

# LA CAMÉRA PHOTOTHERMIQUE ÉTAT DE L'ART ET DERNIERS RÉSULTATS

## THE PHOTOTHERMAL CAMERA – STATE OF THE ART AND LAST RESULTS

M. PIRIOU, INTERCONTROLE \*  
AREVA NP – Intercontrôle – 4, rue Thomas Dumorey – 71100 Chalon sur Saône  
email : marc.piriou@areva.com

### Résumé

La Caméra Photothermique, développée par le département END du Centre Technique de AREVA NP, est un équipement destiné à remplacer le ressuage, source de pollution pour l'environnement, de complexité pour l'industrialisation et éventuellement de dosimétrie pour les opérateurs.

La Caméra Photothermique peut être utilisée en complément ou en remplacement des techniques classiques de contrôle de surface (ressuage, magnétoscopie, courants de Foucault) pour :

- détecter sans aucun contact, des défauts sous ligaments ou débouchants de quelques microns d'ouverture, sur des pièces métalliques oxydées, usinées, soudées,
- fonctionner sur des surfaces aux géométries variées, sur des pièces chaudes, sur des matériaux isolants (diélectriques), sans être affectée par les propriétés magnétiques de la pièce à examiner.

Les derniers développements montrent qu'il est possible de détecter des défauts sous-jacents avec un ligament allant jusqu'à 6 mm et que moyennant des conditions opératoires spécifiques, il est possible de relier l'amplitude du signal d'une fissure débouchante à sa profondeur dans la gamme de 0 à 3 mm, zone où les méthodes de dimensionnement ultrasonores montrent leur limite.

### Abstract

*The Photothermal Camera, developed by the Non-Destructive Inspection Department at AREVA NP's Technical Center, is a device designed to replace penetrant testing, a method the drawbacks of which include environmental pollutants, industrial complexity and potential operator exposure. The Photothermal Camera can be operated alongside or instead of conventional surface inspection techniques such as penetrant, magnetic particle or eddy currents. With it, users can detect without any surface contact ligament defects or openings measuring just a few microns on rough oxidized, machined or welded metal parts. It also enables to work on geometrically varied surfaces, hot parts or insulating (dielectric) materials without interference from the magnetic properties of the inspected part.*

*The last results show it is possible to detect subsurface cracks with ligament and this up to 6 mm and it is possible to correlate the surface-breaking crack signal amplitude to its depth in the range from 0 to 3 mm, where the measurements by the ultrasonic methods are restricted.*

\* INTERCONTROLE, filiale d'AREVA NP, une coentreprise AREVA et Siemens

## INTRODUCTION

La co-entreprise AREVA et Siemens est leader mondial de l'énergie nucléaire. Sa mission est d'innover pour produire de l'énergie sans CO2 et acheminer l'électricité de manière toujours plus propre, plus sûre et plus économique.

La « *Caméra Photothermique* » est un exemple d'innovation comme un nouveau moyen de contrôle non destructif (CND) sans contact de défauts de surface. Cet équipement (figure 1) et le procédé physique qu'il met en œuvre (figure 2) ont été développés dans le cadre d'une collaboration avec l'organisme public de recherche ONERA (Office National d'Etudes et de Recherche Aérospatiales). Suite à ce projet de développement scientifique et industriel, et plusieurs dizaines d'années après l'avènement des techniques traditionnelles de contrôles industriels (radiographie, ressuage, magnétoscopie, ultrasons, courants de Foucault), une nouvelle technologie de CND préservant l'environnement et la santé des travailleurs est désormais disponible industriellement pour le contrôle de surface de pièces ou d'assemblages. Les derniers résultats montrent que cette technologie a des capacités qui vont au-delà de la détection pour accéder à la mesure.

## PRINCIPE

La *photothermie* est une technique non destructive sans contact dont les débuts ont commencé dans les années 60 par les travaux de LEVINE et JOHNSON, est basée sur la mesure de l'émission infrarouge issue de l'excitation thermique transitoire de la structure inspectée.

