



HAL
open science

LCTS - Laboratoire des composites thermosturcturaux

Rapport Hcéres

► **To cite this version:**

Rapport d'évaluation d'une entité de recherche. LCTS - Laboratoire des composites thermosturcturaux. 2010, Université Bordeaux 1 sciences et technologies. hceres-02033752

HAL Id: hceres-02033752

<https://hal-hceres.archives-ouvertes.fr/hceres-02033752v1>

Submitted on 20 Feb 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



agence d'évaluation de la recherche
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Rapport de l'AERES sur l'unité :

Laboratoire des Composites Thermostructuraux

sous tutelle des

établissements et organismes :

Université de Bordeaux 1

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)

Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies
alternatives (CEA)

Snecma Propulsion Solide (groupe SAFRAN)



agence d'évaluation de la recherche
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Rapport de l'AERES sur l'unité :

Laboratoire des Composites Thermostructuraux
sous tutelle des établissements et
organismes :

Université de Bordeaux 1

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)

Commissariat à l'Energie Atomique et aux énergies
alternatives (CEA)

Snecma Propulsion Solide (groupe SAFRAN)

Le Président
de l'AERES

Jean-François Dhainaut

Section des unités
de recherche

Le Directeur

Pierre Glorieux



Unité

Nom de l'unité : Laboratoire des Composites Thermostructuraux

Label demandé : UMR

N° si renouvellement : 5801

Nom du directeur : M. Francis TEYSSANDIER

Membres du comité d'experts

Président :

M. J.-M. DUBOIS, CNRS, Nancy

Experts :

M. PARLIER, Chef de groupe à l'Onera, Palaiseau

M. BENALLAL, ENS Cachan

M. CHARTIER, Université de Limoges

Expert(s) proposés par des comités d'évaluation des personnels (CNU, CoNRS, CSS INSERM, représentant INRA, INRIA, IRD.....) :

Mme VIX, CoNRS

M. PAULUS, CNU

Représentants présents lors de la visite

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Régis REAU

Représentant(s) des établissements et organismes tutelles de l'unité :

M. BAUMARD, DSA Institut de Chimie CNRS, Université de Limoges

M. PUIGGALI, Vice-Président Conseil Scientifique Université Bordeaux 1

M. MASSARD, Direction des Applications Militaires, CEA

M. LATURELLE, Chef du Groupe Programmes Recherche et Technologies, Snecma Propulsion Solide.



Rapport

1 • Introduction

- Date et déroulement de la visite :

La visite s'est déroulée les 12 et 13 novembre 2009 et a bénéficié d'excellentes conditions d'organisation matérielle. Le comité a pu entendre tout d'abord le Directeur d'unité entouré de son équipe de direction. Ensuite, l'axe 1 a été présenté oralement, surtout pour ce qui est de ses aspects de modélisation. Le comité a ensuite visité le laboratoire où des exposés devant affiche lui ont été proposés pour ce qui est des axes 2, 3 et 4. La traditionnelle rencontre avec les personnels a précédé un retour bref du Directeur et de son équipe devant le comité pour examiner certains points surgis au cours de la visite. La réunion avec les représentants des tutelles du LCTS a clos la visite en fin de journée.

- Historique et localisation géographique de l'unité et description synthétique de son domaine et de ses activités :

Le Laboratoire des Composites Thermostructuraux a été créé il y a vingt ans en tant qu'unité associant la recherche publique (CNRS et Université Bordeaux 1) et un partenaire industriel (à l'époque, la SEP ; aujourd'hui, SPS, filiale du Groupe SAFRAN). Sa vocation était la compréhension de l'ensemble des mécanismes et des procédés attachés à la production et à l'utilisation des composites thermostructuraux dans les domaines du spatial et de l'aéronautique civil et militaire. Plus récemment, le CEA, avec deux de ses directions (DAM et DEN) a rejoint SPS comme seconde tutelle industrielle du LCTS. Les objectifs touchent alors plutôt le nucléaire civil et le spatial. Par facilité de langage, ces deux tutelles SPS et CEA sont désignées plus loin « tutelles industrielles » du LCTS.

- Equipe de direction :

L'équipe de direction est composée d'un directeur, d'un délégué scientifique SAFRAN, d'un délégué scientifique CEA, d'un administrateur et de cinq membres de l'UMR.

