



**HAL**  
open science

## Contribution à la conductivité thermique d'un matériau composite

Michael Chauvin, Bertrand Lascoup

► **To cite this version:**

Michael Chauvin, Bertrand Lascoup. Contribution à la conductivité thermique d'un matériau composite. 17èmes Journées Nationales sur les Composites (JNC17), Jun 2011, Poitiers-Futuroscope, France. pp.82. hal-00598508

**HAL Id: hal-00598508**

**<https://hal.science/hal-00598508>**

Submitted on 6 Jun 2011

**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.

# ***Contribution à la conductivité thermique d'un matériau composite***

## ***Contribution in the thermal conductivity of a composite material***

**Michael CHAUVIN<sup>1</sup> et Bertrand LASCOURP<sup>1</sup>**

1 : Equipe Structure et Matériaux  
ESTACA-Campus Ouest  
Parc Universitaire Laval Changé Rue Georges Charpak,  
BP 76121, 53061 Laval Cedex 9  
e-mail : michael.chauvin@estaca.fr, bertrand.lascoup@estaca.fr

### **Résumé**

L'adjonction des fonctions dans les matériaux composites est un atout majeur pour élargir leurs applications dans le monde industriel. En effet, l'industrie navale s'intéresse aux matériaux composites pour réduire notamment la masse mais cette solution n'offre pas de protection électromagnétique suffisante. Il est alors nécessaire d'ajouter la fonction de blindage à ces matériaux composites pendant la phase de fabrication. De même, l'industrie aéronautique est également un exemple d'intégration de fonction. En effet, le projet A350 (développé avec 50 % de matériaux composites) met en lumière le souci majeur d'intégrer dans la conception une protection face à la foudre.

L'objectif de cette présente étude est d'intégrer une couche thermiquement conductrice au sein du matériau composite sans qu'elle soit intrusive et destructive pour le comportement mécanique de ce dernier, et cela en s'intégrant parfaitement dans le processus de fabrication avec un coût moindre. Cette fonction offre des débouchés intéressants en vue d'applications industriels comme le dévissage des ailes d'avion, ou autres.

### **Abstract**

The addition of the functions in composite materials is a main advantage to widen their applications in the industrial world. Indeed, the shipbuilding is interested in composite materials to reduce in particular the mass but this solution does not offer self-important electromagnetic protection. Then, it is necessary to add the function of armour-plating to these composite materials during the phase of manufacturing. Also, the aircraft industry is also an example of integration of function. Indeed, the A350 project (developed with 50 % of composite materials) brings to light the major problem to integrate into the conception, a protection in front of the lightning.

The objective of this present study is to integrate a layer thermally conductive within the composite material, without that it is intrusive and destructive for the mechanical behaviour of this last one, and it by becoming integrated perfectly into the manufacturing process with a lesser cost. This function offers interesting outlets there seen by applications industrial as the deicing of aircraft wings, or the other.

**Mots Clés :** matériaux composite, conductivité thermique, intégration de fonctions, cuivre, expérimental

**Keywords:** composite materials, thermal conductivity, functions integrated, copper, experimental

## **1. Introduction**

Pour des raisons environnementales et économiques, les matériaux composites sont utilisés à grande échelle dans les domaines des transports : aéronautique, automobile, navale, ... Cette utilisation massive des matériaux composites est nécessaire pour l'allégement des structures. Le point perfectible de ce type de matériau réside dans son manque de fonctionnalité, ce qui n'est pas le cas comme pour les métaux. Ils ont une haute limite élastique tout en étant capable de protéger contre la foudre, les ondes, ... De ce fait, l'intégration de fonctions dans les matériaux composites est un enjeu important pour le monde industriel. Par exemple, la protection contre la foudre est essentielle dans une structure aéronautique pour assurer l'intégrité de la structure [7]. De plus, l'industrie navale s'intéresse aux matériaux composites pour réduire notamment la masse mais cette solution n'offre pas de protection électromagnétique suffisante. Pour se faire, des études ont été réalisées pour intégrer une protection électromagnétique dans le matériau composite [1]. L'industrie

aéronautique est confrontée à d'autres problématiques comme le dégivrage des avions au sol. D'où, l'intérêt de rendre le matériau composite conducteur sur un plan thermique.

Le but de cette étude est contribué de l'adjonction de la fonction thermique dans le matériau composite. En effet, l'étude porte sur la conductivité thermique du matériau composite en intégrant une couche de cuivre dans l'épaisseur. Cette couche ne doit pas être intrusive dans le matériau composite, afin de ne pas détériorer le comportement mécanique. Dans un premier temps, une bibliographie sera réalisée afin de regarder l'impact de la couche de cuivre dans le matériau composite. Ensuite, un regard sera porté sur la conductivité thermique du matériau composite. Une description de l'approche expérimentale sera développée dans une seconde partie. La dernière partie sera consacrée à la présentation des résultats, ensuite, ils seront discutés. Enfin, une partie sera consacré à la conclusion et au suite à donner à l'adjonction de la fonction thermique dans le matériau composite.