La combinaison d'un détecteur infrarouge et d'un laser servant de source d'excitation constitue la base d'une *Caméra Photothermique*. La surface à inspecter est chauffée localement au moyen d'un rayon laser focalisé. L'émission infrarouge de la surface à proximité du point de chauffage est mesurée par un détecteur infrarouge. Un balayage des flux d'excitation / détection sur la pièce à inspecter rend possible le contrôle de portions de surface sans déplacement de la caméra elle-même.

La création d'un flux transversal de chaleur dans le matériau permet la détection de défauts par l'effet de barrière thermique induit par ces défauts : quand le système d'excitation / détection (E/D) approche d'un défaut débouchant ou sous-jacent, le signal IR augmente car la diffusion de la chaleur ne s'effectue plus dans la direction du défaut. Lorsque le système E/D passe au-dessus du défaut, le signal détecté diminue puisque le défaut empêche la chaleur générée par le laser de se diffuser dans la zone de détection. Une mesure continue du signal IR pendant le balayage et la reconstruction de l'information dans une représentation 2-D permet d'afficher une image complète de la surface à examiner sur laquelle apparaît le défaut.

La *Caméra Photothermique*, son logiciel d'acquisition, son logiciel d'analyse

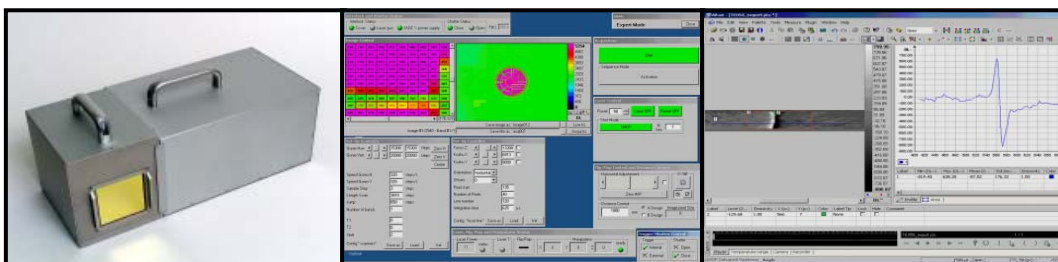


Figure 1

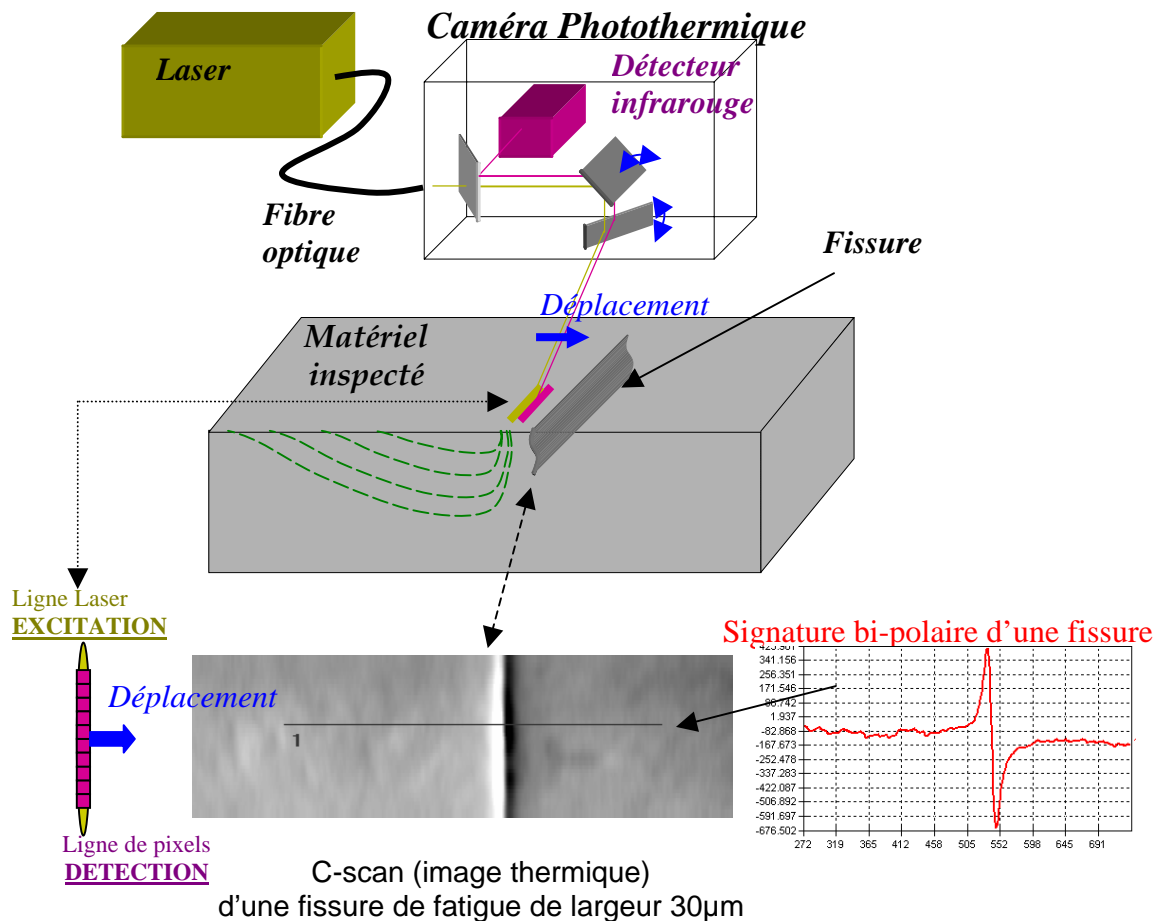


