



EDITORIAL

LES COMPOSITES S'ENVOLENT DANS L'AIRBUS A380

Par Jérôme PORA, AIRBUS S.A..S.

Et

Jacques CINQUIN, CCR EADS



1 - L'AIRBUS A380 et les matériaux composites



Par Jérôme PORA,
Responsable matériaux,
Programme A380, Airbus
S.A.S.

Une grande partie de la structure de l'Airbus A380 sera fabriquée à partir des dernières générations de matériaux composites à matrice organique et d'alliages métalliques. Outre le gain de masse qu'ils procurent par rapport aux matériaux traditionnels, ces nouveaux matériaux offrent des avantages importants en terme de fiabilité opérationnelle.

En ce qui concerne les matériaux composites, l'Airbus A380 sera le premier appareil doté d'un caisson central de voilure

en composites à matrice organique renforcée de fibres de carbone.

Pour le caisson de dérive, la gouverne de direction, l'empennage horizontal et les gouvernes de profondeur, une conception monolithique en composite à matrice organique renforcée de fibres de carbone a été adoptée, comme sur les programmes précédents. Ici, le principal défi réside dans la taille des pièces. L'empennage horizontal de l'Airbus A380 a une taille semblable à celle de la voilure d'un Airbus A310.

Comme pour le caisson central de voilure, la taille des pièces justifie ici l'usage intensif de la technologie de dépose automatique de préimprégnés. La cloison pressurisée arrière sera également en composite à matrice organique renforcée de fibres de carbone. Pour cette pièce de plus de 6 mètres de diamètre, c'est le procédé «Resin Film Infusion» qui a été retenu.

Derrière cette cloison étanche arrière, tout le reste du fuselage, non pressurisé, sera en matériaux composites à fibres de

carbone, à l'exception des cadres les plus chargés qui resteront métalliques. Compte tenu de la forme à double courbure des panneaux de fuselage dans cette partie de l'avion, c'est la technologie de placement de fibres qui a été sélectionnée pour réaliser les peaux.

Cette technologie a aussi été retenue pour les peaux de nacelles en composite à matrice organique renforcée de fibres de carbone, de conception monolithique.

Les traverses du plancher supérieur seront également en composite à matrice organique renforcée de fibres de carbone. Comme pour certaines parties du caisson central de voilure, on utilisera ici des fibres de carbone à module d'élasticité intermédiaire. C'est un procédé de pultrusion qui a été retenu.

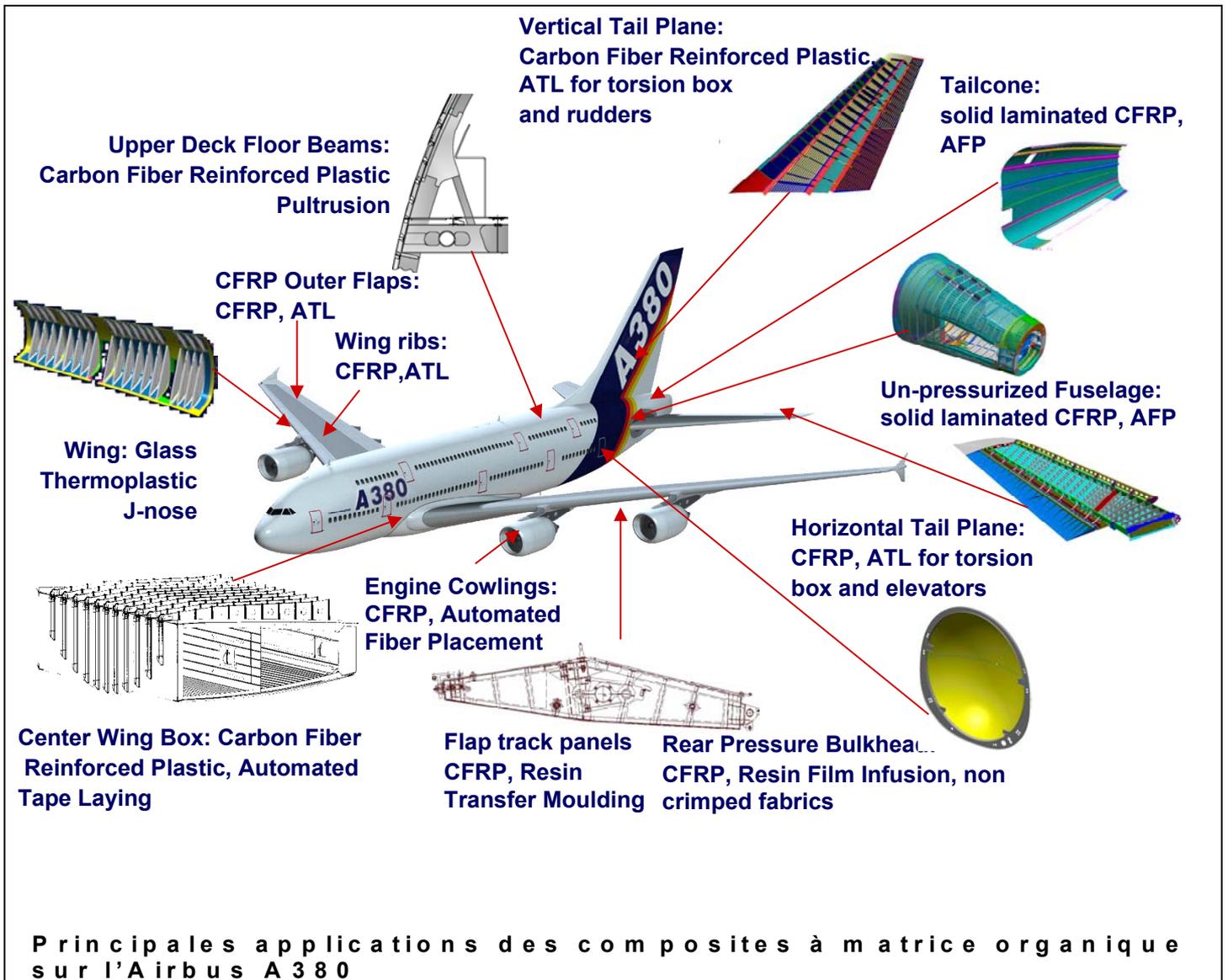
Comme sur les Airbus A340-500 et 600, les bords d'attaque fixes seront fabriqués avec des composites à matrice thermoplastique renforcée de fibres de verre.

