

EFFET DE LA CORROSION DANS DES CONDUITES DANS DES STRUCTURES DE GENIE CIVILE

N.LAAIDI, S. BELATTAR*

Laboratoire d'Electronique, Instrumentation et Traitement du Signal
Faculté des Sciences, B.P 20. 24000 El Jadida, Morocco
[*belattars@hotmail.com](mailto:belattars@hotmail.com)

ABSTRACT

Les conduites dans les bâtiments nécessitent un control régulier et permanent, afin d'éviter les risques causés par la corrosion ou les fuites d'eau. Dans ce travail nous présentons une méthode thermique de contrôle non destructif des structures, basée sur la modélisation numérique en trois dimensions. Le but est d'étudier la détectabilité de ces conduites dans des situations différentes ainsi que de donner une caractérisation thermique du comportement de la rouille dans des conduites d'acier.

Mot clé : conduites, corrosion, rouille, conductivité thermique, thermographie infrarouge, éléments finis.

1. Introduction :

La détection rapide de la corrosion des conduites dans les bâtiments empêche le risque de l'humidité et/ou les fuites d'eau, étant donné que ces fuites constituent une perte d'argent et de ressource naturelle précieuse et représentent un danger pour la santé publique. [1]

La présence d'eau dans les structures, et la variation de son état (solide, liquide, ou vapeur) est fortement responsable des endommagements dans les bâtiments [2], et en principe de l'apparition de la corrosion.

Dans cet article, nous avons adopté la thermographie infrarouge comme méthode d'auscultation, puisque dans le contexte général de la construction, la thermographie est la plus utilisée généralement pour des aspects d'investigation de l'enveloppe de bâtiment, des murs et des toits [3].

Le modèle d'une structure parallélépipédique en béton contenant des conduites de forme cylindrique est adopté. Cette structure est supposée être excitée à la face supérieure par un flux thermique, la face inférieure étant maintenue à une température constante et les autres faces sont supposées thermiquement isolées. Pour différents diamètres et différents types de matériaux des conduites considérées, les effets de l'épaisseur et de la position de la couche de corrosion sont étudiés.

2. Principe de la méthode :

Lorsqu'un matériau est sollicité thermiquement (Excitation artificielle dans le cas des mesures de Laboratoire ou réchauffement de façon naturelle par le soleil dans le cas des mesures in-situ), la chaleur diffuse dans le matériau. La présence d'un défaut au sein du matériau (ex. une

fissure ou une couche rouillée) agit comme un isolant thermique et ralentit cette diffusion. Il s'en suit l'apparition d'une zone plus chaude en surface par rapport à la zone voisine sans anomalie. [4]

3. Structure du modèle :

Cette étude est menée sur une structure parallélépipédique en béton de dimensions (0.85m x 0.85m x 0.2m), et dans laquelle sont introduits des cylindres représentant les conduites à étudier, de diamètre $d=30\text{mm}$, et de longueur $l=0.5\text{m}$.

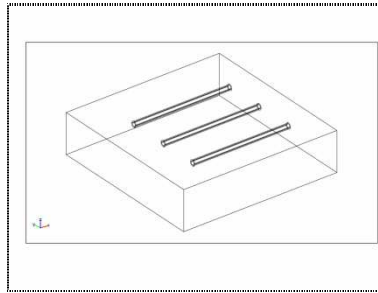


Fig.1 : structure adoptée

4. Modèle mathématique :

Pour résoudre l'équation thermique suivante :

$$a\nabla^2 T = \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

Le rapport $a = \frac{\lambda}{\rho c}$ et appelé la diffusivité thermique.

Nous faisons appel à la méthode numérique des éléments finis [5,6]. La résolution analytique est en effet impossible étant donné la géométrie du problème.

La méthode consiste à utiliser une approximation par éléments finis des fonctions inconnues T pour discrétiser la forme variationnelle de l'équation (1) et la transformer en système d'équations algébriques de la forme :

$$[A]T = F \quad (2)$$

Avec :

A matrice carrée de dimension $[N_h, N_h]$

F un vecteur de N_h composantes

T le vecteur des températures à calculer

Nous commençons par construire la forme variationnelle de l'équation (1). Nous effectuons une discrétisation spatiale qui consiste à calculer les intégrales élémentaires en utilisant la méthode des éléments finis et une discrétisation temporelle.