Figure 2 : Schéma de principe de la Caméra Photothermique

## EQUIVALENCE PHOTOTHERMIE / RESSUAGE

La comparaison entre la méthode *photothermique* et la méthode classique par *ressuage* a été menée sur une maquette tubulaire comportant un réseau de fissures en peau interne. Il a pu être vérifié que la sensibilité du procédé *photothermique* permettait de mettre en évidence le réseau de fissures recherché sans difficulté particulière, la profondeur de champ du dispositif optique tolérant les défocalisations induites par le balayage de la surface interne étudiée.

Aucune adaptation spécifique n'a été nécessaire pour traiter le cas proposé, que ce soit au niveau de l'optique ou de la mesure proprement dite (acquisition, traitement, restitution des images). Les résultats obtenus par *photothermie* et par *ressuage* sont présentés sur les figures 3a et 3b.

On observe la similitude de l'information finale restituée, la différence essentielle en faveur de la *photothermie* résidant dans la nature numérique de l'information: celle-ci peut donc être archivée et traitée (amélioration, quantification, classification). Cette caractéristique est attrayante du point de vue de la reproductibilité des observations, et offre la perspective d'un enrichissement de l'utilisation faite de l'information: traçabilité, comparaison avec un état antérieur, afin de suivre l'évolution d'une discontinuité rencontrée, dans le temps ou dans l'espace.