Sur l'Airbus A380, les rails de volets seront de conception hybride, avec

une structure caisson dotée de nervures métalliques et de panneaux latéraux en composite à matrice organique renforcée de fibres de carbone produits par le procédé «Resin Transfer Moulding».

Des structures sandwich, avec des peaux en matériaux composites à fibres de carbone ou tissu hybride carbone-verre et des âmes en nida de faible masse volumique, seront utilisées sur le carénage ventral, les portes de trains d'atterrissage, et les capotages aérodynamiques de la voilure ainsi que sur certaines parties mobiles. La technologie «Resin Transfer Moulding» a été retenue pour certaines charnières de parties mobiles quand la complexité des formes le justifie, ainsi que sur les charnières de portes d'accès des passagers.

Enfin, alors que les surfaces de voilure seront composées de nouveaux alliages d'aluminium, certaines nervures de voilure seront en composite à matrice organique renforcée de fibres de carbone.



2 - LES MATERIAUX COMPOSITES EN AERONAUTIQUE : DE LA RECHERCHE AUX APPLICATIONS.



Par Jacques CINQUIN
EADS CCR, Service
Matériaux composites et
organiques.

L'industrie aéronautique est encore aujourd'hui une industrie qui participe fortement au développement des matériaux composites haute performance (matrice organique avec renfort fibres des carbone). Le principal avantage procuré par cette famille de matériaux est le gain de masse par rapport aux autres matériaux comme les alliages d'aluminium couramment utilisés en construction aéronautique. Aujourd'hui, les pièces de structure les plus fortement chargées d'un avion sont produites en matériau composites (fibres de

carbone dans une matrice époxyde). Pour en arriver à ce niveau d'utilisation, des étapes intermédiaires ont été réalisées avec tout d'abord une introduction sur des pièces de structure secondaires faiblement chargées mécaniquement (non vitale en cas de rupture). Petit à petit, les retours d'expérience aidant, les pièces de structure primaires les plus chargées (perte de l'appareil en cas de rupture de la pièce) ont été réalisées en composite. Toutes ces innovations n'ont pas été réalisées que grâce à la levée de points

durs par la mise en place de programmes de recherche et développement en amont des préoccupations à court terme des sites de production.

Polymérisation et performances.

Les pièces de structures composites, qui aujourd'hui sont fabriquées principalement à partir de matrices therm durcissables, ont des propriétés qui dépendent essentiellement du taux de réticulation et de la température maximale atteinte lors de l'étape de polymérisation de la

matrice. Le thème de recherche « relations structure/propriétés » est un thème majeur qui a fédéré des connaissances importantes et vitale pour l'utilisation des composites. C'est principalement le cas pour les propriétés mécaniques et les allongements à rupture de la matrice qui sont fortement dépendants du taux de conversion obtenus. Des matrices « sous polymérisées » peuvent présenter un comportement fragile inacceptable pour une utilisation sur une pièce de structure. C'est aussi le cas pour la température de transition vitreuse qui dépend pour les matrices époxydes très fortement de la température maximale atteinte lors de la polymérisation. Cette température de transition vitreuse aidera à déterminer la température limite d'utilisation en température des pièces composites. Si un cycle de production optimisé en température durée et pression permet d'obtenir des pièces de bonne qualité sans porosité avec une bonne répartition fibre matrice homogène et des taux de fibres important (60% en volume), les dérives par rapport aux cycles théoriques sont toujours possibles en production et la connaissance de la robustesse des performances par rapport aux dérives de cycles est une nécessité. L'introduction de toute nouvelle matrice pour la réalisation de pièces composite passe obligatoirement par une optimisation du cycle de polymérisation industriel prenant en compte l'étape de gélification qui doit être réalisée de façon homogène sur l'ensemble de la pièce pour éviter de trop grandes disparités d'évolution de propriétés du

matériau pendant la mise en œuvre. Cette optimisation de cycle doit aussi maîtriser l'exothermie de la résine lors de la polymérisation pour éviter les surchauffes locales qui peuvent entraîner une dégradation de la matrice et des défauts ponctuel. Ceci est d'autant plus vrai que les pièces réalisées aujourd'hui présentent des épaisseurs importantes pouvant atteindre 5 centimètres. La mise en place d'outils de simulation de polymérisation permettant de prédire les évolutions de viscosité et de taux de transformations obtenus par rapport aux cycles thermiques appliqués en prenant en compte les cinétiques de réaction des matrices utilisées à été un point important pour le développement de cycle industriels optimisés et reste un point de recherche important lors de l'introduction de nouvelles matrices.

Contrôles qualité et garantie des propriétés.

L'introduction des composites dans la construction aéronautique n'a été possible que grâce au développement de nouvelles techniques de contrôle des pièces composites. L'enjeu était de proposer de nouvelles méthodes de contrôle adaptées aux matériaux composites capable de détecter des délaminages, des porosités, des oublis de papier séparateur... Les différents travaux réalisés ont abouti à l'utilisation des ultra sons en mode simple ou double transmission avec exploitation des cartographies C-SCAN. Le traitement du signal ultra son en amplitude (absorption) permet par rapport à des références saines d'estimer des classes de santé matières et de rebuter ou non les pièces fabriquées. La

détection d'un écho intermédiaire permet d'identifier la présence d'un délaminage dans le composite et de proposer si nécessaire une opération de réparation. Les techniques de contrôle ultra son classique nécessitent l'utilisation d'un agent couplant ou de travailler en immersion dans une piscine. Des travaux de recherche récents explorent des solutions pour proposer des méthodes de contrôle ultra son sans contact pour simplifier et diminuer les coûts de contrôle des pièces composites.

Des matériaux adaptés et performants.

Pour la fabrication de pièces composites hautes performances, la présentation des matériaux de base sous forme de semis produits préimprégnés présentant des feuilles de résine intimement mélangées aux fibres de renfort a permis de développer l'industrialisation de la fabrication des pièces composites. Les travaux de recherche menés pour aboutir aux préimprégnés utilisés aujourd'hui sont passés successivement par :

- une optimisation du taux de résine des préimprégnés pour pouvoir travailler avec des produits présentant directement les taux de renfort désirés sur les pièces finale en éliminant de ce fait toutes les opérations délicates de pompage de résine excédentaire pendant la mise en œuvre des pièces.