### 1.1 Etude mécanique

Avant d'intégrer des fonctions dites « intelligente » au sein d'un matériau composite, il faut s'assurer que les propriétés mécaniques ne soient pas détériorées. Dans le cas contraire, il faut quantifier la dégradation afin de la prendre en compte lors du dimensionnement de la structure. Les études menées ont porté sur des tissus de cuivre ainsi que sur du grillage. Premièrement, une étude [6] a regardé l'influence d'un tissu nylon formé de fibre de cuivre d'épaisseur de 100 $\mu$ m (Flectron réf. 3050-113), lors d'essai quasi-statique : traction, flexion poutre courte et longue ; ainsi que des calculs. Ce tissu a été placé au centre de l'empilement de 10 couches de fibre de verre, puis à 3 couches de la surface, enfin à 1 couche. La figure 1 montre le tissu employé et incorporé dans l'empilement.

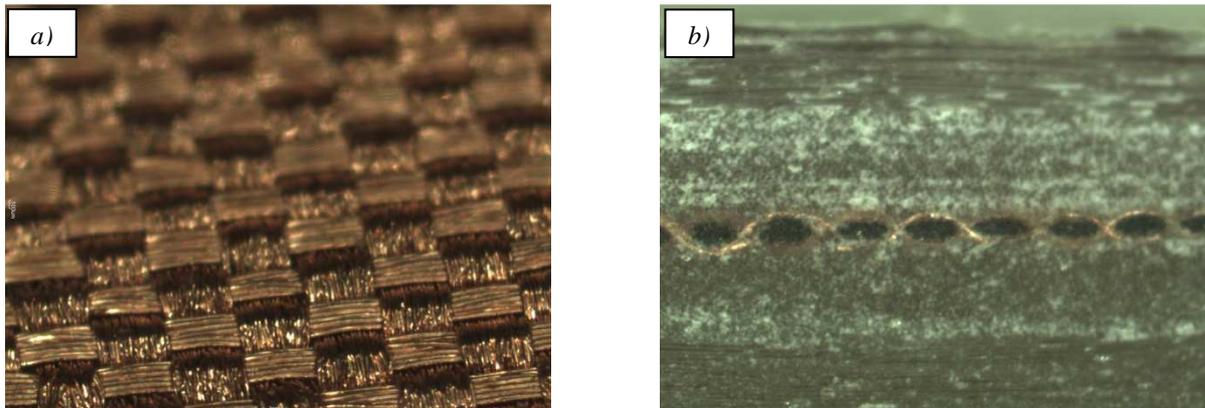


Fig. 1. a) tissu cuivre (Flectron), b) Tissu de cuivre au centre de l'empilement.

Les résultats montrent une perte mécanique de l'ordre de 20% sur la contrainte admissible, mais le module d'Young est conservé. Les modèles théoriques associés confirment les tendances obtenus pendant les essais.

Ces résultats ont été confirmés par une autre étude sur l'intégration d'une couche métallique dans l'empilement du stratifié [9]. Cette étude consistait à regarder l'influence d'un grillage en cuivre et d'un en aluminium, et des différents grammages comme le montre la figure 2.

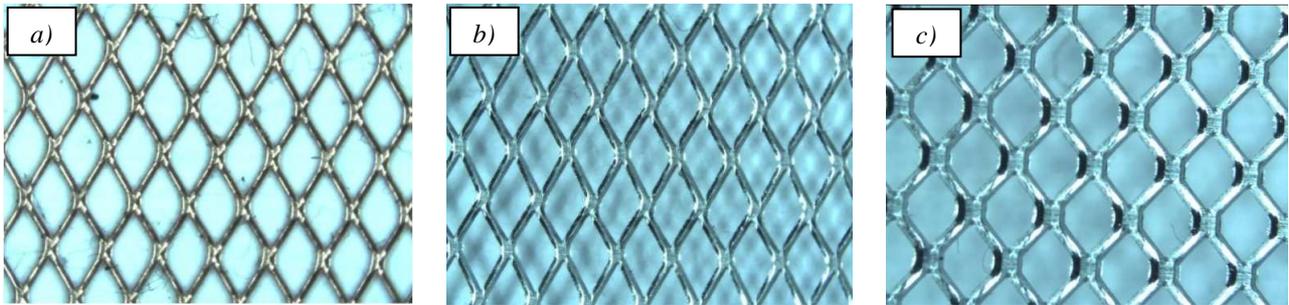


Fig. 2. a) grillage cuivre 200g/m<sup>2</sup>, b) grillage alu 200g/m<sup>2</sup>, c) grillage alu 500g/m<sup>2</sup>.

Ce grillage a été associé à de la fibre de carbone. Les résultats obtenus ont montré que l'ensemble des propriétés mécaniques était détérioré de l'ordre de 20 %, mais que le module d'Young est conservé, voir amélioré. Les paramètres qui font varier ces propriétés sont : la matière de la couche, l'orientation du maillage et le grammage du grillage.