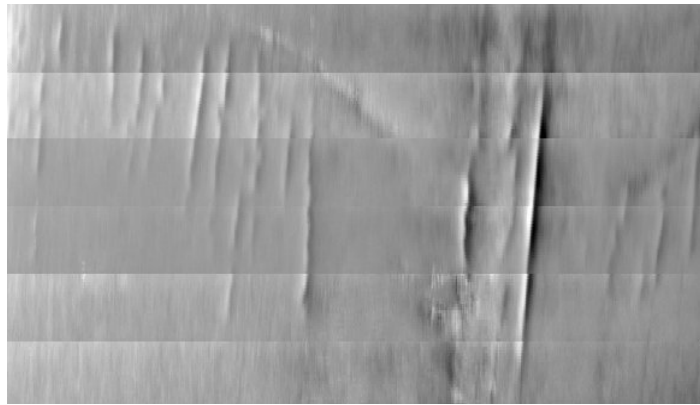
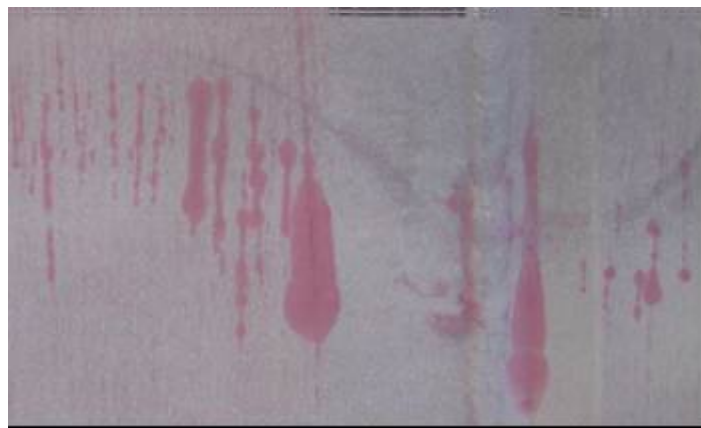
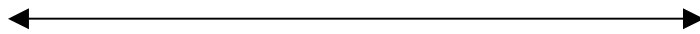


Figure 3a: Image photothermique de la maquette tubulaire



65 mm



100 mm

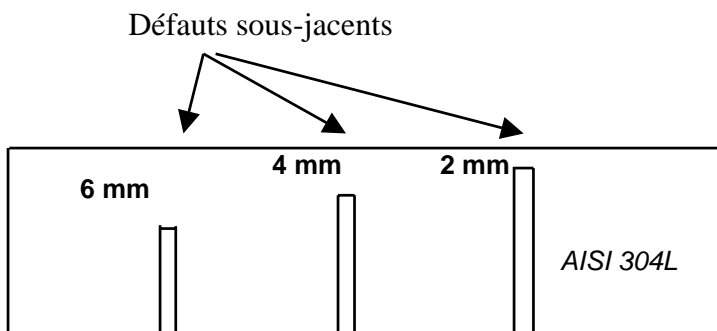
Figure 3b: Image du ressuage de la maquette tubulaire

La comparaison des indications entre les deux méthodes montre une excellente équivalence des résultats

## DERNIERS RESULTATS

### Détection de défauts sous-jacents

Une maquette comportant des entailles avec différents ligaments a été fabriquée :



Les résultats ci-dessous montrent qu'il est possible de détecter sans ambiguïté sur un alliage de type Inox, des défauts sous-jacents avec un ligament de 4 mm et plus.

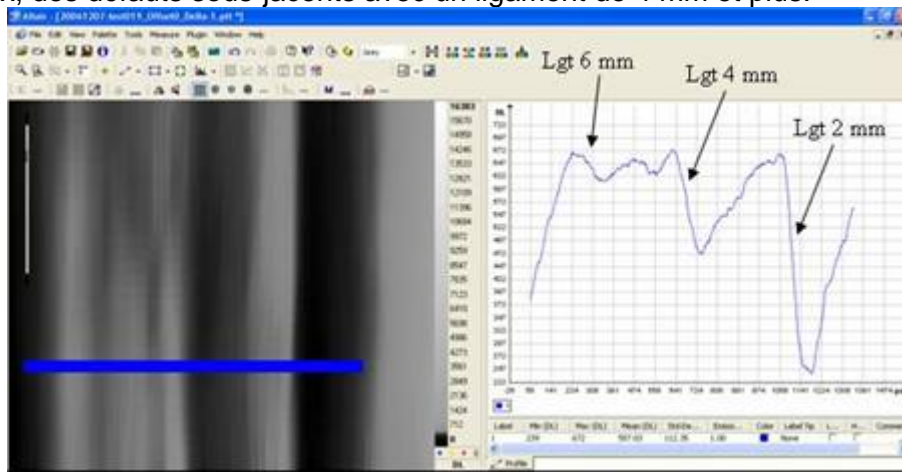


Figure 4 : Signaux thermiques de défauts non débouchants en surface

### Estimation de la mesure de la profondeur de défauts débouchants

#### Sur entailles électroérodées

Pour mener ces essais, un jeu de maquette comportant des entailles électro érodées de différentes profondeurs a été réalisé :



La courbe ci-dessous montre le comportement de l'amplitude du signal thermique en fonction de la profondeur des différents défauts pour une vitesse standard (5 mm/s) du balayage du système émission/détection de la caméra photothermique.