- Effectifs de l'unité : (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	7	8
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	11	10
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs (cf. Formulaire 2.2 et 2.4 du dossier de l'unité)	5	5
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	10	9
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)	0	0
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.7 du dossier de l'unité)	20	18
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	11	9



2 • Appréciation sur l'unité

• 2.1 Préambule

Le Laboratoire des Composites Thermo-Structuraux (LCTS) occupe une position unique à l'interface entre la recherche publique et l'industrie. Ce créneau très étroit présente des perspectives de marchés importants pour l'aéronautique civile et militaire (volets de tuyères du Rafale, mélangeurs des moteurs d'avions et d'hélicoptères, arrière-corps et aubes de turbine des moteurs d'avions de nouvelle génération, divergent composite du moteur Vinci, tuyères d'Ariane 5 et de missiles stratégiques et tactiques, freins d'avion, etc.) et présente beaucoup d'intérêt pour le nucléaire civil (réacteurs de fission de 4ème génération, démonstrateur de fusion ITER).

Cette spécificité du LCTS impose cependant des contraintes sur son évaluation, telle qu'elle est envisagée selon les critères généraux définis par l'AERES, en raison de la priorité donnée à des études confidentielles (défense ou industrie concurrentielle) conduisant de ce fait à une liberté restreinte sur les choix des sujets, à une participation limitée à des programmes de recherche nationaux ou internationaux, à une recherche sur projet avec des échéances courtes (durée d'une thèse en moyenne), et enfin à une culture de comptes-rendus industriels sous forme de rapports réguliers mais confidentiels.

En échange, le modèle de relations développé avec le secteur aval s'avère performant et robuste, conduisant à des moyens conséquents pour le Laboratoire, à une recherche technologique de très haut niveau et à une très forte attractivité du laboratoire sur les jeunes doctorants et stagiaires. De plus, l'environnement et la qualité de travail sont excellents et le suivi des doctorants et des connaissances remarquable.

• 2.2 Avis global

Le laboratoire est depuis sa création, il y a une vingtaine d'années, positionné sur la thématique spécifique des composites thermostructuraux à base de céramiques ou de carbone en collaboration très étroite avec 2 "tutelles industrielles" SPS et CEA. Comme l'ont rappelé les représentants de ces tutelles, le laboratoire est indispensable à la stratégie de ces 2 partenaires pour le développement de matériaux avancés devant supporter des conditions extrêmes. A ce titre, la pertinence technologique du LCTS est remarquable et garantie par ce partenariat.

Ce laboratoire très cohérent tire son originalité de son approche intégrée allant de l'élaboration de composites céramiques/céramiques à l'aide de procédés parfaitement contrôlés, notamment grâce à l'association de la modélisation et de l'expérimentation, à leurs caractérisations structurales et thermomécaniques en conditions de fonctionnement et à la prévision de l'endommagement de ces matériaux complexes. Le LCTS possède une expertise unique sur le contrôle des interfaces et interphases fibre/matrice et sur l'auto-cicatrisation des fissures. La notoriété de l'unité est excellente au niveau français mais est très majoritairement portée par une seule personne au niveau international.

La qualité scientifique des travaux est bonne et dans la moyenne des équipes françaises dans le domaine des matériaux. La production scientifique (1,3 articles à comité de lecture par an et par chercheur) est très honorable compte tenu de la contrainte forte de confidentialité. Le laboratoire et les chercheurs gagneraient cependant à aller vers des revues de plus haut niveau. La valorisation sous forme de brevets est importante (13 brevets sur les quatre ans de la période d'évaluation).

Par nature, les liens industriels avec les tutelles SPS et CEA sont forts avec une valorisation directe, mais les réponses aux appels d'offres publics (ANR, Europe...) et les collaborations universitaires nationales restent modestes. Le laboratoire pourrait favorablement s'ouvrir vers l'extérieur sur des points fondamentaux.

Le management de cette unité est très bien conduit et les échanges fréquents avec les personnels contribuent à une bonne qualité relationnelle. La gestion administrative et financière est parfaitement menée par un administrateur.



