

Utilisation de la thermographie infrarouge pour la caractérisation des défauts d'un composite stratifié carbone/époxy

F. KHATHYRI¹; B. ELKIEHEL¹ ; F. DELAUNOIS²

1. ENSAO, Laboratoire Génie Industriel, Maintenance et Production Mécanique, Oujda, Maroc

f.khathyri@ump.ac.ma

belkiehel@yahoo.fr

2. Laboratoire Métallurgie, Université de Mons, Service de Métallurgie, Mons, Belgique

Fabienne.delanois@umons.ac.be

Résumé

L'utilisation croissante des matériaux composites dans les domaines industriels, impose un grand développement au niveau des techniques de contrôle non destructif (CND). Parmi ces méthodes, la thermographie infrarouge qui est devenu un ajout relativement récent. Cette technique, basée sur la mise en évidence des flux thermiques, permet d'obtenir une image donnant des informations sur l'homogénéité de la pièce examinée. Le travail présenté dans ce papier a pour but de caractériser les défauts (délaminage, porosité) dans des pièces de composite carbone/époxy, en utilisant la thermographie infrarouge. En effet, l'expérience est effectuée selon les deux modes de contrôles transmission et réflexion.

Mots clefs : *composite, CND, thermographie infrarouge, défauts.*

1. Introduction

Actuellement les matériaux composites occupent une place très importante dans les domaines de pointe vue leurs propriétés mécaniques très innovantes. En effet, ces matériaux représentent un rapport résistance/ poids élevé, l'absence de corrosion et l'amortissement des vibrations [1,2].

En revanche, les composites ont plusieurs points faibles, dont leur faible tolérance aux dommages, freine encore le développement de ces matériaux [2]. Ces dommages sont la conséquence d'impacts qui ne donnent pas lieu à la pénétration complète du stratifié peuvent causer des dommages internes à peine visible capable de réduire de façon significative la performance résiduelle d'une structure composite [1,2].

A cet effet, de nombreuses techniques d'essais non destructifs sont disponibles, mais aucune ne peut être considérée comme supérieure et très efficace. Ces techniques permettent de vérifier l'état, et de détecter les défauts sans endommager les pièces inspectées au cours de la production, soit en cours d'utilisation, soit dans le cadre de maintenances.

Parmi les méthodes d'essais non destructifs, la thermographie qui est une technique de mesure encore en développement dans l'aéronautique [3]. Elle permet d'acquérir des informations thermiques à distance, sans aucune destruction, en temps réel, et de façon

bidimensionnelle [4]. En outre, tout corps à une température différente de 0°K émet une certaine quantité d'énergie infrarouge qui peut être détectée et enregistrée par des caméras thermiques.

En utilisant cette technique, des dommages et des défauts peuvent être détectés en raison de la réponse anormale à un transfert de chaleur, en particulier pour des pièces de petite taille. En effet, cette technique a été utilisée avec succès pour les applications de surveillance de plusieurs conditions comme l'inspection des structures civiles, les équipements électriques, des déformations plastiques, la déformation à la traction, les dommages de fatigue, les mécanismes et le soudage contrôle [5].

Le but de ce travail est d'effectuer un contrôle non destructif pour caractériser les défauts artificiels de différent type, de différent taille, et à différentes profondeur présent dans un composite stratifié. Le document donne des détails sur les procédures expérimentales et l'équipement requis pour effectuer le test.

2. Technique de contrôle: TIR

Il existe deux approches pour mesurer la radiation infrarouge en C.N.D. soit une approche passive ; ou une approche active. Le principe de la thermographie active est basé sur la mesure de flux émis par le corps excité via une source externe, le plus souvent d'origine thermique ou ultrasonore. L'approche est dite passive lorsque la caméra enregistre le rayonnement infrarouge présent dans la scène [6]. La caméra infrarouge permet de visualiser le rayonnement thermique [7]. Son principe est similaire à celui d'une caméra optique.

