

# Analyse des effets de la diffraction et des interférences sur la détection des armatures métalliques de renforcement d'une paroi en béton par thermographie micro-ondes

F. Brachelet<sup>1</sup>, S. Keo<sup>2</sup>, D. Defer<sup>1</sup>, E. Antczak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ. Artois, Univ. Lille, Institut Mines-Télécom, Junia, ULR 4515 – LGCgE, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement, F-62400 Béthune, France

<sup>2</sup> CESI Brest, 2 avenue de Provence 29200 Brest, France

**RESUME** La thermographie infrarouge active associée à une excitation micro-ondes est appliquée à la détection d'un réseau vertical d'armatures de renforcement dans une paroi en béton. Les phénomènes de propagation des ondes électromagnétiques au sein de la structure sont complexes et se superposent. Ces mécanismes de réflexion, absorption, réfraction et diffraction conduisent à l'établissement d'un champ radiothermique évoluant en fonction du temps et donnant naissance à des contrastes de température relevés expérimentalement par la caméra infrarouge. Dans ces travaux sont plus particulièrement discutés les effets de la diffraction et des interférences révélés lors de l'auscultation de cette paroi expérimentale.

**Mots-clefs** Thermographie, Infrarouge, Microondes, Béton

## I. INTRODUCTION

La thermographie infrarouge (TIR) comme technique de contrôle non-destructif (CND) vise à aider à l'évaluation de l'état des ouvrages d'art en donnant des informations sur la structure interne, l'état des ouvrages et des matériaux constitutifs. Cette technique de CND est basée sur l'interprétation des contrastes de température de surface relevés par la caméra infrarouge (Maldague, 2001). Les constantes de temps des transferts thermiques au sein de ces structures étant relativement longues, il est préférable d'avoir recours à une approche active consistant à apporter une excitation énergétique extérieure à l'objet à ausculter. Dans ce travail, nous avons opté pour une excitation par un faisceau micro-ondes afin de révéler la localisation des armatures de renforcement. La propagation de ces ondes électromagnétiques dans le matériau crée des effets radiothermiques en évolutions dynamiques. A l'instar des autres méthodes de TIR, on observe en surface l'effet de la diffusion de la chaleur dans le volume sur le champ des températures.

## II. ESSAIS AVEC UNE SEULE BARRE

L'échantillon est placé face à l'antenne cornet d'ouverture 59cm x 56cm, la détection par thermographie infrarouge est faite en transmission par une caméra refroidie munie d'un capteur InSb LWIR de 340x256 détecteurs 20mK@30°C. Après avoir fait un premier essai sans barre, trois tests ont été effectués avec 3 distances de décalage différentes ( $d_g = 6, 12$  et  $18$ cm). La zone (point n°2) située derrière la barre métallique présente sur les thermogrammes une température plus faible que sur les côtés (points n°1&3), ce qui montre qu'elle joue le rôle de barrière pour les micro-ondes.

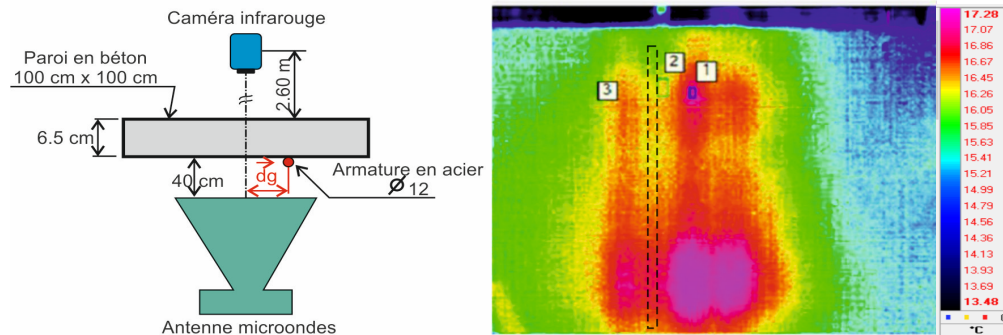


FIGURE 1. Essai en transmission et thermogramme de la face arrière pour  $d_g = 12$ cm