Les personnels, avec un effectif jeune, sont attachés à leur laboratoire et ont plaisir à y travailler. Les doctorants, post-doctorants et stagiaires bénéficient d'un environnement idéal avec un encadrement de qualité et un équipement conséquent répondant tout à fait aux besoins. Les compétences sont bien transférées vers les enseignements avec une forte implication des personnels dans le management et le fonctionnement de filières à l'UFR de chimie et dans des écoles d'ingénieurs. Ceci procure au LCTS, associé à la renommée des "tutelles industrielles", une très forte attractivité sur les jeunes.

Il faut enfin souligner le côté exemplaire de l'aspect hygiène et sécurité au LCTS, associé à une démarche qualité peu courante dans une UMR, qui applique les normes industrielles.

Le LCTS enfin développe un projet pour la prochaine période quadriennale qui est essentiellement marqué par la continuité des axes actifs durant la précédente période. Cette stabilité est indispensable au bon fonctionnement

des relations avec les « tutelles industrielles », la réalisation des objectifs d'exploitation des composites thermostructuraux. Il n'en présente pas moins un risque majeur pour la pérennité du laboratoire et le développement harmonieux des carrières de ses agents de la recherche publique comme analysé plus en détail ci-dessous.

• 2.3 Points forts et opportunités

Le LCTS est un laboratoire de bon niveau, bien identifié au plan national par les organismes de recherche (CNRS, Université de Bordeaux I) et surtout par l'un des partenaires industriels qui renouvelle sa contribution depuis 20 ans. Le soutien aux recherches menées au LCTS a été conforté par le partenariat apporté par la DAM et plus récemment la DEN du CEA. La pérennité de l'engagement du partenaire industriel souligne la place prépondérante qu'occupe ce laboratoire au sein de sa stratégie industrielle. Cet engagement ne se traduit pas que par des moyens financiers mais également par des moyens humains avec l'affectation au LCTS de personnels ingénieurs et administratif.

On note des contributions fortes des chercheurs et enseignants-chercheurs à la formation par la recherche aussi bien par des implications dans les filières universitaires que dans le nombre de doctorants formés chaque année.

Le laboratoire présente une pyramide des âges qui lui est favorable.

Une bonne adéquation entre les besoins nécessaires pour les projets de recherche et l'environnement de travail, y compris les équipements mi-lourds, a été observée, favorisée par des ressources financières judicieusement affectées et sans restriction.

Le LCTS bénéficie également d'une situation géographique privilégiée en étant situé dans un campus particulièrement dynamique, avec dans son environnement immédiat de laboratoires de grande renommée.

La qualité des relations humaines au sein du laboratoire est très bonne (avec un nombre important de stagiaires et élèves ingénieurs qui transitent pendant un temps court).

Les démarches dans le domaine de la qualité, de l'hygiène et de la sécurité, très bien acceptées et appliquées par le personnel, sont de tout premier plan, garantissant en particulier à l'industriel une traçabilité de ses résultats.

• 2.4 Points faibles et risques

Les axes de recherche correspondent plus à une juxtaposition de sujets de thèse qu'à une réflexion scientifique globale.

La prise de risque intellectuelle n'est pas vraiment dans la culture du laboratoire, ce qui inhibe l'émergence d'axes exploratoires.

Certains sujets, qui étaient particulièrement d'actualité au début de l'existence du laboratoire semblent s'essouffler et pourraient tourner dans certains cas en une routine qui se limiterait à de la caractérisation physico-chimique ou mécanique sans véritable fondement scientifique à long terme.

Même si la production scientifique est satisfaisante, elle gagnerait à viser plus haut dans la hiérarchie des publications.



La visibilité internationale du laboratoire est surtout le fait d'un chercheur dont l'affectation à un autre laboratoire est annoncée.

• 2.5 Points à améliorer

Les caractérisations de certains matériaux devraient dépasser le cadre des techniques disponibles au laboratoire avec une utilisation plus fréquente des grands instruments.

L'ouverture vers l'extérieur gagnerait à être renforcée, d'une part par une participation plus importante aux congrès, en particulier internationaux, et d'autre part par une réponse plus assidue aux appels d'offres des agences nationales et internationales. Cette ouverture vers l'extérieur pourrait également se faire au travers de collaborations spécifiques sur des thématiques bien ciblées du laboratoire.

Le nombre de conférences invitées mériterait d'être augmenté durant le prochain contrat quadriennal, en faisant un effort particulièrement important pour contrebalancer les effets du départ annoncé du chercheur qui -de loin- donne le plus de conférences à l'étranger.