- Une optimisation de la rhéologie de la matrice (B stage) pour obtenir un produit présentant une certaine pégosité adaptée à l'utilisation sur machine à draper automatique et une durée de vie acceptable en condition atelier.

- Une optimisation de l'interface/interphase fibre/matrice avec

développement de traitements de surface des fibres et de produits d'ensimages adapté à la réalisation de composites permettant de transférer sur pièce le maximum des propriétés des fibres de renfort.

- Une optimisation de la morphologie du préimprégné pour favoriser la formation d'inter couche de résine entre les plis tout en évitant la formation de zone de fibres sèches, pour augmenter les performances de tolérance aux dommages des composites.

- Une optimisation de la composition des formulations pour présenter des matrices avec de bonnes performances mécaniques, une ductilité élevée, une tenue en température élevée, des cycles de mise en œuvre simples, une bonne tenue au vieillissement humide et aux agressions chimiques.

L'aboutissement de tous ces travaux de recherche aboutit aujourd'hui à présenter des préimprégnés standards avec 270 g/m² de fibres de carbone unidirectionnelles par exemple, 34% de taux de résine en masse, une matrice composée de résine époxyde avec durcisseur aminé et un matériau thermoplastique en solution pour adapter la viscosité et augmenter les propriétés de ductilité. La température de polymérisation est de l'ordre de 180°C avec des cycles de mise en œuvre qui présentent des durées de l'ordre de 6 à 7 heures au minimum.

D'autres solutions ont été développées en parallèle avec les techniques d'injection de résine sur préformes fibreuses (RTM). Aujourd'hui les travaux de recherche dans ce domaine ont pour objectif de proposer des produits

permettant de réduire les coûts comme des préimprégnés plus épais pour limiter les temps de drapage, l'intégration de fonction en limitant les assemblages, des produits de type semi-imprégnés pour limiter les temps de mise en œuvre aussi bien lors de la réalisation du préimprégné que lors de la réalisation des pièces composites, ou des produits avec des cycles de polymérisation de faible durée et ne nécessitant pas de moyens lourds comme les autoclaves.

Il ne faut pas perdre de vue que lors de l'introduction des composites hautes performances, les fibres de carbone étaient à des prix très élevés. (le prix du préimprégné était constitué majoritairement par le prix de la fibre de carbone) Les prix des fibres de carbone ayant très fortement baissé le prix d'un préimprégné est aujourd'hui constitué à part égale par la fibre et la matrice.

Industrialisation et réduction des coûts

Dès le début de l'introduction des matériaux composites sur les pièces de structure aéronautique, la question d'industrialisation et de réduction des coûts s'est posée. Des travaux importants ont été réalisés pour proposer des solutions industrielles de fabrication automatique de pièces composites.

Pour la filière matrice thermodurcissable des solutions ont abouti sur la

mise en place de machines à draper automatique, de machines à bobiner et de machines à placement de fibre. Toutes ces solutions déposent des nappes ou des mèches préimprégnées de façon automatique pour obtenir en final une pièce composite avec les séquences d'empilement désirées prête à être polymérisée.

Pour la filière injection sur préformes fibreuse, l'intégration de fonction est le principal facteur de gain de coût, et les principaux travaux de recherche ont porté sur l'optimisation des moules et le développement d'outil de simulation d'injection en prenant en compte la viscosité de la résine et la perméabilité des préformes. Les axes forts de recherches dans ce thème pour le futur sont les techniques de réalisation de préformes et d'assemblage de préformes à faible coût.

Pour la filière thermoplastique, les principaux travaux de recherche ont porté sur le développement des techniques d'estampage à chaud avec prise en compte des paramètres de refroidissement et le développement des techniques de placement de fibre avec fusion consolidation en continu. La fabrication des pièces composites a aussi nécessité la maîtrise des techniques de détournage, d'usinage et de perçage des composites avec la mise en place d'outils adaptés.

Tolérance aux dommages et réparabilité

L'introduction des matériaux composites a suscité de nombreux travaux de recherche sur le thème de la tolérance aux dommages, de la propagation de délaminage et de la réparabilité des structures composites réalisées en sandwich ou en monolithique. Sur les composites monolithiques la principale question est de prévoir la tenue résiduelle d'une structure en fonction d'une taille de défaut et de prévoir aussi la propagation ou non du défaut en fonction du chargement de la structure. Les principaux travaux de recherche ont pris en compte cette problématique et il existe aujourd'hui des outils de simulation encore perfectibles qui donnent des premières réponses à ces questions permettant de déclencher ou non les opérations de réparation. Sur les composites sandwich se pose en plus la question d'étanchéité de la structure vis à vis de l'eau qui peut imposer une réparation cosmétique.

Durabilité et stabilité des performances.

Les matrices organiques des composites sont des matériaux sensibles à la température et à l'humidité. Les pièces aéronautiques étant soumises à des environnements thermiques et hydriques la connaissance de l'influence de ces paramètres sur les caractéristiques et les performances des matériaux composites s'est

avéré être une nécessité. La connaissance du comportement du matériau, en présence d'humidité ou de température de service élevée (abattement des performances, cinétique de reprise d'humidité ou de thermodégradation, interaction de l'humidité ou effet de la température sur la matrice...) est indispensable pour construire des modèles fiables de prédiction de durée de vie de structures par rapport aux conditions d'utilisation rencontrées. La connaissance des interactions entre tous ces paramètres est un point clé pour la précision des modèles de prédiction qui fait l'objet de travaux de recherche nombreux.

Pour conclure en quelques mots, les matériaux composites sont passés durant ces 40 dernières années du stade de développement avec établissement des connaissances de base et début d'introduction sur les produits aéronautiques au stade de la consolidation des connaissances et d'une utilisation industrielle. Ces matériaux ont encore un passé relativement récent en comparaison aux autres matériaux traditionnellement utilisés, et les travaux de recherche et développement à mener doivent être encore nombreux avant de maîtriser toutes les propriétés et les comportements de ces matériaux.