Il existe de nombreux logiciels spécialisés qui permettent de mettre en œuvre la méthode de résolution de problèmes par éléments finis de façon plus ou moins simple et conviviale. Ils se chargent notamment du maillage de l'objet étudié, de la numérotation automatique des éléments et des nœuds, du calcul d'une solution puis de la représentation graphique des résultats.

Dans cette étude, nous avons utilisé un logiciel commercial « Comsol » basé sur la méthode des éléments finis et qui permet de calculer l'évolution de température à tout instant et en tout point du matériau. Le matériau est considéré isotrope.

Le calcul de la réponse thermique est fait dans le cas d'une portion de bâtiment, soumise à un échelon de flux en surface sur la face avant, continu et étendu de densité $Q=40\text{W/m}^2$. La face arrière étant maintenue à une température constante $T_a = 25^\circ\text{C}$, les autres faces sont isolées ($Q=0$). On suppose que la sollicitation est appliquée de façon uniforme sur la surface considérée. La température initiale est de $T_0=25^\circ\text{C}$.

5. Résultats des simulations :

Afin de détecter les défauts dus à la corrosion ou les fuites d'eau dans les bâtiments, nous avons appliqué un flux de chaleur de densité $= 40\text{W/m}^2$, et on analyse les images thermographiques obtenues ainsi que les courbes de distribution de température sur cette face. Cette structure est formée de béton armé de caractéristiques thermophysiques : $\lambda=1.8\text{ W/m.K}$ (conductivité thermique), $\rho=2300\text{ Kg/m}^3$ (densité) et $c=385\text{ J/K.Kg}$ (capacité calorifique).

5.1. Effet de la nature du matériau :

Une structure de béton contenant des conduites de forme cylindrique, en acier, cuivre et enfin PVC, considérés remplis d'eau, est simulée. Ces conduites ont un diamètre de 30mm, leurs axes sont à une profondeur de 35mm de la surface supérieure et espacées de 20cm. Les conductivités thermiques de ces matériaux sont données dans le tableau suivant :

Matériaux	Cuivre	PVC	Acier	eau
Conductivité thermique (w/m.K)	401	0.1	44.5	0.6

Un flux de chaleur de 40W/m^2 est appliqué sur la structure du béton et la réponse à cette excitation thermique est étudiée.

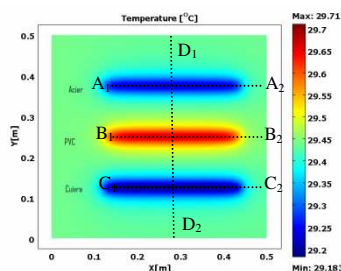


Fig. a : image thermographique simulée de la face d'entrée des conduites remplies d'eau

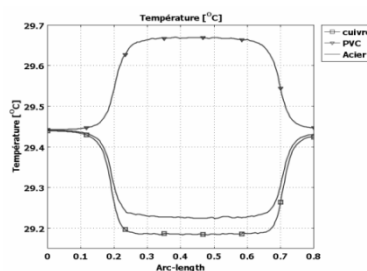


Fig. b : comparaison de l'évolution de la température sur une ligne de la surface (A_1A_2 , B_1B_2 et C_1C_2)

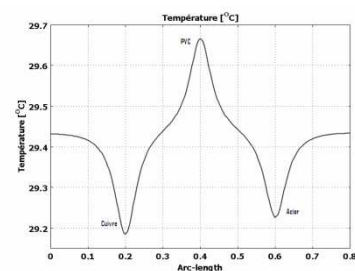


Fig. c : évolution de la température selon l'axe D_1D_2 sur la surface et perpendiculaire aux trois conduites remplies d'eau

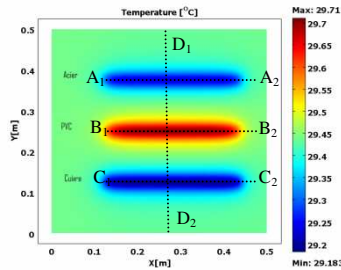


Fig. a' : image thermographique simulée de la face d'entrée des conduites vides

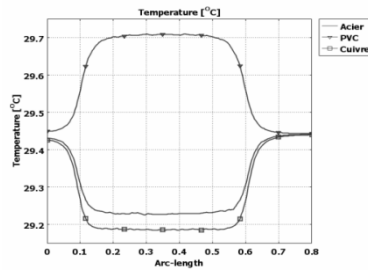


Fig. b' : comparaison de l'évolution de la température sur une ligne de la surface (A_1A_2 , B_1B_2 et C_1C_2)