Pour certaines thématiques, il faut veiller à ne pas introduire un déséquilibre important entre expérience et modélisation (ceci vaut notamment pour la modélisation physico-chimique qui constitue une partie de l'axe 1).

Il faudrait renforcer le service informatique qui est un service crucial pour le LCTS, notamment en raison de la démarche qualité de cette unité.

• 2.6 Recommandations au directeur de l'unité

L'œuvre des fondateurs du LCTS a été véritablement visionnaire et le comité est bien conscient de l'originalité du modèle et de la pertinence qu'expriment les partenaires « industriels » du LCTS. Ce modèle doit être préservé, dans l'esprit fondateur d'origine. Ce modèle a fait du LCTS le laboratoire de référence français dans le domaine des composites thermostrostructuraux.

La pyramide des âges est aujourd'hui favorable au LCTS. Il faut cependant être particulièrement vigilant quant à l'avenir et au développement de la carrière des jeunes chercheurs et enseignants-chercheurs qui le constituent, et dont l'évaluation par un système public n'est pas nécessairement bien en phase avec les contraintes de confidentialité et le rythme des recherches à visées industrielles.

La petite taille du LCTS, sur un seul sujet très focalisé, le rend fragile et l'expose à une perte de cohérence si une cascade de départs, pour quelque raison que ce soit, venait à se produire. Ceci demande de la part du Directeur et des représentants des tutelles une grande anticipation du développement des carrières des agents affectés au LCTS.

La pertinence technologique du laboratoire est remarquable. Elle est garantie par le partenaire industriel principal. Cette garantie peut toutefois à terme entraîner un mode de fonctionnement trop répétitif et trop focalisé vers des sujets qui auraient perdu toute originalité même si le laboratoire était, il y a deux décennies, à l'origine de ces mêmes sujets.

Le champ de compétences des composites thermostrostructuraux finira par se tarir du point de vue de l'originalité, et ceci d'autant plus certainement que le laboratoire contribue à finaliser les matériaux. Il faut donc veiller à développer une recherche plus académique des thématiques qui permettraient au laboratoire de se ressourcer sur d'autres thèmes de recherche porteurs.

Il serait tout à fait bénéfique pour le laboratoire et pour son avenir à long terme qu'il se donne des moyens de ressourcement en faisant évoluer ses méthodes de sélection de sujets, en envisageant d'autres matériaux (comme il l'a fait avec les CMM) et des modèles plus adaptés à une recherche fondamentale. Ces nouvelles thématiques pourraient en particulier être développées dans le cadre de programmes publics, nationaux ou internationaux. Le LCTS a la capacité de se donner des libertés conceptuelles, expérimentales et de modélisation, plus affirmées que celles qui ressortent à l'analyse de son bilan récent, et ceci sans enfreindre les règles de confidentialité qui lui sont appliquées. Le comité a d'ailleurs pu vérifier l'accord de principe des tutelles pour une telle évolution.



- 2.7 Données de production :

A1 : Nombre de producteurs parmi les chercheurs et enseignants chercheurs référencés en N1 et N2 dans la colonne projet	18
A2 : Nombre de producteurs parmi les autres personnels référencés en N3, N4 et N5 dans la colonne projet	3
A3 : Taux de producteurs de l'unité $[A1 / (N1+N2)]$	100%
Nombre d'HDR soutenues	9
Nombre de thèses soutenues	20
Autre donnée pertinente pour le domaine (à préciser...)	

3 • Analyse équipe par équipe et/ou par projet

Le LCTS, laboratoire de taille modeste, forme une seule équipe qu'il est impossible de diviser en sous-composantes. Cependant, les composites thermo-structuraux, domaine unique de recherche du LCTS, sont abordés sous différents aspects complémentaires appelés Axes par le LCTS. Les paragraphes qui suivent reproduisent l'analyse du bilan de la période écoulée pour chacun de ces Axes et donne quelques pistes pour des améliorations futures.