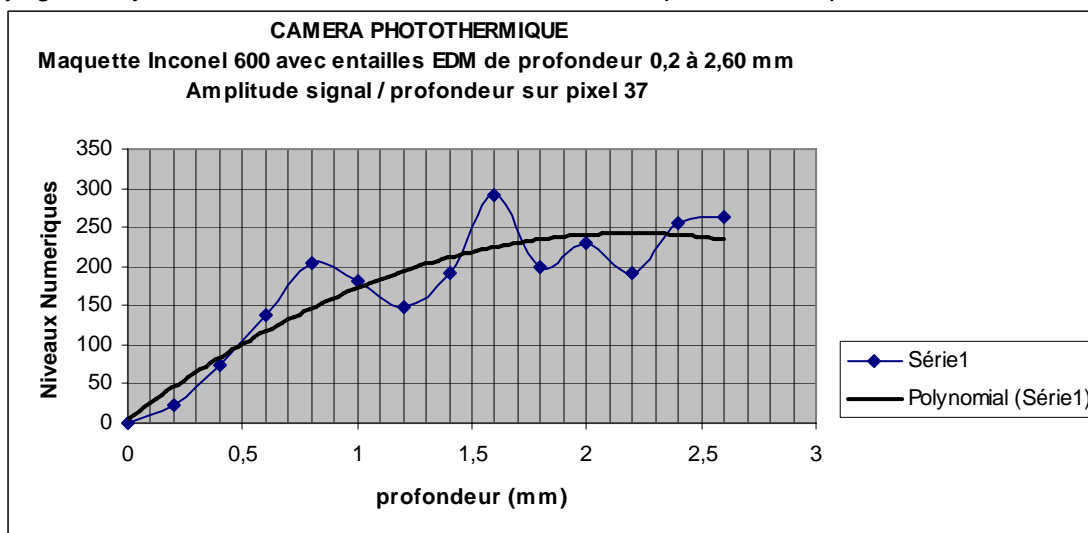


Figure 5 : Courbe Amplitude/Profondeur d'entailles pour une vitesse de 5 mm/s

Pour linéariser cette courbe il suffit de diminuer la vitesse de balayage (0,5 mm/s) :

