

## 31

# APPLICATIONS DE LA THERMOGRAPHIE INFRAROUGE AU CONTRÔLE NON DESTRUCTIF DES MATERIAUX COMPOSITES UTILISES EN CONSTRUCTION NAVALE .

F. LESBRE<sup>1</sup>, P. POTET<sup>2</sup>, F. ARTIGA<sup>1</sup>.

**Résumé** - Les matériaux composites utilisés dans la construction navale utilisent principalement des fibres et tissus de verre et des résines époxyde, pour les structures monolithiques et des mousses syntactiques ou bois de balsa pour l'âme des structures sandwichs. Les méthodes de contrôles non destructifs traditionnelles, tels que les ultrasons ou la radiographie, ne permettent pas toujours d'assurer un contrôle parfait de la structure, principalement à cause de la forte hétérogénéité des matériaux mis en oeuvre. Pour pallier ces problèmes, la DCN a développé un moyen d'essai fondé sur l'utilisation de la thermographie infrarouge active. La technique mise en oeuvre consiste à éclairer la structure avec une lampe de puissance et à observer le refroidissement de la surface à l'aide d'une caméra infrarouge. Les défauts présents constituent des obstacles à la transmission de la chaleur dans le matériaux et donnent naissance en surface à des anomalies thermiques détectées par la caméra infrarouge. Ce moyen d'essai, d'abord développé au laboratoire sous la forme d'un prototype est actuellement utilisé industriellement dans un chantier de construction de la DCN. Cette communication décrit tout d'abord les principes fondamentaux de la technique et les applications en laboratoire. Deux applications industrielles sont ensuite présentées : le contrôle de ponts passerelles à la DCN Lorient et le contrôle de l'enrobage verre-époxy d'un arbre de transmission.

Mots clés : thermographie, infrarouge, NDT, sous-marin.

<sup>1</sup> STCAN/MSN, 8 bd Victor, F-75015 PARIS.

<sup>2</sup> CEDIP, 1 rue A. Einstein, F-77436 MARNE LA VALLEE.

## INTRODUCTION

La Direction des Constructions Navales emploie des matériaux composites lors de la réalisation de bâtiments de surfaces antimines ou de superstructures implantées sur sous-marins. Les matériaux utilisés sont généralement constitués de fibres de verre et d'un liant résine époxyde ou polyamide. Selon les cas, on élabore des matériaux monolithiques ou sandwiches, dans le dernier cas, l'âme du sandwich est constituée de mousse syntactique ou de balsa. Les matériaux verre-résine sont également employés pour les protections anticorrosion, notamment en ce qui concerne les arbres porte-hélices de sous-marins. Dans ce cas, les parties sensibles à la corrosion sont revêtues de couches de CVR de quelques millimètres d'épaisseur.

Les techniques traditionnelles de contrôles non destructifs, telles que les ultrasons ou la radiographie sont peu adaptées au contrôle des matériaux composites verre-résine, essentiellement pour les raisons suivantes :

- les structures composites verre-résine sont constituées de sous-structures de taille voisine de la longueur d'onde des ultrasons ; ceci a pour effet de disperser et de ce fait d'atténuer considérablement les ondes acoustiques. On est donc conduit à utiliser des capteurs US de fréquence basse, ce qui diminue la résolution ;
- les défauts recherchés dans ces matériaux, essentiellement des délaminages, ne sont pas directement détectables par radiographie. Lorsque ceux-ci sont débouchants on peut éventuellement utiliser un opacifiant à base d'iodure de zinc.

La DCN a donc développé, au cours des dix dernières années, des méthodes nouvelles de CND permettant de faire face aux exigences de contrôle de ces nouveaux matériaux. Parmi ces méthodes on trouve la thermographie infrarouge, les hyperfréquences et l'impédance mécanique.

## RAPPELS SUR LE CND PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE.

Les méthodes de CND par thermographie infrarouge utilisent, d'une part, une caméra infrarouge et, d'autre part, un système d'illumination permettant de transmettre à la pièce à contrôler un échauffement. Les caméras utilisées sont sensibles dans les deux bandes principales de longueur d'ondes, infrarouge court (3 à 5 $\mu$ m) et

infrarouge long (8 à 12  $\mu\text{m}$ ). Pour le contrôle de matériaux constitués de verre-résine, les systèmes d'illumination sont constitués de tubes à quartz rayonnants, de puissance électrique variant entre 1 et 20 kW.

Lorsque l'on éclaire une structure composite avec un flux lumineux bref, la lumière est absorbée en surface et transformée en chaleur. La diffusion de la chaleur s'opère dans le volume de la pièce et les éventuels défauts agissent comme des barrières à cette diffusion, ce qui a pour effet de donner naissance en surface à des points chauds au droit des défauts. Lorsque la caméra observe la face arrière de la structure (par rapport à l'illumination) la présence des barrières thermiques, liées aux défauts, se manifeste par des points froids.

La DCN a développé un banc de contrôle des matériaux composites exploitant ce principe. La figure 1 est une vue de ce banc, qui est composé des éléments suivants :

- une caméra infrarouge, sensible dans la bande 3 à 5  $\mu\text{m}$ , refroidie à l'azote liquide ;
- une rampe de chauffage surfacique à base de tube quartz focalisée de 5 kW qui permet de déposer de l'énergie photothermique selon une ligne du matériau ;
- un portique permettant de déplacer la lampe à quartz selon plusieurs vitesses.