Axe 1 : MATÉRIAU NUMÉRIQUE – MATÉRIAU VIRTUEL

- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	2	3
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	1	1
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs (cf. Formulaire 2.2 et 2.4 du dossier de l'unité)	-	-
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	1	1
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)	-	-
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.7 du dossier de l'unité)	6	4
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	2	2



- Appréciation sur l'Axe 1

L'axe 1 intitulé 'Matériau numérique, matériau virtuel' repose sur l'utilisation de la simulation numérique qui est devenue au LCTS un moyen de conception de nouveaux matériaux et un outil efficace pour traiter les problèmes multi-échelles et multi-physiques. Le comportement thermomécanique et la modélisation physico-chimique de l'infiltration ont été les deux thématiques principales développées dans cet axe.

Le comportement thermo-mécanique des matériaux composites constitués de fibres longues en céramique enrobées dans une matrice elle-même en céramique (CMC) ou métallique (CMM Titane) est étudié à diverses échelles : monofilament, microcomposite, fil, minicomposite et composite. De plus, les rôles et effets des interphases et des interfaces fibre/matrice, représentant des éléments essentiels pour ces matériaux, sont aussi analysés et constituent un champ d'étude important du LCTS, bien au-delà des aspects mécaniques. L'effet proprement dit des interphases sur le comportement thermomécanique est étudié à l'échelle microstructurale du microcomposite et mésostructurale du minicomposite. Les études sont entreprises sous plusieurs angles : approche expérimentale pour l'observation des modes de déformation et des mécanismes d'endommagement et de rupture, modélisation multi-échelle du comportement et de la rupture du composite (CMC ou CMM) à partir des comportements des constituants avec prise en compte de la distribution statistique des caractéristiques de rupture.

Un effort important est dédié aux effets de l'environnement sur le comportement en fatigue et la durée de vie. Suivant les applications, la durée de vie est dictée par l'ablation, l'usure ou tout simplement la rupture du renfort. Parmi les nombreux processus physico-chimiques venant à affaiblir le renfort, la corrosion, la fissuration sous-critique et plus particulièrement l'oxydation ont été étudiées.

Bien que poursuivies depuis de nombreuses années, les études mécaniques menées au LCTS sont très visibles (parfois uniques), d'un très bon niveau et la production scientifique associée est importante (25 articles dans les revues à comité de lecture).

Il faut aussi noter l'implication forte du LCTS dans la normalisation des méthodes d'essai sur les composites à matrice carbone ou céramique renforcés par des fibres continues. Le LCTS fait partie de plusieurs comités de normalisation de ces méthodes d'essais : AFNOR en France, CEN à l'échelle européenne et ISO au niveau international.

Cependant, le départ annoncé d'un des piliers du laboratoire a poussé le comité de visite à s'interroger sur la suite des études mécaniques, étape importante dans la qualification des matériaux étudiés. Une clarification des rôles de chacun et le renforcement de l'axe mécanique sont donc urgents.

Le deuxième volet de l'axe 1 concerne la modélisation physico-chimique de l'infiltration à l'échelle des fibres et des fils. L'infiltrabilité de milieux poreux réels formés par des fibres dans un arrangement complexe et la morphologie finale du dépôt sont étudiées en relation avec les propriétés de transport et de réactivité de ces milieux et les propriétés morphologiques et physico-chimiques des fibres. Au final, les conditions optimales d'infiltration peuvent être prévues. Des logiciels permettant l'optimisation des arrangements des fibres vis-à-vis de l'infiltrabilité ont également été mis au point et transférés vers les partenaires industriels.

Cette thématique, qui s'est fortement développée ces dernières années, est un atout indéniable pour le LCTS. Elle a permis d'élargir ses champs de compétences en proposant de nouveaux concepts et outils pour l'optimisation de l'élaboration des composites permettant ainsi à l'industriel de mieux cibler les développements expérimentaux à mener.

Pour les années à venir, l'axe 1 s'inscrit dans la continuité des travaux antérieurs (comportement thermomécanique et infiltration de préformes). Un jeune maître de conférences a été recruté cette année pour pouvoir pallier, au moins partiellement, le départ de l'expert en mécanique du LCTS. On note également dans le projet de cet axe, l'émergence d'une thématique plus fondamentale liée à la reconstruction informatisée de la structure de carbones denses sous différentes conditions et l'utilisation de la tomographie à rayons X pour simuler l'infiltration. Ces actions mériteraient d'être mieux formalisées.

On ne peut qu'encourager cet axe à poursuivre son développement tout en veillant à l'émergence d'axes de recherche plus fondamentaux et à renforcer les actions transversales avec les développements expérimentaux. Les relations simulation-expérience existent certes déjà mais elles gagneraient à être plus clairement identifiées dans le projet et visibles au travers de plus nombreuses publications.