Maintenant que l'influence de la couche au sein de l'empilement a été étudiée, il est intéressant de regarder le comportement thermique des matériaux composites.

## 1.2 Etude thermique

Le défaut majeur dans un matériau composite est sa faible conductivité thermique, voire inexistante. Pour améliorer cette caractéristique, une étude montre que l'utilisation de fibres courtes de cuivre améliore la conductivité thermique du matériau [10]. Cette étude s'appuie sur une matrice à base de PMMA (Polyméthacrylate de méthyle) associée à des fibres de longueur 20 mm, comme le montre la figure 3.

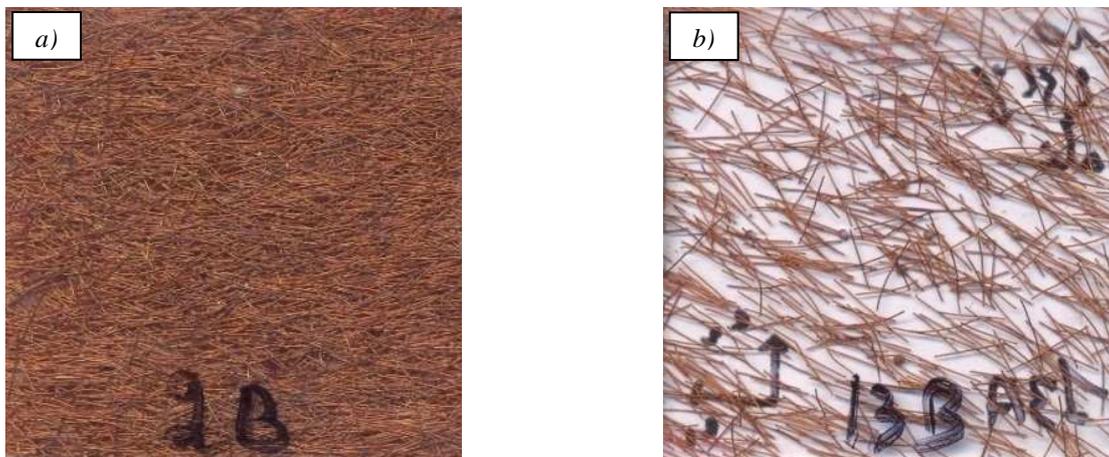


Fig. 3. a) forte concentration de fibre de cuivre, b) faible concentration de fibre de cuivre.

Les résultats obtenus montrent que la conductivité thermique est améliorée par la densité des fibres de cuivre, et que l'orientation des fibres permet de privilégier une direction pour la conductivité. Ces résultats [8] ont été obtenus avec un moyen expérimental qui s'affranchit de la convection et du rayonnement. De plus, les contacts entre fibres, sont essentiels pour la transmission de la chaleur dans le matériau. L'auteur a aussi réalisé une étude théorique de la propagation de la chaleur au sein du matériau, comme le montre la figure 4. Le modèle permet de corréler la théorie avec les mesures expérimentales via un modèle semi-empirique.

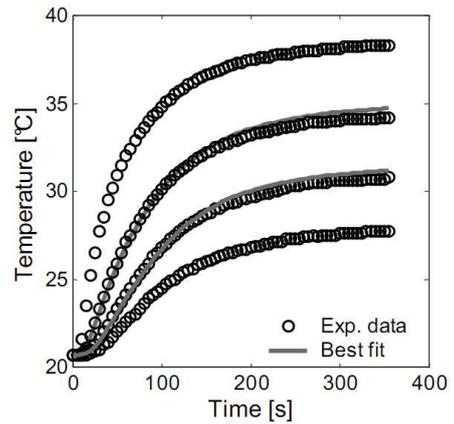
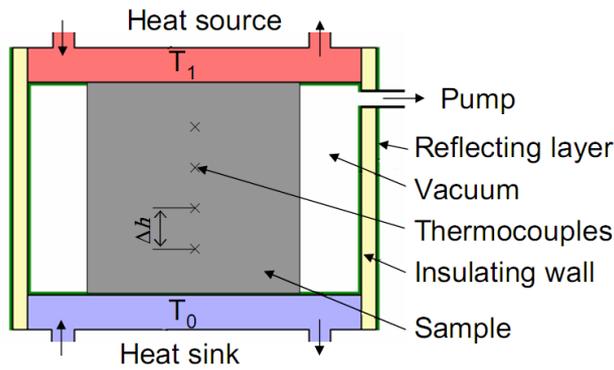


Fig. 4. a) moyen de mesure b) évolution de la température : expérimental et numérique.