Compte-rendu de mission au Japon

16-18 Avril - Symposium Euro - Japonais sur les Matériaux Composites

1. Introduction

Le Symposium sur les Matériaux Composites intitulé "Creation of the Safety and Comfortable Space with Composite Wraps", s'est tenu à Tokyo (Japon) les 16 et 17 Avril 2002 à l'Université "Tokyo University of Science". Ce lieu d'accueil s'explique par le fait que le Pr. Fukuda, qui enseigne à cette université, était "Chairman" de ces journées. Il était secondé dans cette tâche par le Pr. Kemmochi de l'Université de Shinshu et le Dr. Tsuda du Smart Structure Research Center (AIST) de Tsukuba.

Ce Symposium s'inscrivait dans l'histoire des relations avec le Japon qui ont commencé en 1986 sous l'impulsion du Pr. Kemmochi, à cette époque Ingénieur au Chemical Research Center (AIST) de Tsukuba et le Pr. Bathias (France) professeur au CNAM. Ces manifestations ont lieu tous les 2 ans alternativement en Europe et au Japon.

Ce symposium a été soutenu côté Japonais par la Japan Industrial Technology Association (JITA), la Tsukuba Foundation for Chemical and Bio-Technology et côté Européen, par l'Ambassade de France au Japon, l'Association pour les Matériaux Composites (AMAC) et l'Association Européenne des Matériaux Composites (EACM).

Au total la participation a été honorable puisqu'on dénombre 64 participants dont 49 japonais. On notera l'importance de la délégation française puisque sur une participation européenne de 15 scientifiques, on dénombre : 11 Français, 1 Allemand, 1 Anglais, 1 Espagnol, 1 Belge.

Le thème retenu qui concernait les réparations de structures à l'aide de drapages composites, a fait l'objet de plusieurs sessions dont les thèmes étaient :

- les réparations et les différentes techniques utilisant des drapages composites.
- le développement et l'utilisation de "smart" techniques pour mesurer les contraintes et enregistrer les endommagements.
- La compréhension et l'analyse des procédés de fabrication.

L'analyse de ces trois sous-thèmes peut être la suivante :

2. Réparation de structures à l'aide de drapages composites (15 présentations)

Le problème de la réparation des structures se pose de façon de plus en plus préoccupante en raison du vieillissement des structures, soit sous l'effet du

chargement, soit sous l'effet de l'environnement. Dans ce contexte, les drapages composites trouvent une large application du fait de leur haute résistance mécanique combinée à leur légèreté, leur facilité de mise en place et leur tenue dans le temps (résistance à la corrosion). Ces techniques sont à la fois utilisées :

- pour la réparation de poutres métalliques fissurées ,
- pour les réparations de structures en béton telles que des poutres, des colonnes dégradées avec le temps, des murs, des cheminées, ...
- pour les réparations de structures hydrauliques, ...
- pour les rénovations du patrimoine (des exemples sont fournis au Japon avec les soubassements du château d'Osaka),
- pour les rénovations de structures marines, telles que les phares,

A ces réparations très structurelles viennent s'ajouter celles qui concernent localement la microstructure, afin de reconsolider les matériaux. Des exemples sont fournis pour rigidifier localement des composites (carbone-époxy) et des composites céramiques. Concernant ces derniers, les réparations s'effectuent par l'introduction d'une matrice ou de couches auto cicatrisantes. C'est le cas de composites SiC/Si-B-C utilisés à haute température. La cicatrisation des fissures par le verre formé lors de l'oxydation de la matrice influence l'endommagement et la durée de vie du composite à un point tel que l'on peut suivre la contribution des phénomènes activés par l'oxydation, grâce à l'évolution du module d'élasticité.

L'Université de Kyoto propose des particules de polymères afin d'arrêter ou d'empêcher la propagation des fissures au sein de l'interface des couches composites. Les résultats sont à première vue intéressants puisque l'amélioration de la rigidité est prouvée lorsque les matériaux sont soumis à des sollicitations en mode I et mode II. Toutefois, pour que cette démonstration soit parfaite, il faudrait aussi prouver cette amélioration sous divers types de chargements, soit en compression par exemple.

On peut dégager de toutes ces conférences, deux préoccupations essentielles concernant l'efficacité des réparations :

- 1) le renfort souhaité est-il obtenu ?
- 2) quelle est sa tenue dans le temps ?

Cette dernière question est évidemment liée à l'effet de l'environnement sur les réparations et les effets des modifications physico-chimiques de la matière sous l'effet combiné de l'environnement et des sollicitations mécaniques.

La réponse à la première question est que le renfort souhaité est souvent obtenu tel que le témoigne à la fois les calculs de résistances basés sur les concepts de la Mécanique de la Rupture et les essais sur pièces réparées. Ces deux voies évaluent les facteurs d'intensité de contraintes, ainsi que les taux d'énergie dissipée. Il est

intéressant de noter que ces analyses sont à la fois effectuées sous des chargements quasi-statiques ou de fatigue. Très souvent, on améliore ou on conserve la rigidité d'origine. Toutefois, il est à noter que dès que l'on observe un décollement entre le renfort composite et la structure à renforcer, la dégradation est très rapide. Le décollement croît de façon instable. Pour s'en prémunir, des essais de décollement sont effectués afin de mieux comprendre les cinétiques de décohésions et mieux concevoir les techniques de collage.

Quand les structures de base sont déjà en composite fibre-époxy, le collage des drapages rapportés est bien meilleur et la réparation d'autant plus durable. Des exemples sont fournis dans le cas de structures hydrauliques en matériaux composites ou de réservoirs sous pression recouverts par un enroulement filamentaire.

On peut mentionner aussi l'existence de logiciels basés sur des modèles analytiques, sans doute trop simplistes pour être efficaces ou suffisamment prédictifs. Même s'ils facilitent la tâche industrielle comme première approche, on peut leur reprocher de toujours utiliser un paramètre lié à l'épaisseur du collage entre la structure et les tissus rapportés. Ce paramètre très difficile à appréhender, influence notablement les résultats des calculs si bien que l'aspect prédictif de ces modèles est souvent incertain et sujet à controverse.