Axe 2 : ÉLABORATION : PHYSICO-CHEMIE ET NOUVELLES VOIES

- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	2	2
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	4	4
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs (cf. Formulaire 2.2 et 2.4 du dossier de l'unité)	-	-
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	2	2
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)	-	-
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.7 du dossier de l'unité)	6	5
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	5	2

- Appréciation sur l'Axe 2

Depuis la création du laboratoire, le procédé d'infiltration chimique en phase vapeur (CVI) a été l'axe principal retenu pour densifier des préformes fibreuses afin d'élaborer des composites. Par rapport aux nombreux travaux publiés au plan international sur la technique de dépôt chimique en phase vapeur (CVD) et qui constituent une base de référence et d'enrichissement permanent, il faut souligner l'expertise acquise par le laboratoire au fil des années dans le domaine plus spécifique de l'infiltration en phase gazeuse, tant au niveau de la compréhension des processus physicochimiques que de la maîtrise des paramètres de CVI. Au-delà de l'optimisation des processus industriels qui atteste de la qualité et de l'impact des travaux du laboratoire, il faut noter les efforts pour s'approprier et adapter d'autres méthodes de CVI développées dans la communauté scientifique (par exemple, la CVI pulsée) ainsi que l'approche originale et pluridisciplinaire dans le domaine de la simulation de l'infiltration. Ces démarches sont probablement la clef du renouveau dans l'approche industrielle à court terme.

Dans ce dernier quadriennal, il faut souligner la volonté des participants à l'Axe 2 d'explorer des procédés d'élaboration de composites en substitution ou en complément du procédé de base largement étudié au LCTS qu'est la CVI. Ce groupe s'est orienté vers des voies liquides mettant en œuvre des suspensions de particules ou des précurseurs des matériaux désirés pour le remplissage de la préforme fibreuse. Des résultats prometteurs ont été obtenus, notamment avec de bons remplissages et la formation de microstructures ou de phases bénéfiques à la déviation ou l'arrêt de fissures.

On peut également citer l'utilisation du fort savoir-faire du LCTS pour la densification de matériaux cellulaires à très forte porosité ouvrant des applications non conventionnelles pour le laboratoire.

Bien que ces approches présentent une prise de risque, elles sont à encourager pour, d'une part, s'approprier d'autres procédés d'élaboration pour conduire à des composites thermostructuraux aux propriétés améliorées et, d'autre part, utiliser les fortes compétences du LCTS pour développer des matériaux répondant à d'autres besoins et ouvrir ainsi le champ d'applications.



Axe 3 : LIAISONS INTERFACIALES

- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	2	2
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	3	3
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs (cf. Formulaire 2.2 et 2.4 du dossier de l'unité)	-	-
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	1	1
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)	-	-
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.7 du dossier de l'unité)	4	3
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	2	2

- Appréciation sur l'Axe 3

Si les interfaces et les interphases entre fibre et matrice constituent un axe de recherche historique pour le laboratoire afin de garantir la tolérance aux dommages des composites, le comité a relevé un raffinement de l'approche qui prend désormais en compte la résistance intrinsèque de l'interphase et la mécanique de la rupture incrémentale. Au-delà de cette approche à finalité mécanique, il faut souligner l'effort consenti pour étudier des barrières anti-oxydation ou anti-diffusion afin de répondre à des applications spécifiques dont certaines ont déjà été largement étudiées dans la communauté internationale.

Dans les deux cas, on a relevé une démarche classique fondée sur la prévision thermodynamique de la stabilité des phases et l'adéquation thermophysique entre les constituants. Une approche plus originale a concerné l'influence de l'interphase sur le frottement et l'usure de pièces en composites. Il faut par ailleurs souligner le savoir-faire indéniable du laboratoire dans la mise en œuvre des interphases, la qualité de la démarche adoptée et l'impact des résultats pour les industriels.

Enfin, malgré la confidentialité des études, une production scientifique relativement abondante au niveau des publications et des participations à des congrès a été notée.