En conclusion, les études mécaniques ont mis en évidence qu’il fallait compter sur une perte de performance de l’ordre de 20% sur les propriétés mécaniques du matériau composite. Elles sont principalement influencées par la nature de la couche : cuivre ou aluminium. ; Et par l’orientation du grillage implanté. En revanche, la position de la couche dans l’épaisseur de l’empilement n’a pas vraiment d’influence directe sur les propriétés mécanique de ce dernier. En ce qui concerne les études thermiques, les résultats montrent la conductivité thermique dans le matériau en PMMA grâce à l’utilisation de fibres courtes de cuivre. La conductivité thermique dépend de l’orientation de fibres et de sa concentration au sein du matériau.

La présente étude est consacrée à la conductivité thermique dans un matériau composite dans un environnement qui prend en compte les phénomènes de conduction, de convection et de rayonnement. Avant de présenter les résultats obtenus, une description du protocole d’essais est nécessaire.

## 2. Protocole d’essais

Cette partie est consacrée au matériau fabriqué et aux moyens d’essais mis en place, pour l’étude.

### 2.1 Matériaux

Le matériau se compose d’un renfort en mat de fibre de verre associé à la résine polyester. Le choix du renfort s’est porté sur du mat pour éviter de privilégier une orientation particulière dans le matériau composite. Pour l’élément conducteur, le choix s’est porté sur un grillage en cuivre de 400g/m<sup>2</sup> pour avoir un contact dans la couche de cuivre. La position de la couche de cuivre varie dans l’épaisseur du matériau comme le montre la figure 5. Le matériau contient 4 couches de mat et une couche de cuivre.

Couche 2	Fibre de verre	Cuivre
Couche 1	Fibre de verre	Fibre de verre
Couche 0	Cuivre	Fibre de verre
Couche -1	Fibre de verre	Fibre de verre
Couche -2	Fibre de verre	Fibre de verre

Fig. 5. Vue en coupe du matériau composite avec une couche de cuivre au milieu.

Le tableau 1 résume les caractéristiques thermiques des matériaux utilisés pour la présente étude.

Matériau	Cuivre	Mat de fibre de verre	Résine Polyester
Conductivité thermique à 20°C (W/m × °C)	380	1	0.2

Tab. 1. Caractéristiques de matériaux sélectionnés.

Le matériau composite a été fabriqué avec la méthode de fabrication RTM (Resin Transfer Moulding). La figure 6 montre le matériau obtenu avec une couche de cuivre au centre.

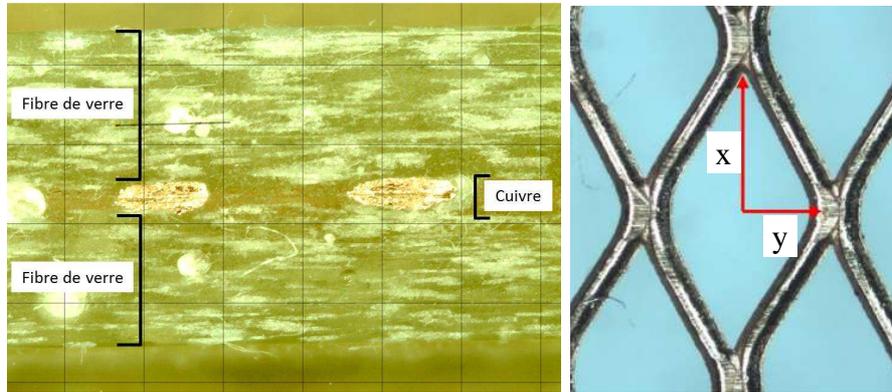


Fig. 6. Vue en coupe du matériau avec une couche de cuivre et de l'orientation de la maille.

Pour réaliser les essais, deux types d'éprouvette ont été usinées. La première dite « éprouvette A » a pour dimension 1,5 cm de largeur et 10 cm de longueur. Cette dernière permet d'étudier la diffusion de la chaleur dans la longueur de l'éprouvette. Le sens de la longueur correspond à la direction privilégiée du grillage en cuivre. La seconde éprouvette dite « éprouvette B » permet, à la fois, de regarder la diffusion de la chaleur dans l'épaisseur de l'éprouvette, mais aussi, sur les surfaces. Cette dernière est un carré de 15 cm de côté. Les éprouvettes ont une épaisseur de 4,2 mm.

## 2.2 Moyens expérimentaux

La mesure de température s'effectue en surface ou au cœur du matériau, à l'aide de thermocouple de type K. La source de chaleur est générée par un dissipateur à effet Peltier.

Pour l'éprouvette A, les thermocouples sont placés au milieu de l'éprouvette, comme le montre la figure 7. Le premier thermocouple  $T_0$  mesure la température de la source de chaleur. Les thermocouples de  $T_1$  à  $T_3$  mesurent la chaleur diffusée dans le matériau. Le thermocouple  $T_4$  sert à déterminer la température extérieure du matériau, ce qui va permettre d'analyser les résultats en relatif. Le temps d'acquisition pour cette éprouvette est de 1250s.

