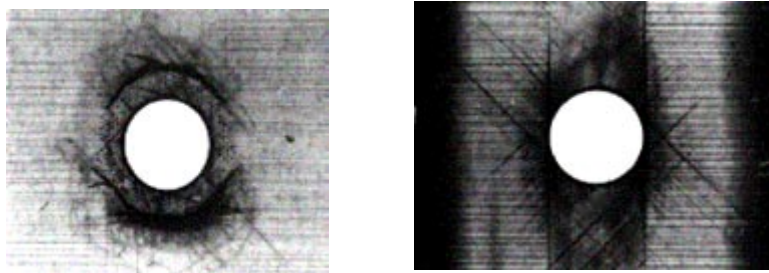


Figure 2 : Radiographies X à 97% de la charge à rupture en traction d'un stratifié carbone/époxy
(a) : troué boulonné ; (b) : simplement troué.

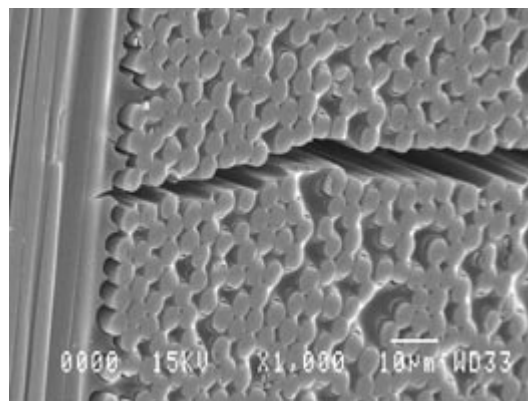


Figure 3 : Aspect des endommagements observés sur le chant d'un stratifié ayant subi 500 cycles thermiques (-50°C/180°C) sous air : retraits, décohésions, fissure transverse.

Remise des Prix Daniel Valentin 2002 et 2003 lors des JNC14 à l'Université Technologique de Compiègne en Mars 2005

De gauche à droite : M. Benzeggagh (Président du Comité Organisation des JNC14), C. Dubois (Chargé du Prix D. Valentin), J. Lamon (Président de l'AMAC), Yves Rémond (Trésorier de l'AMAC) et les trois Lauréats.

Photographie de gauche

Les Lauréats du Prix Daniel Valentin. De gauche à Droite : Alberto DIAZ-DIAZ (2002), Francis REBILLAT (2003) et Gilles LUBINEAU (2003 également) (cf. AMAC INFOS n^{os} 17 et 19).

Photographie de droite



AGENDAMAC

Vous trouverez les éléments descriptifs de ces conférences directement sur leurs propres sites Internet.

• Conférences organisées ou parrainées par l'AMAC

JST Choc Impact Crash

Bordeaux, 29 Septembre 2005

JST AMAC « Comportement de matériaux et structures composites au choc, impact et crash »

Contact : F. Meraghni (ENSAM CER Metz) ; Tel : 03 87 37 54 59 ; fodil.meraghni@metz.ensam.fr ;
L. Guillaumat (ENSAM LAMEFIP Bordeaux) ; Tel : 05 56 84 53 63 ;
laurent.guillaumat@lamef.bordeaux.ensam.fr
Plaquette annonce / inscription disponible sur site : www.amac-composites.asso.fr

COMPTTEST 2006

Porto, 10-12 Avril 2006

Composites Testing and Model Identification

Contact : Dr Pedro Camanho ; Phone: + 351 22 5081716 ; e-mail : comptest2006@fe.up.pt
Fax: + 351 22 5081584 ; Site : www.fe.up.pt/comptest2006

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 : www.fe.up.pt/ECCM12 → <http://paginas.fe.up.pt/ECCM12>

• Autres conférences

THEPLAC 2005

Lecce, Italie, 15-16 Septembre 2005

International workshop on thermoplastic matrix composites

Contact :

ROMA MULTISRVIZI ; e-mail : theplac@cetma.it ;
tel / fax : +39-0832-231822 ; Site : www.cetma.it/theplac2005