Au niveau des projets, la partie la plus innovante concerne la mise au point d'interphases plus résistantes à l'oxydation en utilisant la CVD réactive pour réaliser des systèmes multicouches. Cette approche pourrait donner lieu à des études plus fondamentales au niveau de la compréhension des mécanismes d'oxydation et à condition d'utiliser des moyens moins macroscopiques que ceux actuellement utilisés. Par ailleurs, la démarche visant à améliorer le comportement mécanique des fibres SiC de première génération via des traitements de surface est moins ambitieuse, mais l'enjeu est néanmoins important si elle permet de déboucher sur une véritable prévention et compréhension de la fissuration sous-critique. Toutes ces études sont menées dans le cadre de programmes nationaux mis en place par les industriels.



Axe 4 : DURÉE DE VIE

- Effectifs de l'équipe ou affectés au projet (sur la base du dossier déposé à l'AERES) :

	Dans le bilan	Dans le projet
N1 : Nombre d'enseignants-chercheurs (cf. Formulaire 2.1 du dossier de l'unité)	1	1
N2 : Nombre de chercheurs des EPST ou EPIC (cf. Formulaire 2.3 du dossier de l'unité)	3	2
N3 : Nombre d'autres enseignants-chercheurs et chercheurs (cf. Formulaire 2.2 et 2.4 du dossier de l'unité)	-	-
N4 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs titulaires (cf. Formulaire 2.5 du dossier de l'unité)	1	1
N5 : Nombre d'ingénieurs, techniciens et de personnels administratifs non titulaires (cf. Formulaire 2.6 du dossier de l'unité)	-	-
N6 : Nombre de doctorants (cf. Formulaire 2.7 du dossier de l'unité)	6	6
N7 : Nombre de personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	2	2

• 3.4-2 Appréciation sur l'Axe 4

Cet axe intitulé 'durée de vie' regroupe les travaux menés pour comprendre les phénomènes d'ablation, d'usure, de rupture de l'élément renfort ou d'oxydation de composites à base de fibres de carbone ou de carbure de silicium suivant son application et l'environnement. Les études de durée de vie en fatigue des composites principalement réalisées dans le cadre du CPR 'Durée de Vie' ont permis de souligner l'importance du fil sur le comportement des CMC pour de longues durées de vie et de progresser sur la compréhension du mécanisme de fissuration sous-critique de fils à base de SiC.

La compréhension des phénomènes d'ablation des composites C/C a été abordée par la modélisation de l'interaction matériau/environnement et sera complétée dans le projet par une démarche modélisation/expérimentation en relation avec l'étude de la réactivité des carbones constituant le composite. Pour ce dernier point, on ne peut qu'encourager les actions de collaborations avec d'autres laboratoires (par exemple dans le cadre de programmes nationaux) dans un domaine par ailleurs déjà largement étudié.

Cet axe regroupe également tous les travaux concernant l'étude du comportement des CMC en atmosphère oxydante avec une attention particulière pour l'étude du vieillissement et la cicatrisation des matériaux à matrice séquencée auto-cicatrisante.

Les études de compréhension de ces phénomènes d'auto-cicatrisation ont largement contribué au développement industriel de nouveaux types de matériaux soumis à des atmosphères souvent agressives. L'approche choisie pour comprendre ces mécanismes d'auto-cicatrisation reste toutefois macroscopique. Ces travaux gagneraient à considérer des échelles plus fines et à s'appuyer sur des études thermodynamiques plus poussées prenant notamment en compte la présence de vapeur d'eau. L'approche multi-échelle pourrait également être abordée par l'utilisation de techniques autres que celles présentes au laboratoire et en faisant notamment appel aux grands instruments.



Le projet de cet axe pourrait être plus ambitieux et innovant, aussi bien pour la partie ablation que pour ce qui concerne l'étude du vieillissement. Une continuité trop marquée avec des thématiques déjà traitées dans le passé semble caractériser ce projet. En raison des contraintes de confidentialité qui s'appliquent aux matériaux réels, les résultats de cet axe pourraient être mieux valorisés au travers de communications et publications si des études étaient faites sur des matériaux modèles.



Laboratoire des composites thermostructuraux UMR CNRS 5801 (LCTS)

Note de l'unité	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A	A	A+	A+	A

Nous avons apprécié la pertinence et la qualité de l'évaluation réalisée par l'équipe venue visiter le laboratoire. Ce travail constructif nous sera très utile pour améliorer le LCTS. Nous souhaitons cependant apporter quelques précisions concernant certains points qui pourraient être appréciés comme négatifs.