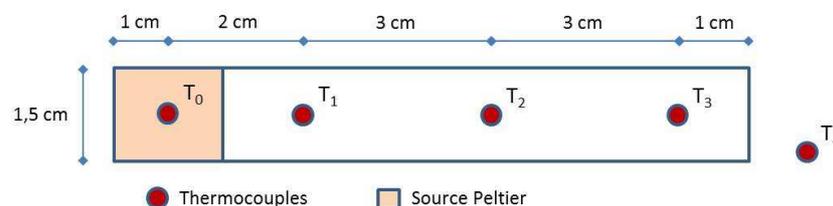


Fig. 7. Implantation des thermocouples et de la source de chaleur pour l'éprouvette A.

Pour l'éprouvette B, les thermocouples de  $T_0$  à  $T_7$  relèvent les valeurs des températures sur la face portant la source de chaleur. A l'inverse, les thermocouples de  $t_9$  à  $t_{15}$  mesurent les températures sur la face opposée. Le dernier thermocouple  $T_8$  enregistre la température extérieure durant l'essai. L'objectif est d'analyser la conduction de la chaleur dans l'épaisseur. La figure 8 montre la

disposition des différents thermocouples, ainsi que celle de la source de chaleur. Le temps d'acquisition sur cette éprouvette est de 2500s.

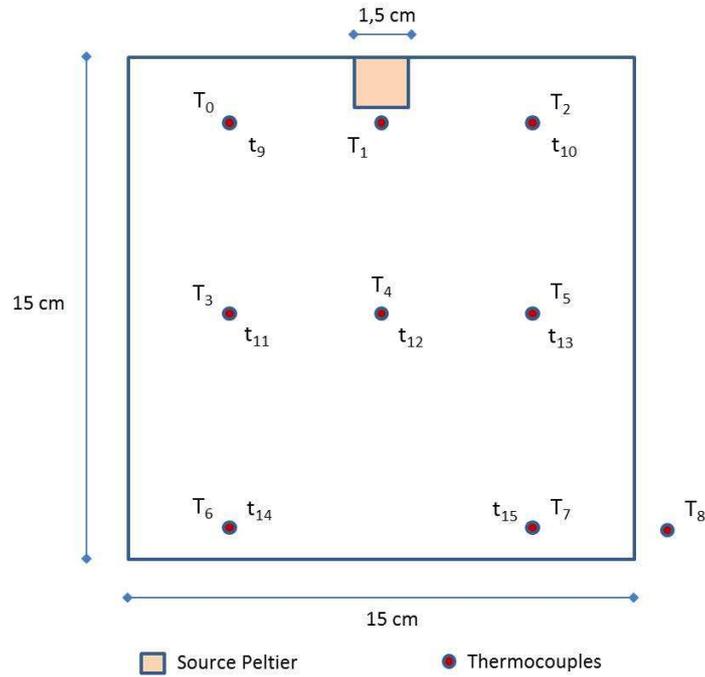


Fig.8. Implantation des thermocouples et de la source de chaleur pour l'éprouvette B.

La figure 9 montre l'équipement utilisé pour effectuer les mesures de température sur les éprouvettes.