On peut distinguer deux méthodes d'observation [8,9]: en réflexion ou en transmission.

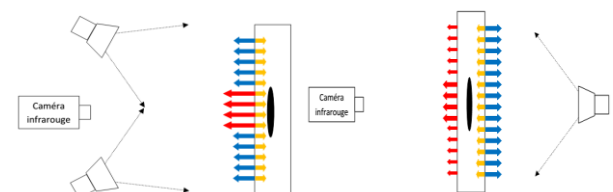


Figure 1 : Thermographie infrarouge par réflexion (à gauche) et par transmission (à droite)

3. Description des essais et conditions de mesure

3.1. Description des pièces

Ces essais ont pour objectif de contrôler deux pièces de composite carbone/époxy de type stratifié tissé, d'une épaisseur de 5 mm. Une contient 8 défauts de différent taille et à différent profondeur (des trous à fond plat pour simuler des anomalies de type porosité). Et l'autre est endommagée par un impact. Ce dernier a été créé manuellement en utilisant un marteau.



Figure 2: pièce (a) (à gauche), pièce (b) (à droite)

Dans ce qui suit on va mesurer l'erreur obtenu pour chaque cas. Cette erreur représente la différence entre la valeur mesurée et la taille réelle du défaut. Le ND représente les défauts non détectés.

3.2. Protocole d'essais

Dans cet essai on a contrôlé la pièce à distance, en utilisant les deux modes par réflexion et par transmission.

Pour cela, on a utilisé les matérielles suivant :

- Un projecteur 500 W
- Une caméra infrarouge : FLIR T440
- Logiciel : FLIR Tools

Le test s'est déroulé selon le protocole suivant :

- Extinction des lumières, l'expérience a été effectuée dans une salle sombre.
- Chauffage de la pièce 14 seconde en moyenne.

4. Résultats expérimentaux

4.1. Contrôle de la pièce (a)

4.1.1. Mode de transmission

Le dispositif expérimental utilisé en face arrière consiste à détecter le flux thermique du coté opposé à son émission.

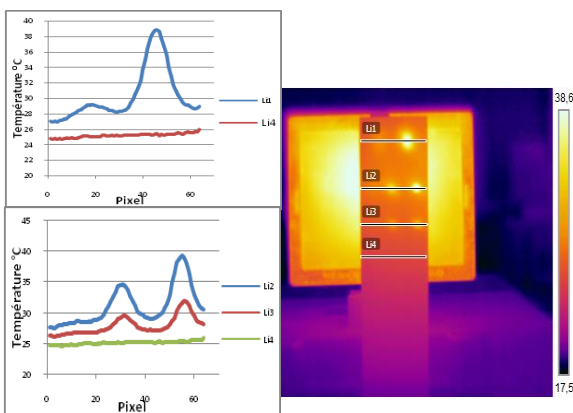


Figure 3 : thermogramme et les courbes correspondante le long des quatre lignes

4.1.2. Mode de réflexion

Dans cet essai, l'émission et la détection du flux thermique a été effectué du même coté.

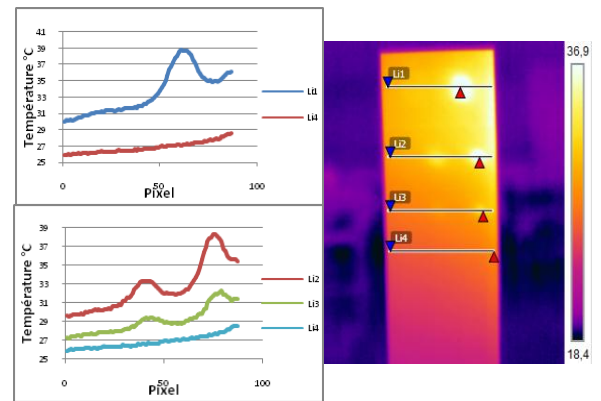


Figure 4 : thermogramme et les courbes correspondantes le long des quatre lignes

Les résultats obtenus sont représentés sous forme d'image thermique (thermogramme). D'après les figures on constate que l'augmentation de la température, indique la présence des défauts dans la pièce. Le contraste observé à la surface de la pièce dépend de la taille du défaut, de sa profondeur et de la température appliquée.