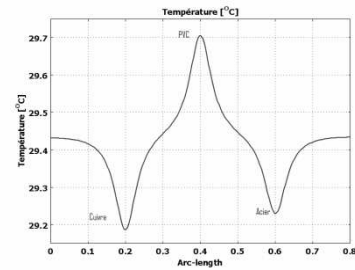


Fig. c' : évolution de la température selon l'axe D_1D_2 sur la surface et perpendiculaire aux trois conduites vides

Fig. 2 : Images thermographiques et évolution de la température des conduites étudiant l'effet de la conductivité du matériau

De ces figures, on remarque que la différence de température est plus grande dans le cas des conduites vides que celle des conduites remplies d'eau, ceci est dû au fait que les conductivités thermiques apparentes des ensembles air-acier, air-cuivre et air-PVC sont plus faibles que celles des ensembles eau-acier, eau-cuivre et eau-PVC, ce qui rend la détectabilité des défauts relativement plus facile dans le cas des conduites vides. On remarque aussi que la température est élevée pour les conduites du PVC, faible pour celles de l'acier et plus faible pour les conduites du cuivre par rapport au reste de la structure. La détectabilité relative à ces trois conduites est possible pour une caméra infrarouge de grande sensibilité.

5.2. Effet du diamètre :

Afin d'étudier l'influence de la corrosion sur les conduites d'acier par exemple, on va étudier d'une part l'effet du diamètre de la couche cylindrique de la rouille et d'autre part la position de la conduite dans la structure étudiée. Généralement l'élément rouillé est assimilé à l'eau, étant donné que les deux ont des caractéristiques très proches [7]. On a choisi la même structure de béton étudiée auparavant, contenant trois conduites d'acier, de diamètres égaux à 30 mm, 40 mm et 50 mm. Les conditions limites et initiales, étant les mêmes que dans la partie précédente.

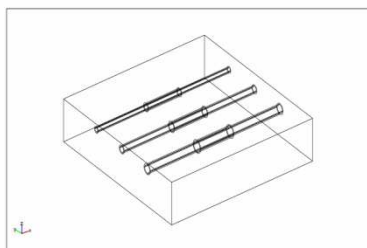


Fig. a : structure du modèle

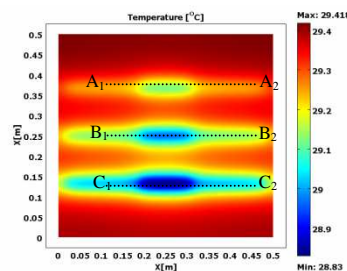


Fig. b : image thermographique des trois conduites rouillées

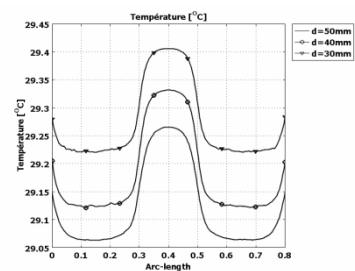


Fig. c : évolution de la température des trois conduites sur une ligne de surface (A_1A_2 , B_1B_2 et C_1C_2)

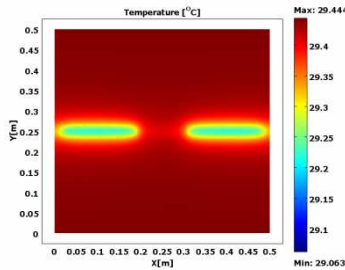


Fig. d : image thermographique pour $d=30\text{mm}$

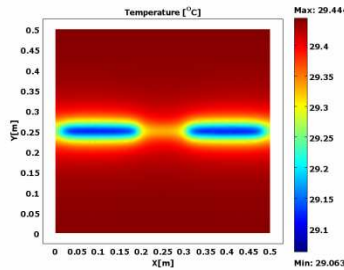


Fig. e : image thermographique pour $d=40\text{mm}$

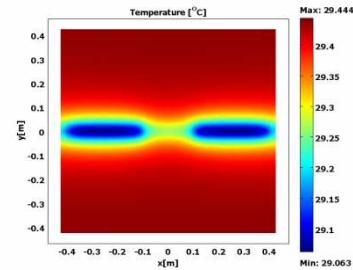


Fig. f : image thermographique pour $d=50\text{mm}$

Fig. 3 : Images thermographiques et évolution de la température étudiant l'effet du diamètre des conduites

On remarque que plus le diamètre de la conduite augmente, le volume de la rouille augmente également, et ainsi la différence de la température augmente, par conséquent la détectabilité du défaut du à la corrosion devient plus facile.