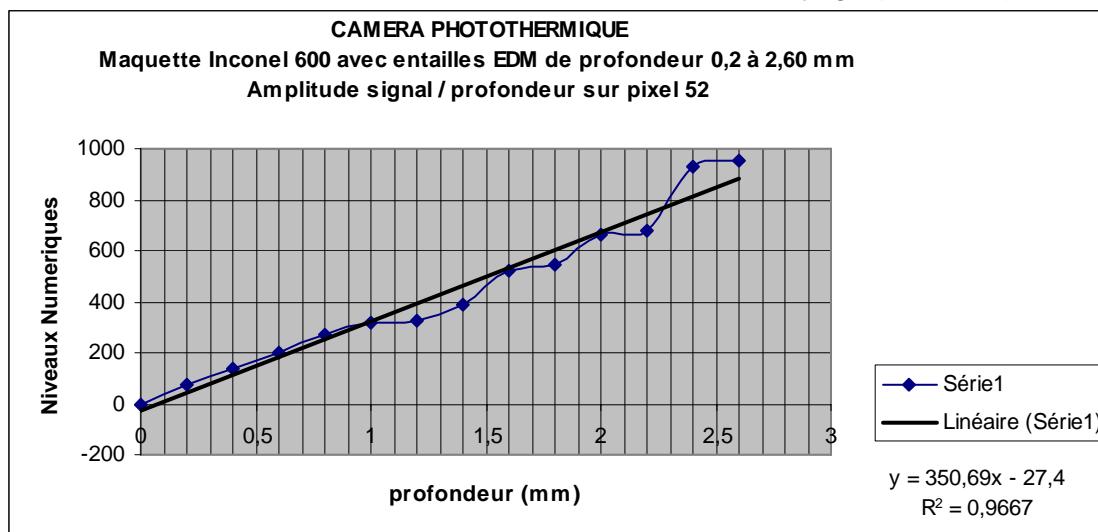


Figure 6 : Courbe Amplitude/Profondeur d'entailles pour une vitesse de 0,5 mm/s

On observe alors une très bonne corrélation entre l'amplitude du signal thermique d'un défaut et sa profondeur.

Sur fissures de fatigue

Réalisation d'un jeu de maquettes comportant des fissures de fatigue de profondeur estimée de 0,3 à 3,2 mm et d'ouverture 10 à 90 µm.

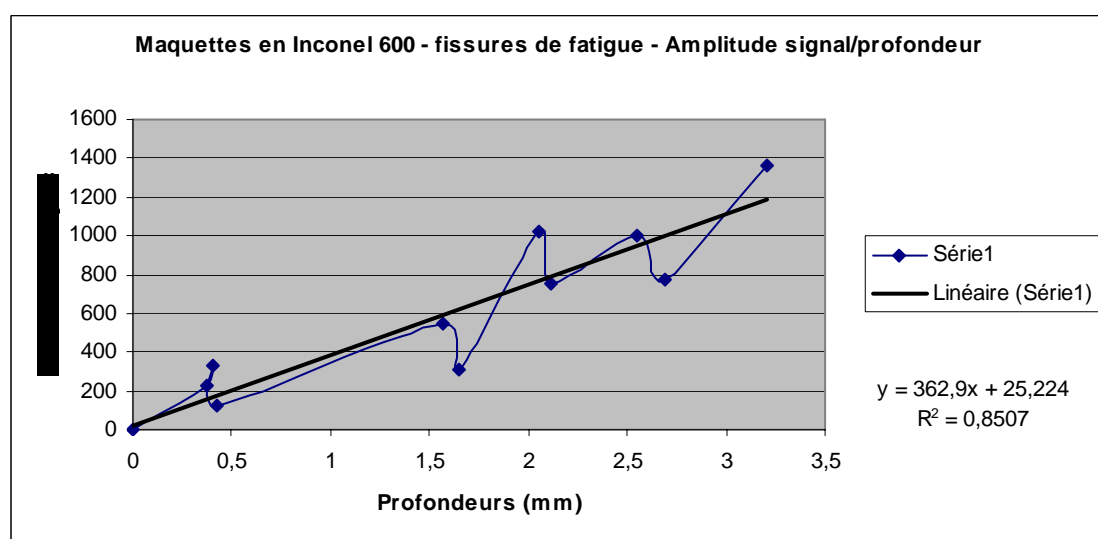


Figure 7 : Courbe Amplitude/Profondeur de fissures pour une vitesse de 0,5 mm/s

On remarque une forte tendance de la relation linéaire entre l'amplitude des signaux et la profondeur des fissures avec une dispersion plus importante des résultats qui peut s'expliquer par la mauvaise connaissance de la profondeur exacte de ces défauts (incertitudes sur les profondeurs de  $\pm 0,2$  à  $\pm 0,8$ mm). Une expertise par rayons X de ces fissures n'a pas permis de lever cette ambiguïté.

## **CONCLUSION**

La Caméra Photothermique a été développée et présentée comme une solution alternative au ressuage.

Les derniers résultats présentés montrent que cette méthode est bien plus riche :

- elle est capable de détecter des défauts sous-jacents,
- il existe une relation entre l'amplitude d'un signal d'un défaut débouchant et sa profondeur.

Des mesures complémentaires devraient permettre d'estimer le niveau de confiance qu'il est possible d'attacher à cette relation.