En particulier, « le fonctionnement en projets de recherche avec des échéances courtes » correspondant plus à « une juxtaposition de sujets de thèse qu'à une réflexion scientifique globale » est une impression qui nous semble devoir être corrigée. En effet, les thèses réalisées par le laboratoire sur des problématiques proposées par les partenaires contribuent au développement de thématiques sur de nombreuses années (au-delà de la période évaluée), avec des questionnements scientifiques en évolution permanente. Elles correspondent à une progression dans la connaissance et la compréhension des principales problématiques relatives aux matériaux composites thermostructuraux. Ce schéma vaut pour la friction, l'élaboration par CVD et CVI, la corrosion, l'ablation, la durée de vie... Pour certains domaines, comme l'ablation, il n'existe pas à notre connaissance d'antériorité sur les aspects qui ont été traités au LCTS bien qu'il s'agisse d'un domaine qui ait été beaucoup étudié par ailleurs. Il est vrai que certains sujets sont plus finalisés et peuvent donc présenter un caractère plus technologique, cependant même dans ces cas, les caractérisations sont toujours reliées à de la compréhension de mécanismes et à l'établissement de relations entre microstructure et propriétés qui bénéficient à la compréhension du comportement de ces matériaux. Le risque de « manque de cohérence », mentionné comme risque potentiel dans les points faibles de l'autoévaluation du laboratoire, a été pour l'essentiel un risque maîtrisé. Nos partenaires industriels, de même que le laboratoire pour plusieurs domaines, ont une vision à 4 ans du développement des sujets.

Concernant les composites thermostructuraux, même si les avancées actuelles semblent conférer à cette famille de matériaux un degré de maturité significatif, la marge de progrès demeure importante. En effet, leur architecture peut revêtir une variété de concepts que l'on est loin d'avoir épuisée. Par ailleurs, l'expression des problématiques posées par le milieu industriel est extrêmement fertile pour l'émergence de directions de recherche novatrices. Mentionnons en particulier l'utilisation de ces matériaux dans l'aéronautique civile qui requiert l'abaissement de leur coût, leur production à une échelle très supérieure à l'échelle actuelle et des durées de vie élevées. A cette fin, des solutions sont à trouver en termes de matières premières, d'architecture des matériaux, de connaissance du comportement et de procédés d'élaboration.

Concernant le projet du LCTS, bien que les axes de recherche proposés dans le projet incluent des orientations déjà existantes dans le passé, de nouvelles priorités sont proposées. C'est en particulier le cas de l'axe 1 avec une volonté forte du laboratoire de porter un effort sur le matériau virtuel. Cet axe regroupe des activités antérieurement disjointes et en prévoit de nouvelles.

Compte tenu de sa taille et de ses contraintes, le laboratoire est significativement ouvert sur la communauté scientifique. Il est impliqué dans plusieurs programmes de recherche nationaux regroupant de nombreux autres partenaires : CPR DDV, NACOMAT, ARCOCE, projets MATINEX, projets FUSION, PEA AMERICO, GdR SurGeCo, GIS AMA et une thèse sur cinq est en cotutelle avec d'autres laboratoires. Deux projets portés par le LCTS sont en cours d'évaluation par l'ANR.

La prise de risque existe au laboratoire et les avancées majeures dans le domaine de nos matériaux (concept d'interphase, autocicatrisation, comportement en conditions extrêmes, modélisation de l'ablation...) sont le résultat actuel de sujets à risque proposés dans le passé par le LCTS. Ces résultats sont a posteriori évidents mais étaient loin de l'être lors du démarrage de l'étude. Le projet du laboratoire met en avant un certain nombre de sujets à risque comme les nouvelles voies d'élaboration ou le recours à la nanostructuration.

Le départ du chercheur qui a la meilleure visibilité internationale est une opportunité pour le LCTS de redéfinir sa politique de publication et de communication.

Enfin, à propos du renforcement du service informatique, précisons que ce sont essentiellement les aspects calcul et capitalisation des logiciels développés au laboratoire qui sont des besoins importants du LCTS.

Le Directeur du LCTS
Docteur Francis TEYSSANDIER



Le Président de l'Université Bordeaux 1
Professeur Alain BOUDOU