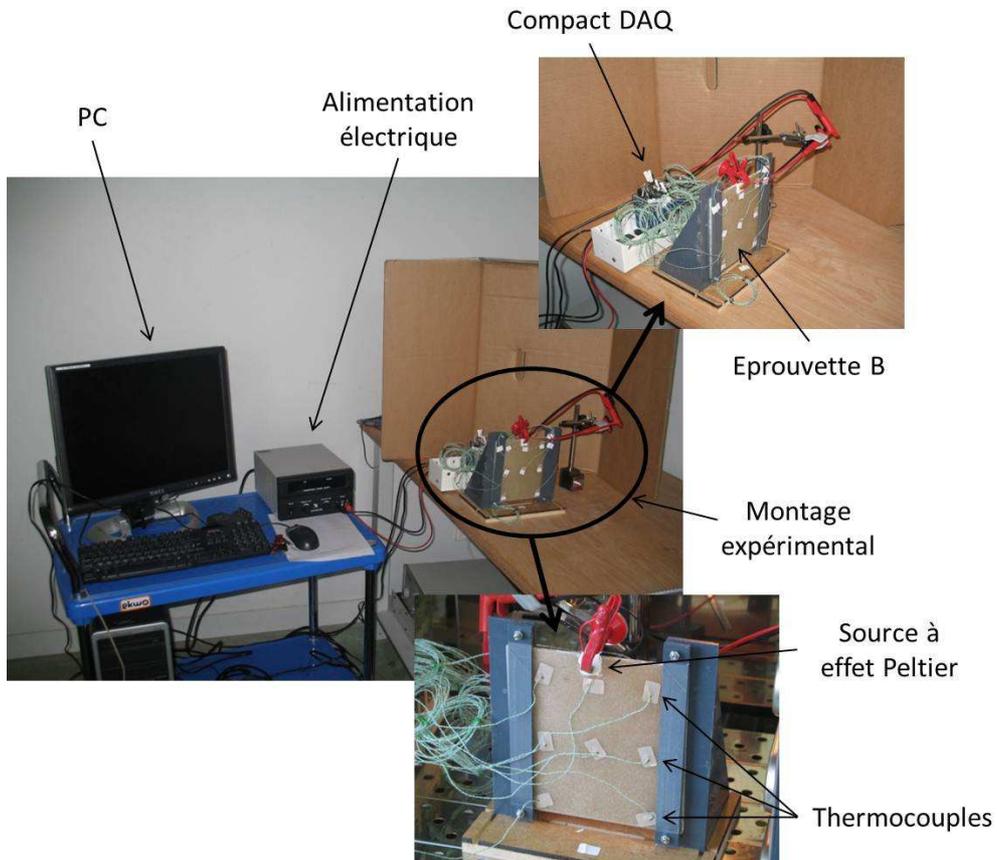


Fig.9. Montage expérimental et chaîne d'acquisition.

Cet équipement se compose d'un ordinateur associé à un Compact DAQ de 16 voies sur lesquels les thermocouples sont reliés. Une alimentation stabilisée permet de contrôler la source de chaleur en voltage. Les thermocouples sont répartis sur l'ensemble de l'éprouvette considérée. Durant l'essai, le montage expérimental est placé dans une enceinte thermique afin de maintenir une température de 25°C. Ces essais sont effectués en conservant les phénomènes de convection et de rayonnement.

### 3. Résultats et discussion

Les courbes représentent l'évolution de la température relative en fonction du temps, dans la couche de cuivre et dans l'épaisseur du matériau, avec et sans graisse thermique. Les tendances des courbes sont similaires aux études antérieures sur la conductivité thermique [8] et qui prennent en compte uniquement la conduction.

#### 3.1 Eprouvette A

La figure 10 a et b représente l'évolution de la température relative en fonction du temps.

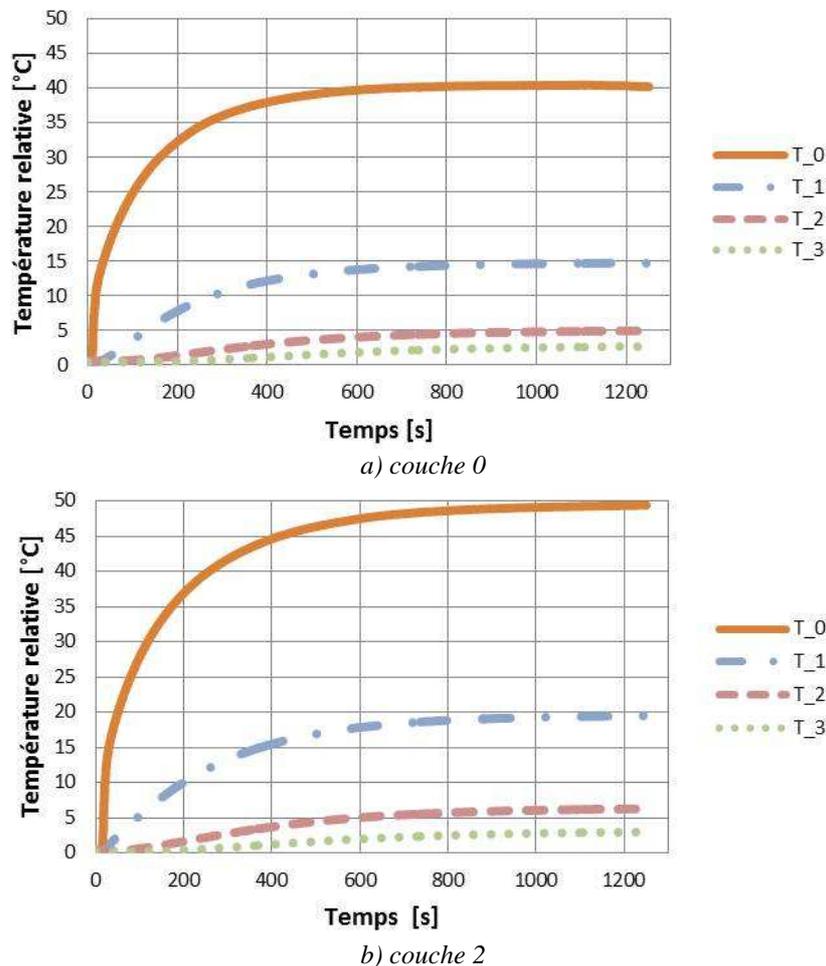


Fig.10. Evolution de la température dans l'éprouvette A : a) couche 0, b) couche 2.

Les courbes de la figure 10 sont l'évolution de la température des thermocouples au contact de la couche 0. La courbe T<sub>0</sub> est l'évolution du thermocouple au contact de la source de chaleur. Les autres courbes (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>) représentent celles en contact du grillage de 400g/m<sup>2</sup>. La diffusion thermique dans le matériau s'effectue bien. Mais, la perte entre la source et le reste de l'éprouvette est importante. Ces pertes peuvent être imputées à la diffusion dans la couche, car les résultats sont le reflet la diffusion de chaleur dans la longueur de l'éprouvette.