Si la réponse à la première question est immédiate en ce sens que le renforcement escompté de la structure est obtenu, la réponse à la deuxième question concernant la tenue dans le temps est plus problématique. Les réponses sont encore très incertaines en ce qui concerne l'évolution dans le temps des résines et des matériaux composites eux-mêmes. Il a été prouvé qu'un environnement humide ou le contact direct avec l'eau accélère les processus de dégradation et ce d'autant plus rapidement que des chargements sont appliqués. Globalement cela conduit à une dégradation de la matière due à des phénomènes d'hydrolyse et de plastification. Pour être totalement convaincu de l'efficacité des réparations, toutes les analyses présentées jusqu'alors doivent être poursuivies en milieu humide et en température. Cette réflexion a fait l'objet de plusieurs présentations ou pour simuler la tenue sur des temps assez longs, les laboratoires proposent des essais accélérés. Cela se traduit par une accélération due à des conditions plus sévères à la fois en température, en humidité et en contraintes. Moyennant des translations dans le temps, les résultats obtenus permettent des prévisions sur le long terme.

Enfin, pour clore la thématique réparation, on notera l'exposé du Pr. Bathias sur la maintenance des avions. Si 80 % des accidents sont dus à des erreurs humaines, la seconde cause d'accident est due à des problèmes de maintenance. Tandis que techniquement, on a observé des améliorations des moteurs, des fuselages, des systèmes de navigation, la maintenance et les procédures associées nécessitent encore de nettes améliorations.

Ces considérations sur la maintenance et le suivi des réparations, font le lien avec les thèmes liés aux différentes techniques utilisées pour évaluer l'état des structures en service.

3. Développement et utilisation de techniques pour mesurer et enregistrer les endommagements (9 présentations).

Les conférences liées à cette thématique ont occasionné des échanges fructueux entre des communautés qui se côtoient rarement à savoir : les réalisateurs de différentes techniques telles que des moyens destructifs ou non, des systèmes d'informations intégrés dans les structures, des capteurs servant à détecter les endommagements ou contrôler les vibrations et les utilisateurs de ces différentes techniques.

Les moyens proposés concernent essentiellement des transducteurs piézoélectriques plan dont certains sont réalisés en composites à fibres céramiques. Les fractions volumiques de fibres sont contrôlées en fonction de l'application souhaitée et des propriétés amortissantes voulues.

Les quelques applications présentées concernant l'utilisation de ces capteurs se révèlent fructueuses même parfois pour la détection d'endommagements assez fins.

On peut résumer les préoccupations exposées lors des conférences par les thèmes suivants :

3.1. Détection et mesures en temps réel de l'endommagement.

Il s'agit généralement de moyens d'informations incorporés dans les structures en matériaux composites. Les plus utilisés sont :

- des fibres optiques,
- des capteurs d'enregistrement d'émissions acoustiques répartis sur les pièces afin de localiser le dommage.
- Des mesures de conductivité électrique à l'aide de plaquettes sensibles réparties entre les plis des structures,
- Des analyses d'images par interférométrie laser.

Une bonne répartition des capteurs quand il y en a plusieurs, présente l'intérêt de localiser les sources d'endommagement. Cette possibilité intéresse les laboratoires d'essais, mais aussi les bureaux de calculs afin de comparer les états de contraintes obtenus par calcul, avec les informations expérimentales.

Il y a quelques années, l'utilisation de fibres optiques était sujette à critiques par le fait que les fibres introduites dans les structures étaient de diamètre trop élevé (500 μm). Cela perturbait suffisamment la structure locale de sorte à provoquer des endommagements locaux. Les conférences du Pr. Takeda, Université de Tokyo, prennent un grand intérêt du fait même de l'apparition de nouvelles fibres de diamètre réduit (52 μm) qui permettent ainsi la détection de la fissuration des plis et des délaminages. La prévision ou la détection des décollements des structures ou des assemblages reste une des questions primordiales pour les utilisateurs de composites. Il n'en reste pas moins vrai que les avancées dans ce domaine restent très liées à la technologie de ces nouvelles fibres. D'où l'intérêt de conférences allemandes et françaises sur l'élaboration de nouvelles fibres piézoélectriques. On soulignera, et ce fut le thème essentiel de sa conférence, que le Pr. Takeda est l'organisateur d'un vaste projet sur des fibres optiques qui associe le Japon, des partenaires américains de l'Université de Standford, mais aussi EADS (Airbus France, le Centre de Recherche de Suresnes).

3.2. Suppression de l'endommagement

Il s'agit d'utilisations de matériaux à mémoire de forme en polymères qui permettent de conserver l'intégrité géométrique de la structure après sollicitations par une simple variation de température. Leur température de transition vitreuse T_g étant aux environs de la température ambiante, la fonction mémoire est aisément activée. Une utilisation de cette fonction est liée au fait que l'on a des modules d'Young ainsi que des propriétés de fluage recouvrance différentes de part et d'autre de la T_g . Ces phénomènes donnent lieu à certaines applications industrielles.

De plus pour certain optimum de fraction volumique, on peut contrôler les déformations et assurer qu'elles restent assez faibles.

3.3. La réduction des bruits et des vibrations

La réduction des bruits et des vibrations passe par deux objectifs :

- l'accroissement du facteur d'atténuation de 20 % ou plus
- décroître le niveau sonore (3dB ou plus)

Pour cela des capteurs PZT dont l'emplacement optimal est simulé par des logiciels tels que NASTRAN ou MATLAB, sont disposés sur les pièces à tester afin de contrôler leur niveau en bruit et en vibration. Des exemples sont fournis sur les maquettes de fuselage d'avions (longueur 3 m, diamètre 1,5 m).

On notera des recherches concernant des fibres piézoélectriques PZT à axe métallique. Hormis leur tenue mécanique supérieure à des fibres céramiques, l'utilisation de l'axe métallique en tant qu'électrode principale et du carbone en tant qu'électrode secondaire (conduction du carbone), évite d'intégrer des électrodes dans la structure. Soumises à une tension, ces fibres peuvent déformer des structures composites ou intervenir sur les déformations induites par des agents extérieurs.