N° des défauts	Profondeur (mm)	La taille L; l (mm)	L'erreur transmission	L'erreur réflexion
1	1.5	15 ; 10	1.42	3
2	3.5	15 ; 10	4.5	ND
3	1	8 ; 8	2.54	4
4	1.5	8 ; 8	2.8	3
5	3.5	8 ; 8	ND	ND
6	1	6 ; 6	3	3.14
7	1.5	6 ; 6	3.4	3.4
8	3.5	6 ; 6	ND	ND

D'après le tableau ci-dessus, on constate que la méthode par transmission est la plus performante vue sa précision.

4.2. Contrôle de la pièce (b)

Cette dernière expérience est décomposée en deux parties:

-Dans la première partie d'essai, on a échauffé la pièce durant 70s. Les figures ci-dessous représentent les résultats obtenus chaque 14s.

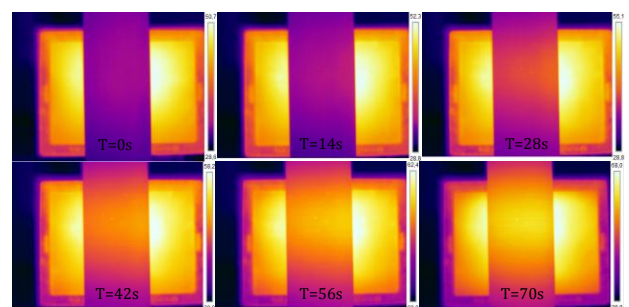


Figure 5: évolution du chauffage dans la pièce au cours de 70s.

D'après la figure (6), on remarque une augmentation de la température, indiquant la présence d'une délamination entre les plis.

L'augmentation de la durée d'excitation amplifie la réponse à la surface de l'échantillon. En effet, la zone centrale atteint la saturation pendant 42s, tandis que les zones moins endommagées chauffent plus lentement. La taille mesurée du défaut est 2,9 mm avec une erreur de 1.1 mm

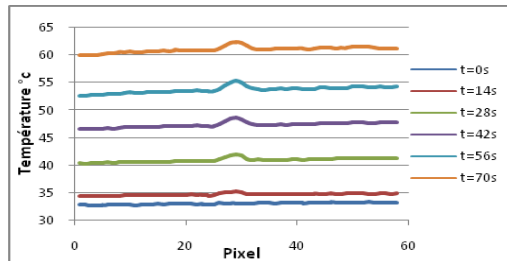


Figure 6: évolution thermique d'impact.

-Finalement, la dernière partie de cet essai, représente une séquence d'image thermique exploitant le début de refroidissement de notre pièce.

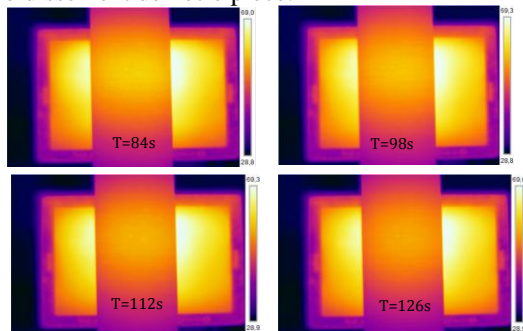


Figure 7: évolution du refroidissement dans la plaque après l'extinction de la lumière.