La différence de température existant entre les deux figures a et b est dû au contact dans la source de chaleur et le grillage. Ceci peut s'ajouter aussi aux pertes empêchant une bonne diffusion de chaleur.

Pour améliorer le contact entre la source et la couche, une graisse thermique a été utilisée. Les résultats obtenus sont montrés sur la figure 11.

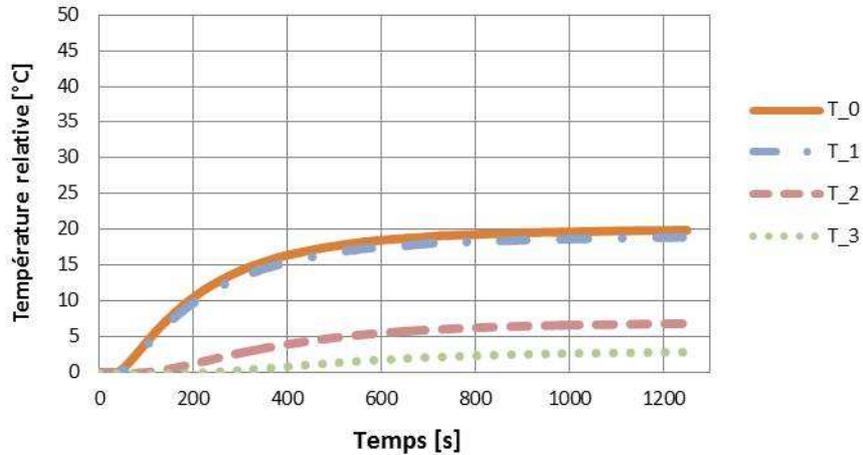


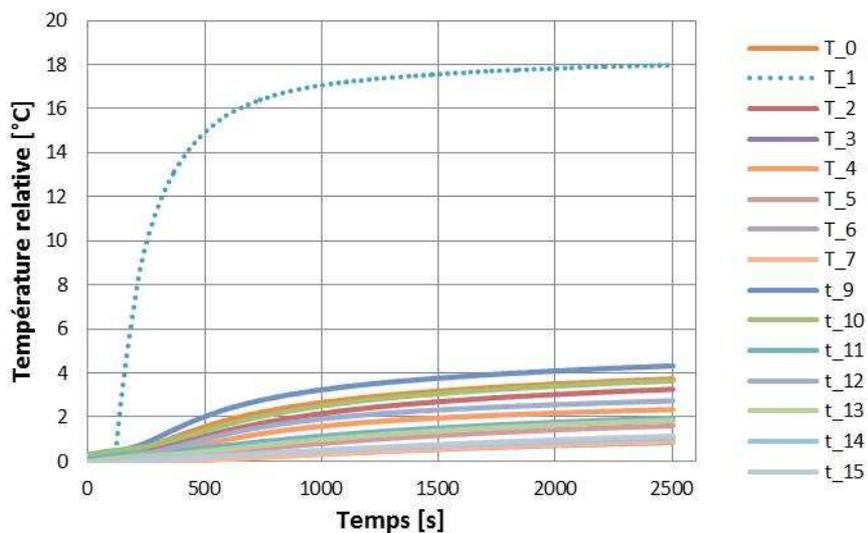
Fig.11. Evolution de la température dans la couche 0 avec graisse thermique.

Cette figure confirme l'utilité de la graisse thermique pour améliorer la diffusion de la chaleur dans la couche. Mais, le gain sur la diffusion de la température, n'est pas significatif. Ce manque de diffusion thermique au cœur du matériau composite est lié au comportement de la résine.

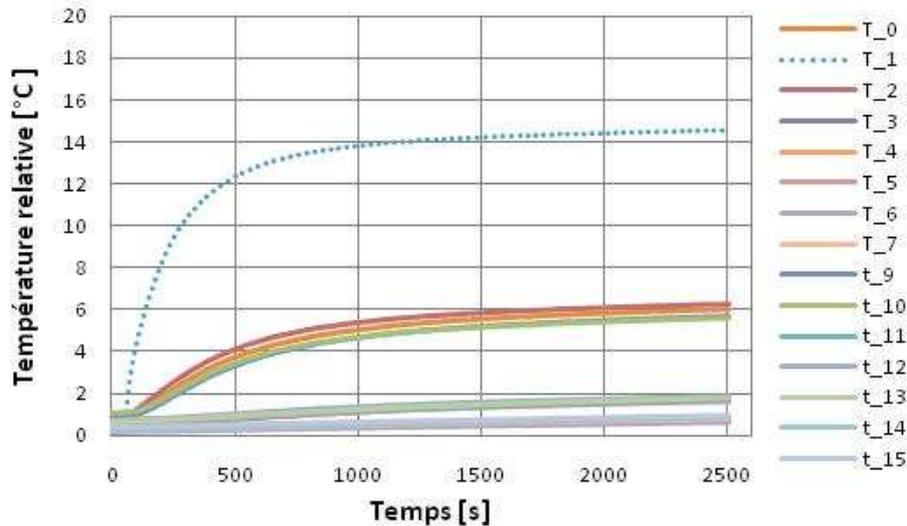
Maintenant, les résultats vont se porter sur l'éprouvette B. L'objectif des essais sur cette éprouvette est regardé la diffusion de la chaleur sur une surface importante mais aussi dans l'épaisseur du matériau.