4. Compréhension et analyse des procédés de fabrication (8 présentations)

Les phénomènes de vieillissement, de transfert de charge et le comportement hors axes dépendent directement de la microstructure des matériaux utilisés, laquelle dépend fortement du procédé de fabrication. A titre d'exemple, citons les propriétés viscoélastiques de la matrice liées pour l'essentiel au taux d'avancement de la réaction. L'insertion de capteurs pendant la phase d'élaboration peut permettre une adaptation en temps réel des conditions de mise en œuvre. C'est aussi le premier pas vers une meilleure prédiction des propriétés mécaniques après fabrication, à des dispersions moins grandes et donc à des matériaux plus fiables. A l'heure actuelle, il s'agit essentiellement de fibres optiques, d'implants piézo-électriques destinés à suivre en temps réel les réactions des systèmes élaborés. L'équipe pilote côté japonais est celle du Pr. Fukuda de l'Université d'Osaka.

Dans ce domaine les exposés se séparent en deux. A nouveau, les laboratoires qui travaillent sur des systèmes d'information pour poursuivre le processus et par ailleurs les modélisateurs par E.F. qui à l'aide de loi d'écoulement simulent l'écoulement de la matrice en fonction de la température jusqu'au refroidissement de la pièce.

D'un point de vue expérimental, les systèmes d'informations sont les mêmes que ceux évoqués lors des paragraphes précédents (fibres optiques, capteurs piézoélectriques...). D'un point de vue numérique, un gros effort est porté sur l'interfaçage entre les résultats obtenus en sortie des calculs de simulation des procédés de fabrication et les codes de calculs évaluant les propriétés mécaniques des pièces en cours de sollicitations. Un exemple consiste à obtenir l'orientation des fibres dans le cas d'un procédé d'injection et ainsi de directement réutiliser ces orientations comme donnée pour décrire le comportement de la pièce à calculer. Il en va de même de l'ondulation des tissus et de l'écoulement de la résine pour obtenir l'optimum souhaité entre la rigidité de la structure et la viscosité du matériau. Cette chaîne allant du procédé de fabrication au calcul des performances mécaniques reste un projet ambitieux au niveau industriel, mais évidemment crucial pour optimiser les procédés et mieux maîtriser la conception et le dimensionnement des pièces en matériaux composites.

Jacques RENARD, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris



La délégation Européenne à Tokyo

BILAN d'ECCM 10 - du 2 au 6 Juin à Bruges

ECCM 10 (10th European Conference on Composite Materials) s'est tenue à Bruges du 2 au 6 juin 2002. Le titre « Composites for the Future » rappelait fort justement qu'il s'agissait d'un congrès de scientifiques dont les recherches préparent l'avenir et non d'une assemblée d'historiens des composites.

ECCM est la conférence biennale de l'ESCM (European Society of Composite Materials). ECCM 10 était organisée par un comité nord-européen (Benelux sans le Luxembourg) autour d'Albert Cardon de l'Université de Bruxelles. L'édition de 2004 aura lieu en Grèce (Rhodes) ; celle de 2006 en France (Biarritz).

ECCM 10 était de la taille des JNC. Il y avait 250 participants inscrits, 164 présentations orales et 80 posters annoncés dans le programme, 29 nations dont 9 en dehors des limites géographiques du continent européen : Argentine (1), USA (11), Israël (4), Niger (4),

Iran (1), Thaïlande (1), Japon (4), Singapour (1), Australie (1). L'audience la plus nombreuse était fournie par les pays organisateurs. Cela semble être la règle : Belgique (47), Grande Bretagne (40), Pays Bas (26), France (26), Allemagne (21), Italie (15), Russie et Espagne (9), Portugal (6), Grèce (4), etc.

Les communications couvraient une grande diversité de thèmes. On peut les classer en 3 grandes familles :

- les thèmes classiques : endommagement, rupture, applications, conception, durabilité, élaboration, interfaces/interphases, etc.
- les thèmes pauvres : CMC et MMC
- les thèmes émergents : nanocomposites, éocomposites, smart composites, textiles, méthodes expérimentales.

L'aéronautique et l'aérospatiale semblent dominer encore le monde des composites. Les problèmes endémiques qui freinent le développement des composites ont été soulignés par plusieurs conférenciers qui ont proposé des diagnostics :

- le coût est réhibitoire dans bien des cas.
- Le comportement à rupture et l'endommagement sont insuffisamment compris. La rupture n'est pas prévue de manière précise et fiable de sorte que les avantages que pourrait procurer la résistance élevée des composites n'est pas exploitée.
- La production est souvent restée artisanale, de sorte que les composites sont réservés à des pièces produites en petite série.
- Les méthodes de conception sont limitées, lentes et lourdes. Les limites sont attribuées à l'empirisme avec lequel est traité l'endommagement. Les méthodes de conception doivent tirer profit du fait que les composites peuvent être adaptés aux performances recherchées, à condition que l'on soit capable de prévoir celles-ci en fonction du choix des fibres, de la matrice, de l'architecture et du procédé d'élaboration associé.

Les progrès récents dans le génie génétique, la science des composites et le développement de fibres naturelles offrent des perspectives prometteuses pour le développement de nouveaux matériaux fabriqués à partir de ressources renouvelables et qui soient biodégradables ou recyclables. Une large variété de matériaux à hautes performances et faible coût peut-être élaborée à partir d'huiles végétales, de fibres naturelles (fibres de feuilles d'ananas, fibres de coco, fibres de sisal, de banane, de palmier à huile, lin, jute, chanvre, etc...) et de lignine, ce sont les éocomposites. Ils présentent un intérêt économique, ils peuvent être produits en masse, et ils sont envisagés ou employés dans un grand nombre de

domaines : équipements agricoles, applications marines, construction, mobilier, containers, etc... Des traitements chimiques permettent d'améliorer l'interface fibre/matrice.

L'intérêt industriel pour les thermoplastiques biodégradables produits naturellement ou synthétiquement a été suscité par l'augmentation des prix du pétrole dans les années 1970 et depuis a été stimulé par l'épuisement des gisements dans un grand nombre de pays. Les polymères biodégradables produits par la nature sont connus depuis longtemps. Par exemple la production de polyhydroxybutyrate (PHB) par les bactéries a été découverte dans les années 1920. Des polymères naturels tels que la cellulose et à base de féculents sont étudiés depuis le 19^e siècle. Combinés à des fibres naturelles, ils donnent les composites recyclables. Ces matériaux sont employés de manière croissante dans l'automobile. Le projet européen ECOFINA porte sur la substitution des fibres minérales par des fibres naturelles dans les composites destinés au secteur de l'automobile.