## III. ESSAIS EN REFLEXION SUR LA PAROI

Le béton est un matériau qui absorbe une partie des micro-ondes incidentes en fonction de sa permittivité diélectrique. Les micro-ondes qui pénètrent dans la paroi provoquent des effets de diffractions et d'interférences lorsqu'elles atteignent le réseau d'armatures métalliques. Afin d'interpréter ces phénomènes, plusieurs essais ont été effectués en réflexion et en transmission avec différentes incidences de la source ( $\alpha = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ ) et de la caméra ( $\beta = 55^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ ). La localisation des armatures par la caméra faite à deux instants distincts permet de repérer le décalage entre les emplacements réels des armatures et leurs emplacements tels qu'ils apparaissent sur le thermogramme en raison de la réflexion des ondes réfractées sur les armatures à l'intérieur du mur de béton. Les essais ont montré que le nombre d'armatures révélées augmentait pour des incidences élevées en raison de l'étalement du faisceau correspondant.

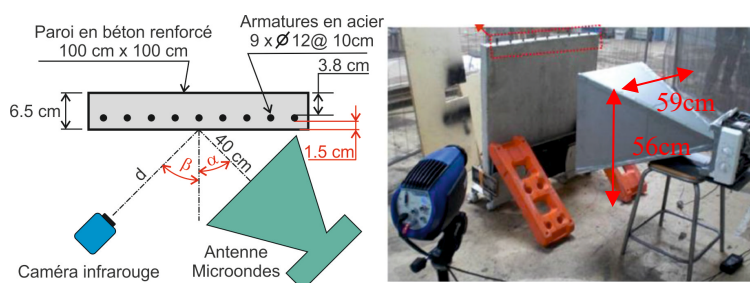


FIGURE 2. Le dispositif expérimental lors des essais en réflexion

#### IV. ESSAIS EN TRANSMISSION SUR LA PAROI

Ces essais en transmission ont été menés pour différentes incidences ( $\alpha=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ) et montrent des zones plus chaudes situées dans des intervalles entre les barres de renforcement. Ce phénomène est dû aux effets de la diffraction et des interférences

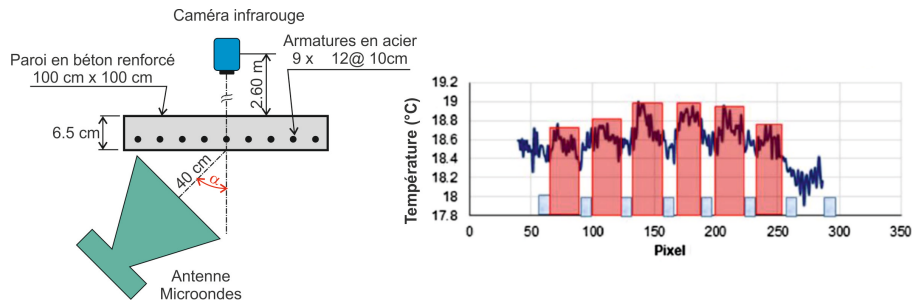


FIGURE 3. Essai en réflexion et répartition des pics de températures à  $t = 300s$ .