## **CONTROLE DE PONTS PASSERELLES DE SOUS-MARINS**

Une application industrielle de cette technique a été mise en oeuvre à la DCN Lorient. Des structures de ponts passerelles, destinées à enrober certaines parties de la coque des sous-marins sont fabriqués en matériaux composites sandwichs. La structure est constituée d'une peau en composite verre-résine et d'une âme en mousse syntactique. L'épaisseur de la peau varie entre 8 et 15 mm. La jonction âme-peau est assurée par un liant de type mastic d'environ 2 mm d'épaisseur. Les structures sont de grandes tailles, typiquement 3 m par 5 m et reposent au sol. Les difficultés de fabrication de ce type d'assemblage donnent naissance à de mauvais collages localisés à l'interface âme-peau, et, plus particulièrement, à des retraits dans le mastic.

Les premiers essais de thermographie réalisés au laboratoire sur des échantillons témoins ont permis de détecter de nombreux défauts à l'interface âme-peau. Après expertise, le procédé d'assemblage de la peau sur l'âme a été mis en cause. Un nouveau procédé de fabrication a été mis au point.

La figure 2 est un thermogramme en fausses couleurs correspondant à l'image d'un défaut de collage à l'interface âme-peau du sandwich.

## **CONTROLE D'ENROBAGE D'ARBRE DE TRANSMISSION.**

Afin de protéger certains organes de la corrosion, la DCN enrobe les arbres de transmission de sous-marins à l'aide de revêtements CVR. Le contrôle de la qualité et de l'étanchéité de l'enrobage est important afin de garantir la protection à la corrosion.

Une méthode permettant le contrôle partiel de l'enrobage, grâce à la thermographie infrarouge, a été mise au point. Elle consiste à illuminer une génératrice de l'arbre à contrôler et à observer, à l'aide de la caméra infrarouge, la génératrice opposée. L'arbre étant mis en rotation la caméra observe, après un demi-tour de rotation, la génératrice chauffée. La vitesse de rotation de l'arbre est déterminée de façon à permettre à la chaleur de diffuser dans tout le revêtement de CVR durant une demi-rotation. La figure 3 représente un thermogramme d'un tour complet d'un tronçon de l'arbre. On note la présence d'anomalies thermiques marquées par les points chauds sur la surface.



Figure 1. Vue du banc de thermographie développé au groupe MSN.

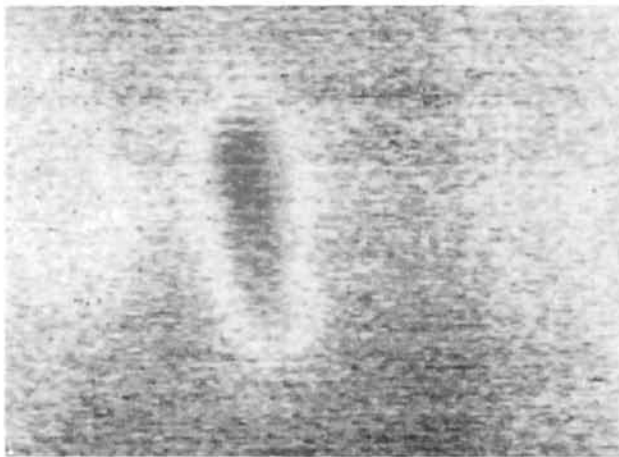


Figure 2. Thermogramme en fausses couleurs d'un défaut dans un composite sandwich verre-époxy/mousse syntactique.

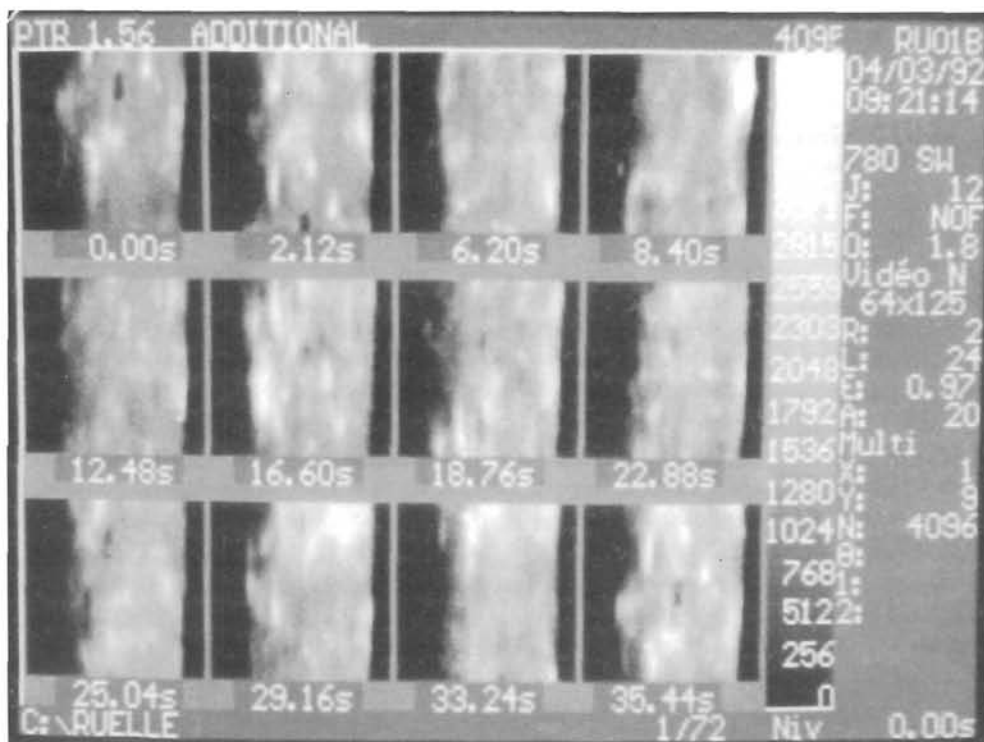


Figure 3. Thermogrammes représentant la surface développée du revêtement CVR d'un arbre porte-hélice.