Les nanotubes de carbone présentent des propriétés remarquables associées à leurs dimensions nanométriques. Cependant, ils ne peuvent assurer seuls un renforcement efficace. La production de composites aux propriétés extraordinaires renforcés par des nanotubes de carbone relève de l'utopie selon T.W. Chou. Cette affirmation pleine de bon sens est corroborée par l'exemple passé des whiskers qui n'ont jamais donné de composites aux propriétés mécaniques intéressantes. Ils sont plutôt envisagés comme mode de renfort des composites à fibres de carbone. En effet, les bénéfices escomptés des renforts à l'échelle nanométrique combinés à ceux des composites à fibres continues devraient permettre de créer des composites hybrides micro/nano multifonctionnels. Des progrès récents dans la synthèse des nanotubes de carbone ont permis de faire croître des nanotubes de carbone sur des fibres de carbone par voie CVD. Une échelle supplémentaire de renfort offre un degré de liberté de plus pour adapter les propriétés mécaniques et physiques des composites. La croissance de nanotubes sur des fibres augmente la résistance des interfaces. La voie des composites hybrides est explorée par plusieurs auteurs.

Bref, ECCM 10 était une conférence intéressante et d'assez bonne qualité qui éclaire le futur des composites et le futur avec les composites.

Jacques LAMON, LCTS, Pessac, Président de l'AMAC



18-20 septembre 2002

Le LMT-Cachan (ENS de Cachan, CNRS, Université Paris 6) et le Civil Engineering, Mechanical Engineering and Aerospace Center du Rensselaer Polytechnique Institute organisent conjointement du 18 au 20 septembre 2002 un atelier/conférence sur la modélisation et les stratégies de calcul multiéchelles pour les matériaux et structures. La conférence est centrée sur la modélisation et la simulation multiéchelles des matériaux et des structures qui est la base de nouvelles méthodologies de dimensionnement en rupture avec les méthodes actuelles où les matériaux, la structure et leur fabrication ne sont plus dissociées. Le

Workshop Multiéchelles (CACHAN)

workshop sera un forum rassemblant les différents acteurs : spécialistes matériaux, mécaniciens, mathématiciens, et ingénieurs.

Renseignements, contacts :

Pr. P. Ladeveze, LMT-Cachan
ENS de Cachan / CNRS / Université de Paris 6
61 avenue du Président Wilson
94235 Cachan CEDEX
Tel : 01 47 40 22 41 - Fax : 01 47 40 27 85
e-mail : ladaveze@lmt.ens-cachan.fr
site web : <http://www.lmt.ens-cachan.fr/mcm2002>

28-30 octobre 2003

L'objectif de la JST AMAC du 3 octobre est de présenter des travaux récents concernant à la fois les études expérimentales, les modélisations et aussi les outils et méthodes de simulations. Les différents procédés seront considérés, aussi bien ceux concernant les composites à fibres continues que les composites à fibres discontinues (courtes ou longues) visant des applications en grandes séries.

Le but de la journée est également de réunir des équipes dont les travaux concernent des procédés où il y a écoulement et structure induite, écoulement ou imprégnation avec structure de fibres

JST Mise en Forme des Composites (PARIS)

bien maîtrisée, et celles qui analysent le formage des renforts continus. La modélisation d'un procédé complet demande souvent plusieurs de ces compétences.

Contact :

Christelle Bouchot, secrétariat de la JST
ENSAM, 151 boulevard de l'Hôpital
75013 Paris
Tel : 01 44 24 64 41
e-mail : Christelle.Bouchot@paris.ensam.fr
Philippe.Boisse@paris.ensam.fr

28-30 janvier 2003

Composites Testing and... (CHALONS en CHAMPAGNE)

Le Laboratoire de Mécanique et Procédés de Fabrication de l'ENSAM de Châlons en Champagne organise du 28 au 30 janvier 2003, une conférence internationale intitulée : "Composites Testing and Model Identification". Cette conférence reçoit le soutien de l'AFM et de l'AMAC

Ce congrès a pour vocation de mettre en évidence les liens étroits qui doivent exister entre la mécanique expérimentale des composites et les modèles à identifier.

Contact :

Pr. F. Pierron
Laboratoire de Mécanique et Procédés de Fabrication
ENSAM - Rue Saint-Dominique - BP 508
51006 Châlons-en-Champagne
Tel : 03 26 69 91 86 - Fax : 03 26 69 91 76
e-mail : fabrice.pierron@chalons.ensam.fr
site web : www.chalons.ensam.fr/lmpf/comptest2003

21-23 janvier 2003

ICCST/4 (SAHRJAH)

La 4^e Conférence Internationale Science et Technologie des Composites (ICCST/4) aura lieu du 21 au 23 janvier 2003, à Durban en Afrique du Sud. Elle est organisée par l'université américaine de Sharjah et le Centre for

Composites and Smart Structures de l'Université de Natal Afrique du Sud.

Contact : S. Adali (adali@nu.ac.za) ou Hany El Kadi (hkadi@aus.ac.ae)

12-14 mars 2003

JNC 13 (STRASBOURG)

La treizième édition des Journées Nationales des Composites aura lieu à l'Université Louis Pasteur à Strasbourg du 12 au 14 mars 2003.

Tous les deux ans, une vue d'ensemble des problèmes nouveaux et des avancées significatives concernant ces matériaux est proposée à la communauté francophone dans les JNC de l'AMAC.

Les thèmes abordés lors des JNC13 seront les suivants

- Elaboration, procédés de fabrication
- Constituants, fibres, matrices
- Matériaux, tissés, stratifiés, sandwichs, bois, béton, papier...
- Structures, conception, optimisation, assemblage, réparation
- Applications industrielles, normalisation, recyclage, environnement

- Physico-chimie, couplage mécanique et chimie, interface, interphase
- Vieillessement, durabilité
- Méthodes expérimentales et CND
- Endommagement, rupture, impact, comportement mécanique
- Approches multiéchelles, micromécanique
- Modélisation, calcul et validation.