5.3. Effet de la position :

On garde la même structure utilisée, et on considère trois conduites de même nature, même diamètre et enfin même longueur. On varie leurs positions par rapport à la face d'entrée du flux. Les conduites sont distantes de la face d'entrée de $h_1=80\text{mm}$, $h_2=60\text{mm}$ et $h_3=20\text{mm}$. Les conditions limites et initiales sont identiques au cas précédent.

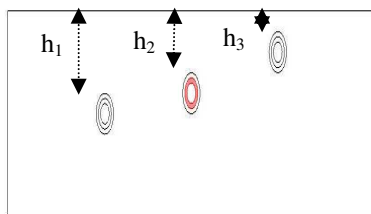


Fig. a : structure du modèle

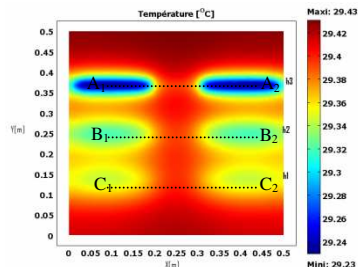


Fig. b : image thermographique simulée de la face d'entrée

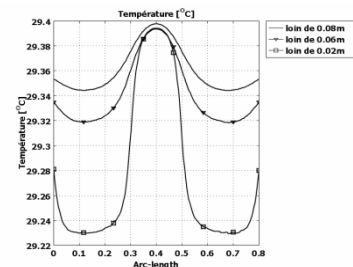


Fig. c : évolution de la température des trois conduites sur une ligne de surface (A_1A_2 , B_1B_2 et C_1C_2)

Fig. 4 : Image thermographique et évolution de la température étudiant l'effet de la position des conduites

De cette image et ces courbes de température, il ressort que la différence de température maximale par rapport au reste de la structure correspond à la conduite située à 20mm de la face d'entrée, c'est à dire plus proche de la face d'entrée du flux, et plus la conduite est distante de cette face d'entrée, plus cette différence diminue et la conduite a tendance à être difficilement détectable.

6. Conclusion :

Dans cet article, nous avons présenté l'effet de plusieurs paramètres sur la détectabilité des conduites, à savoir l'effet du type du matériau constituant les conduites, l'effet du diamètre croissant des conduites et de la rouille et l'effet de la position dans la structure de ces conduites. En étudiant les images thermographiques des faces d'entrée et les courbes d'évolution de la température, on peut tirer les conclusions suivantes :

- La détectabilité des défauts est plus facile dans le cas des conduites vides.
- La détectabilité de la corrosion est plus facile pour les conduites ayant un grand diamètre.
- Les conduites les plus proches à la face d'entrée sont faciles à détecter que celles plus loin.

Référence :

- [1] Osama Hunaidi : La détection des fuites dans les conduites de distribution d'eau. CNRC-NRC, solution constructive n°40.
- [2] Santanu saha: Thermographic application for the condition assessment of buildings- an experience. 4th Middle East NDT Conference and Exhibition, Kingdom of Bahrain, Dec 2007.
- [3] David Titman: Applications of thermography in non-destructive testing of structures. NDT&E International 34 (2001) 149–154.
- [4] J. RHAZI, S. NAAR. : Aptitude de la thermographie infrarouge à détecter les fissures et nids d'abeille dans le béton.
- [5] A. Elballouti, S. Belattar. : Numerical method applied to the non-destructive characterization of the cracks in the roadways. Physical & Chemical News 35 (May 2007) 43-47.
- [6] A. Obbadi, S. Belattar : Vth international workshop, Advances in Signal processing for non destructive evaluation of materials, 6(2006) 203-208 (Canada, Quebec).
- [7] Molina F.J., Alonso C., Andrade C. (1993). : Cover cracking as a function of rebar corrosion. Part 2 - Numerical model. *Materials and Structures*, vol. 26, p. 532-548.