#### IV. RESULTATS ET DISCUSSION

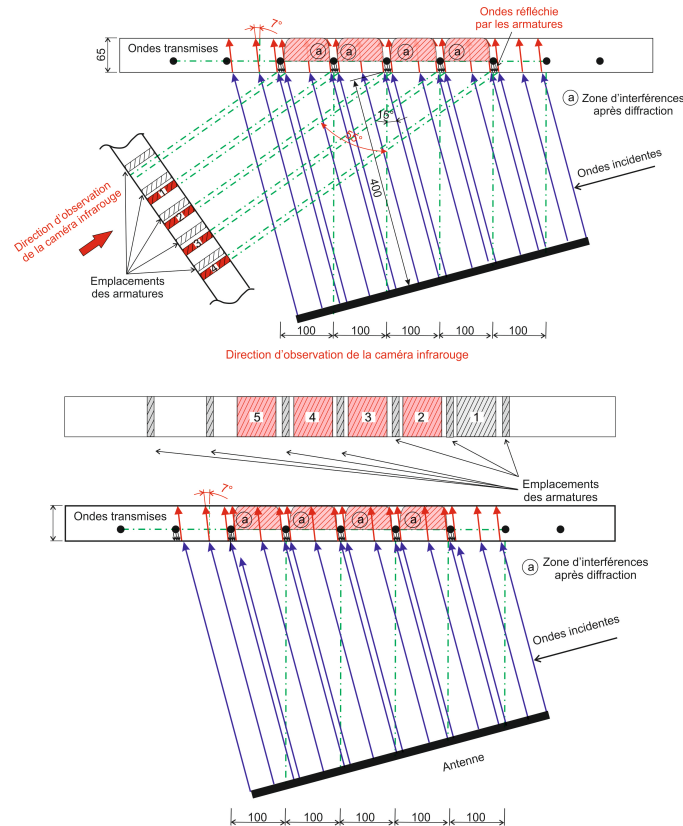


FIGURE 4. Essai en réflexion et répartition des pics de températures

L'air a une permittivité diélectrique  $\epsilon_{r1} = 1$  et celle du béton a été estimée à  $\epsilon_{r2} = 4.5$  à la fréquence du magnétron de 2.45Ghz (Rhim, 1998). Dans l'essai en réflexion, les ondes incidentes sont réfractées, dans cet exemple leur angle d'incidence varie donc de  $15^\circ$  à  $7^\circ$  pour les rayons réfractés (Moussa, 1988). Ces ondes incidentes sont donc réfractées lors du passage dans la paroi.

Elles peuvent ensuite être transmises au travers de la paroi ou réfléchies si elles atteignent une armature. La longueur d'onde du rayonnement incident dans l'air étant de 12cm à 2.45Ghz, elle est réduite à environ 6cm dans le béton. Compte tenu que l'espacement entre les armatures est sensiblement du même ordre de grandeur que la longueur d'onde du rayonnement incident, celui-ci est diffracté au passage des armatures. La diffraction produisant des ondes circulaires qui interfèrent entre elles, cela conduit à l'apparition de zones plus chaudes à l'arrière de la paroi.

#### IV. CONCLUSION

Dans cette étude portant sur l'auscultation par thermographie infrarouge, nous avons discuté des différents phénomènes de propagation intervenant lors de l'excitation par un faisceau micro-ondes d'une paroi en béton renforcé. En se plaçant dans le cadre de la théorie de Snell-Descartes, l'approche en réflexion a montré que les ondes incidentes ont été réfractées après avoir atteint la surface de la paroi et qu'elles ont ensuite été transmises dans le béton. Une partie de ces ondes a été réfléchie vers la face avant, conduisant à une élévation de la température localement plus importante. En revanche, lors des essais en transmission, les effets des ondes diffractées sont visibles en face arrière où ils provoquent des interférences conduisant à des zones de températures plus élevées.

#### REFERENCES

- Maldague, X.P (2001), Theory and practice of infrared technology for non destructive testing, Ed. Wiley
- Pajani, D. (2013), Thermographie - Principes et mesure, Technique de l'ingénieur, r2740
- Keo SA (2013) Développement d'une Méthode de Thermographie Infrarouge Active par Excitation Micro-ondes appliquée au Contrôle Non Destructif. PhD thesis. Lille Nord de France, Artois University, France, <http://www.theses.fr/2013ARTO0214>
- Keo S.A., Brachelet, F., Breaban, F., Defer, D., (2014) Steel detection in reinforced concrete wall by microwave infrared thermography. NDT E Int 62:172-177. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2013.12.002>
- Rhim, H.C., Büyüköztürk, O. (1998) Electromagnetic properties of concrete at microwave frequency range. ACI Mater J 95:265-271 <https://doi.org/10.14359/370>
- Moussa, A., Ponsonnet, P. (1988), Cours de Physiques Tome I - Optique, Ed. Desvigne
- Labarthe, J.-J., (1982), Optique ondulatoire, interférences. Diffraction. Polarisation, Ed. Techniques de l'ingénieur, A191 v1