Contact :

Site web: <http://jnc13.u-strasbg.fr>

Communications, articles :

e-mail : jnc13@imfs.u-strasbg.fr

adresse postale : JNC13, IMFS,

2 rue Boussingault, 67000 Strasbourg

Tel : 03 90 24 29 29 - Fax : 03 88 61 43 00

VIE DE L'ASSOCIATION

- Prix Daniel VALENTIN 2001
- ESCM
- Composites On Tour



**Prix Daniel Valentin de l'AMAC 2001 : un excellent cru !
Par : C. Dubois et M. Benzeggagh**

Xavier COLIN est co-lauréat du Prix Daniel Valentin 2001. Xavier COLIN est actuellement Ingénieur de Recherche au Laboratoire de Transformation et de Vieillessement des Polymères de l'ENSAM Paris. Il a obtenu un doctorat de mécanique et matériaux en 2000, qu'il a préparé à l'ONERA dans le service de M. J-P. FAVRE, sous la direction scientifique du Pr. J. VERDU (LTVP - ENSAM). Sa thèse a porté sur la modélisation de la cinétique de thermo-oxydation de matériaux polymères et composites à hautes performances thermomécaniques et sur l'étude des conséquences du caractère hétérogène de l'oxydation sur le plan du comportement mécanique. Il travaille actuellement à la modélisation du vieillissement oxydant des élastomères, à la prédiction de la durée de vie de contenants en polyéthylène exposés en ambiance nucléaire et à la prédictions des champs de contraintes générés par l'oxydation sur les bords des pièces composites responsables, à terme, de leur fissuration. Xavier COLIN développe une stratégie partant des phénoménologies à l'échelle moléculaire pour aller vers l'échelle macromoléculaire et macroscopique, en vue de caractériser l'état endommagé et d'appréhender le comportement mécanique à très long terme. Cette approche de la durabilité présente le mérite d'être testable et donc perfectible, à chaque étape.

Elève de l'ENS de Cachan, agrégé de Mécanique en 1990, Alain GASSER obtient son doctorat en 1994 au LMT Cachan sous la direction du Pr. P. Ladaveze. Son travail de thèse concernait une approche générale de l'endommagement des matériaux composites céramique/céramique. Dans le cadre de ces mêmes études, Alain GASSER a effectué deux séjours dans l'équipe du Pr. Herakovch à l'université de Virginie pour appliquer ses modèles à d'autres matériaux. Depuis 1996, date de sa nomination en tant que Maître de Conférences à l'ESEM d'Orléans, Alain GASSER travaille sur le comportement des tissus secs dans le procédé RTM, le comportement thermomécanique des composites aciers/réfractaires et les problèmes d'identification inverse. Les travaux de recherche d'Alain GASSER ont été et sont menés en collaboration avec de nombreuses entreprises telles qu'EADS, Hutchinson, EDF, Usinor, TRB et Metaleurop pour le comportement thermomécanique des structures réfractaires. De plus, puisque dans certains cas, l'identification directe d'un jeu de paramètres d'un modèle de comportement est impossible, Alain GASSER a développé et automatisé dans un code de calcul par EF, une méthode d'optimisation permettant d'obtenir le meilleur jeu de paramètres.

Les deux lauréats présenteront leurs travaux lors des JNC13 à Strasbourg en mars 2003.

La Société Européenne des Matériaux Composites poursuit sa mue lentement et difficilement de EACM (European Association of Composite Materials) en ESCM. Plusieurs d'entre nous ont pu déjà mesurer à diverses occasions à quel point une Société Européenne des Composites est utile et nécessaire. Ceci est d'autant plus vrai aujourd'hui où la recherche tend à s'organiser à l'échelle européenne.

ECCM 10 a été le théâtre de plusieurs réunions du Conseil et de l'Assemblée Générale. Le Conseil, qui a été renouvelé lors de l'Assemblée Générale, est constitué des membres suivants. Baillie (UK), Cardon (B), Crivelli-Visconti (I), Galiotis (G), Hogg (UK), Kostopoulos (G), Lamon (F), Lilholt (DK), Paris (E), Peijs (NL), Schulte (D), Berglund (S), Bunsell (F), Caprino (I), Torres-Marques (P), Friedrich (D), Mileiko (R), Rudd (UK), Vautrin (F), Verpoest (B), Degrieck (B).

A. Cardon succède à I. Crivelli-Visconti à la Présidence. ESCM se sépare d'IOM (Institute of Materials). Le secrétariat suivra dorénavant le Président. Le Président est l'organisateur de la dernière édition d'ECCM, le Vice-Président celui de la suivante. Le site Web, qui se trouve au sein de celui d'IOM, sera coordonné par l'équipe du Président. Les fonds nécessaires au fonctionnement de ESCM sont issus des cotisations des adhérents. Une partie du contingent des adhérents est fournie par les participants à ECCM.

ESCM œuvre dans la constitution d'un vaste réseau européen sur les matériaux (MAT-NET) dans lequel sont représentés les matériaux composites.

ECCM 12 sera organisée à Biarritz (en 2006) conjointement par la France et le Portugal. Les chairmen sont J. Lamon et A. Torres-Marques.

J. Lamon, LCTS, Président de l'AMAC

COMPOSITES ON TOUR

ECCM 10 a été l'occasion du lancement de l'exposition itinérante sur les matériaux composites, « Composites – on Tour », qui doit parcourir l'Europe, traverser 12 pays en 5 mois.

Informations et contact :

www.compositesontour.be

yves.vandenwyngaert@mtm.kuleuven.ac.be

herman.lemmens@mtm.kuleuven.ac.be

ignaas.verpoest@mtm.kuleuven.ac.be

Pour tout contact avec l'AMAC :

Secrétariat de l'AMAC, ENSAM – LM3 / AMAC

151, boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris

Tel : 01 44 24 63 41 ; Fax : 01 44 24 62 90

N'envoyez aucun courrier au siège social

Adressez-vous exclusivement au secrétariat

Liste de diffusion aux adhérents de l'AMAC

Pour les annonces de soutenance de thèse, proposition de sujets de thèse...

envoyez un courrier électronique (sans fichier attaché) à : amac@enpc.fr

SITE WEB – AMAC

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

AMACINFOS
Rédaction -
Informations

Philippe OLIVIER
PRO²COM – Laboratoire de Génie Mécanique de Toulouse
Dépt. GMP, IUT Paul Sabatier, 133 avenue de Ranguel, 31077 Toulouse CEDEX 4
Tél : 05 62 25 88 36 ; Fax : 05 62 25 87 47 ; e-mail : Philippe.Olivier@gmp.iut-tlse3.fr