### 3.2 Eprouvette B

La figure 12 a et b représente l'évolution de la température relative en fonction du temps aux surfaces de l'éprouvette B.



a) source de la chaleur sur la couche 0



b) source de la chaleur sur la couche 2

Fig.12. Evolution de la température en surface.

La figure 12a montre que la diffusion thermique s'effectue bien dans l'épaisseur du matériau. A l'inverse, la diffusion dans l'ensemble de l'éprouvette est identique aux observations faites avec l'éprouvette A.

Concernant la figure 12b, la diffusion de la chaleur est différente. Une augmentation de la température est observable sur les thermocouples : T<sub>0</sub>, T<sub>2</sub>, t<sub>9</sub>, t<sub>10</sub>. Pour les autres thermocouples, leurs évolutions restent inchangées.

#### 4. Conclusion

L'introduction d'une couche de cuivre pour améliorer la fonction thermique du matériau composite entraîne une perte mécanique comme le montre plusieurs études. Cette perte doit être prise en compte dans le dimensionnement d'une structure. Concernant les propriétés thermiques du matériau, l'insertion d'une couche de cuivre n'apporte pas une solution satisfaisante pour garantir la fonction thermique. En effet, le gain de température, suite à la diffusion de la chaleur dans la couche de cuivre, n'est pas suffisant.

En perspective, une modélisation de la couche de cuivre à l'aide d'un code numérique serait intéressante, et elle permettrait d'identifier les pertes thermiques dans le matériau. Le rôle de la résine étant non négligeable pour la conductivité thermique du matériau, l'idée de rendre la résine conductrice thermiquement est intéressante pour garantir cette adjonction de fonction.

#### Remerciements Manque

Les auteurs souhaitent remercier J. Baris, V. Jacquenin, M. Larbi, pour leur assistance technique.

#### Références

- [1] M. GRESIL, « Contribution à l'étude d'un contrôle de santé intégré associé à une protection électromagnétique pour les matériaux composites ». *Thèse de doctorat de l'école normale supérieure de Cachan*, 2009.
- [2] J. CREVEL, « Etude du comportement de la protection foudre face à un impact mécanique : Fonction intégrée dans les composites aéronautique ». *Mémoire de Mastère Recherche Mécanique et Sciences pour l'ingénieur*, 2010.
- [3] J.-P. VASSAL, L. OREGAS, D. FAVIER, J.-L. LAURIAULT, « Upscaling the diffusion equations in particulate media made of highly conductive particles. I. Theoretical aspects ». *Physical Review*, E 77, 0011302, 2008.
- [4] J.-P. VASSAL, L. OREGAS, D. FAVIER, « Modelling microstructure effects on the conduction in fibrous materials with fibre-fibre interface barriers ». *Modelling Simul. Mater. Sci. Eng.*, 16, 035007, 2008.
- [5] D. MARCOS-GOMEZ, J. CHING-LLOYD, M.R. ELIZALDE, W.J. CLEGG, J.M. MOLINA-ALDAREGUIA « Predicting the thermal conductivity of composite materials with imperfect interfaces ». *Composites Science and Technology*, 2010.
- [6] M. GRESIL, « Influence sur la tenue mécanique de l'insertion d'une fonction de protection électromagnétique au sein de composites à renforts de fibres de verre ». *Comptes Rendus des JNC 16*, 2009.
- [7] Y. HIRANO, S. KATSUMATA, Y. IWAHORI, A. TODOROKI, « An experimental study on lightning damage of CFRP: Relationship between electrical properties and damage behaviour ». *14th European Conference on Composite Materials*, 2010.

- [8] J.-P. VASSAL, « Contribution à la modélisation des propriétés physiques et rhéologiques des milieux fibreux – Application à la mise en forme et aux propriétés thermiques des matériaux composites à fibres courtes ». *Thèse de doctorat de l'université Joseph Fourier - INPG*, 2007.
- [9] M. FILHON, A JANNOT, P MELOCCO, A. TAILLEPIED, « Réalisation et étude du comportement endommageable de structures composites aéronautiques intégrant une protection foudre ». *Mémoire de projet IA de l'ESTACA*, 2010.
- [10] M. KOANDA, « Conductivité thermique dans les matériaux composites ». *Rapport de stage Magistère mention Mécanique de l'université Joseph Fourier - INPG*, 2008.
- [11] D. GAY « Matériaux composites ». *5ème édition Hermès Science Publications*, 2008.