Le graphe ci-dessous montre bien qu'une zone délaminée refroidit plus lentement qu'une zone saine. On constate aussi que la détection de délaminage devient progressivement de moins en moins précise tandis que l'échantillon se refroidit. Ceci est dû à la propagation de la chaleur de la même manière dans toutes les directions à l'intérieur de la plaque, c'est le phénomène de diffusivité. Pour cette raison, l'analyse de la séquence de chauffage semble plus importante.

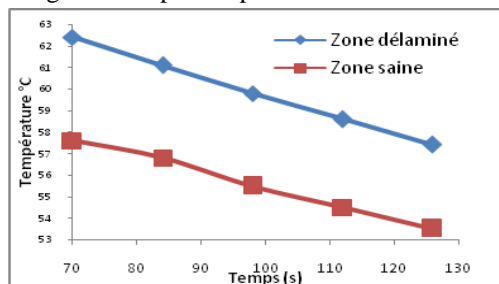


Figure 8: évolution de la température sur une zone saine et une zone délaminée lors du refroidissement.

5. Conclusion

Le but de ce travail est la surveillance d'une pièce de composite stratifié carbone/époxy de type tissé, en utilisant la thermographie infrarouge.

D'après cette étude on peut dire que la thermographie infrarouge permet d'assurer la détection des défauts.

Les résultats expérimentaux ont montré que cette technique pourrait bien mettre en évidence les zones délaminées, même pour un test qui ne dure que quelques secondes. La détection de délaminage est apparue plus précise quand il a été effectué au cours du chauffage de la plaque.

La thermographie infrarouge permet d'obtenir une visualisation globale des défauts sur la totalité de notre plaque lors d'un seul test. En effet, cette technique s'avère davantage adaptée à la détection rapide et sans contact des défauts de faibles épaisseurs. D'autre part, cette technique présente des inconvénients tels que la difficulté dans la localisation des défauts en profondeur, et la difficulté d'identifier la nature des défauts.

Références

- [1] M. Victor, "Utilisation de la thermographie infrarouge et de l'émission acoustique pour l'identification de l'endommagement d'un composite stratifié carbone-époxy", VIIIèmes Journées d'Etudes Techniques - International congress for applied mechanics JET 2014. 28 April 2014 - 30. Marrakech. Morocco, pp. 2-7.
- [2] G. Framezelle, "CONTRÔLE NON DESTRUCTIF DES STRUCTURES COMPOSITES POUR L'AÉRONAUTIQUE," non publié.
- [3] B. Ostre, "Etude des impacts sur chant appliqués à des structures composites dans l'aéronautique", Université de Toulouse. France, 2014.
- [4] K. Blilita, "CARACTERISATION OPTIQUE DES BIOMATERIAUX SOUMIS A LA FATIGUE," Université Ferhat Abbas de Sétif 1. Algérie, 2012.
- [5] Y. Zhao, "Degradation Assessment of Industrial Composites using Thermography," The Fourth International Conference on Through-life Engineering Services, pp. 1-6, 2015.
- [6] S. Guibert, "LATHERMOGRAPHIE EINFAROUG EÀ DÉTECTIO NSYNCHRON EAPPLIQUÉ EAUX MATÉRIAUX COMPOSITES," Université Laval. Québec, 2007.
- [7] E. Kuhn, "CONTRÔLE NON DESTRUCTIF D'UN MATÉRIAU EXCITÉ PAR UNE ONDE ACOUSTIQUE OU THERMIQUE. OBSERVATION PAR THERMOGRAPHIE," Université paris ouest Nanterre la Défense. France, 2013.
- [8] E. Péronnet, "Caractérisation et comparaison des limites de détection de techniques de contrôle non destructif : méthodes ultrasonores et méthodes optiques," Contrôle-Essais-Mesures, vol. 37, pp. 63-68.
- [9] A-C. Legrand. "THERMOGRAPHIE MULTISPECTRALE HAUTE ET BASSE TEMPERATURE APPLICATION AU CONTROLE NON DESTRUCTIF", Université de Bourgogne, 2002.