ICSAM 2005

Bucarest, 15-17 Septembre 2005

International Conference on Advanced Materials

Contact :

e-mail : icsam@forum.resist.pub.ro ; Site : www.icsam.go.ro

ORGAGEC

Nantes, 4-5 Octobre 2005

Orgagec – Matériaux organiques pour le Génie Civil et la construction

Contact :

Dr. Guy Auburtin, CNAM – IHIE Ouest ; Tel : 02 41 66 10 60
e-mail : g.auburtin@cnam-paysdelaloire.fr ;
Site : www.cnam-paysdelaloire.fr/orgagec/

Filament Winding 2005

Bruxelles, 12-14 October 2005

Third international convention and exhibition for filament winding of composite materials

Contact :

Ms. Konny Weber ; Tel: +32/2/715 94 94 ; Fax: +32/2/715 94 90
e-mail : info@filamentwinding2005.com ; Site : www.filamentwinding2005.com

CANSMART 2005

Toronto, 13-14 Octobre 2005

8^o International Workshop on Smart Materials and Structures

Contact :

Pr. George AKHRAS ; e-mail : akhras@rmc.ca ; Site : www.cansmart.com

ICAFPM 2005

Shanghai, 19-21 Octobre 2005

2005 International Conference on Advanced Fibers and Polymer Materials

Contact :

Dr. Qinghua Zhang ;
e-mail : icafpm2005@dhu.edu.cn ; Site : www.dhu.edu.cn/icafpm2005/

EUROMECH 473

Porto, 27-29 Octobre 2005

Fracture of Composites Materials

Contact :

Secrétariat : Mrs Fernanda Fonseca ; fax : +351 22 508 1584 ;
e-mail : ffonseca@fe.up.pt ; Site : www.fe.up.pt/EUROMECH473
Chairman : Pr. A. Torres-Marques ; e-mail : marques@fe.up.pt

7^oISFRPCS

New Orleans, 7-10 Novembre 2005

7th International Symposium on FRP Reinforcement for Concrete Structures

Contact :

Carol Shield ; e-mail : ckshield@umn.edu ; Site : http://frprcs7.ce.umn.edu

BBFS 2005

Hong Kong, 8-10 December 2005

International Symposium on Bond Behaviour of FRP in Structures

Contact :

Fax : (852) 2334- 6389) ; e-mail : iifc@iifc-hq.org ; Site : www.iifc-hq.org/

COMAT 2005

Buenos Aires, 11-14 Décembre 2005

Int. Conf. on Science & Technology of Composite Materials

Contact :

Dr. Analia Vazquez ; e-mail : comta@fi.mdp.edu.ar
Fax : 54 223 481 0046 ; Site : www.comat.fi.mdp.edu.ar

Composites Manufacturing for Aircraft Structures**Contact :**

Marcelo Müller ; Tel : + 31 527 248792 ; e-mail : iscm@nlr.nl
Site : <http://iscm.nlr.nl/>

ICMCM-14**Riga, Lettonie, 29 Mai – 2 Juin 2006****14° Int. Conf. On Mechanics of Composite materials****Contact :**

Dr. K. Cirule ; e-mail : cirule@pmi.lv ; fax : +371-7820467
Site : www.pmi.lv/Conference/index.htm

FPCM-8**Douai, 11-13 Juillet 2006****8° Flow Processes in Composite Materials****Contact :**

Pr. Ch. Binetruy ; Tel: + 03 27 71 21 75 ; e-mail : binetruy@ensm-douai.fr
Site : www.ensm-douai.fr/fpcm8

Elections du Conseil d'Administration de l'AMAC 2005 :

La constitution du C.A. et la répartition des tâches seront publiées dans AMAC INFOS n° 22

Adhésions :

Formulaire téléchargeable sur le site de l'AMAC : 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

SITE WEB - AMAC

<http://www.amac-composites.asso.fr>

(formulaire d'adhésion téléchargeable)
