

Introduction

La simulation numérique des contrôles non destructifs (CND) des matériaux a fait des progrès considérables ces dernières années. Cette simulation permet non seulement d'accroître l'efficacité et le potentiel des méthodes de CND, mais aussi de prédire les résultats d'une technique donnée et définir ses conditions de mise en œuvre les plus performantes, tout en limitant les coûts de développement.

L'objet de ce bulletin est de montrer l'apport important de la simulation numérique en ce qui concerne l'auscultation des dalles de béton armé par la technique Géoradar. Deux exemples sont présentés : (a) l'évaluation de l'infiltration de l'humidité et des ions chlorure et, (b) la détection des fissures.

Application à l'infiltration de l'eau et des ions chlorure dans les dalles en béton armé

Cette simulation vise à déterminer les effets de l'infiltration d'eau et d'ions chlorure dans une dalle en béton armé sur la propagation des ondes Géoradar (fréquence dominante : 2 GHz). Le modèle considéré (figure 1) représente une dalle de béton de 20 cm d'épaisseur avec un revêtement bitumineux de 7 cm d'épaisseur. La dalle comporte deux rangées d'armatures (diamètre : 15 mm, espacement : 15 cm), à 5 cm et à 15 cm de la surface. La simulation a été effectuée pour différentes profondeurs d'infiltration à partir de la surface du béton : 2.5 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm et 20 cm (infiltration à travers toute la dalle). Dans tous les cas, cette infiltration s'étend sur une longueur de 60 cm à la surface de la dalle de béton.

L'infiltration modifie les propriétés électromagnétiques du béton; soit sa permittivité relative (ϵ) et sa conductivité électrique (σ). Dans le cadre de cette étude, les valeurs de ϵ et de σ fixées pour un béton sain étaient de 6 et 100 mS/m respectivement [1,2]. Le béton contaminé par l'humidité et les ions chlorure a été caractérisé par une valeur de ϵ égale à 8 et une conductivité de 400 mS/m [1,2].

La figure 1 suivante donne le cas d'une infiltration sur une épaisseur de 10 cm. Le béton est supposé être humide et contaminé par //les ions chlorure sur une épaisseur de 5 cm. Ensuite,

les propriétés électromagnétiques du béton tendent progressivement vers celles d'un béton sain sur une épaisseur de transition de 5 cm.

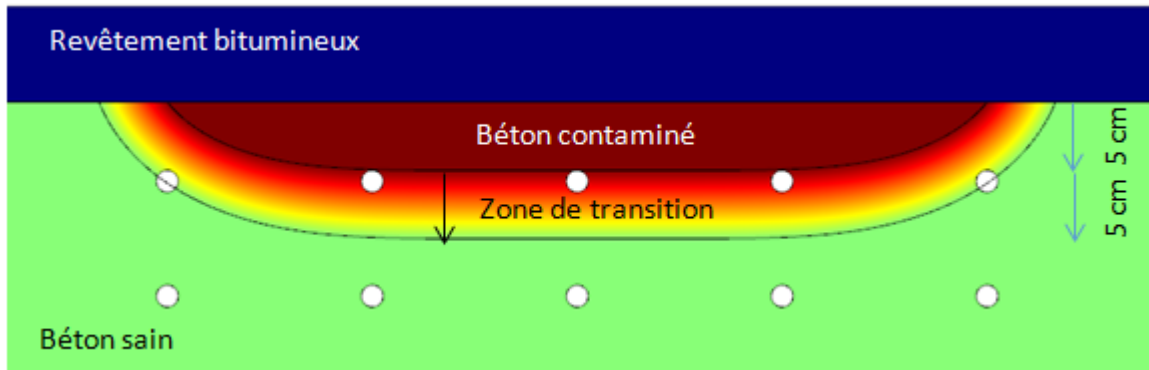


Figure 1 : Illustration du modèle d'une infiltration à 10 cm de profondeur

Les résultats de la simulation numériques sont donnés à la figure 2. La figure 2a correspond au cas d'une dalle complètement saine et sert de référence. L'axe X représente le chaînage, et l'axe Y représente la profondeur. Cette figure montre la réflexion sur les armatures supérieures et la réflexion sur le fond de la dalle. Les réflexions sur les armatures inférieures ne sont pas bien visibles car elles sont ici masquées par les armatures supérieures.

Les figures 2b à 2f sont les radargrammes correspondant à des profondeurs d'infiltration allant de 2.5 cm à 20 cm. Ces radargrammes indiquent que:

- La contamination de la dalle de béton par l'humidité et les ions chlorure a un effet sur la propagation des ondes Géoradar dans la dalle
- La contamination affecte aussi bien l'intensité de la réflexion des ondes Géoradar sur les armatures que sur le fond de la dalle
- L'intensité de la réflexion des ondes sur le fond de la dalle apparaît être plus affectée par la contamination du béton que l'intensité de la réflexion sur les armatures. Ces résultats sont en accord avec les résultats obtenus sur site et discutés dans le bulletin Nro 4.

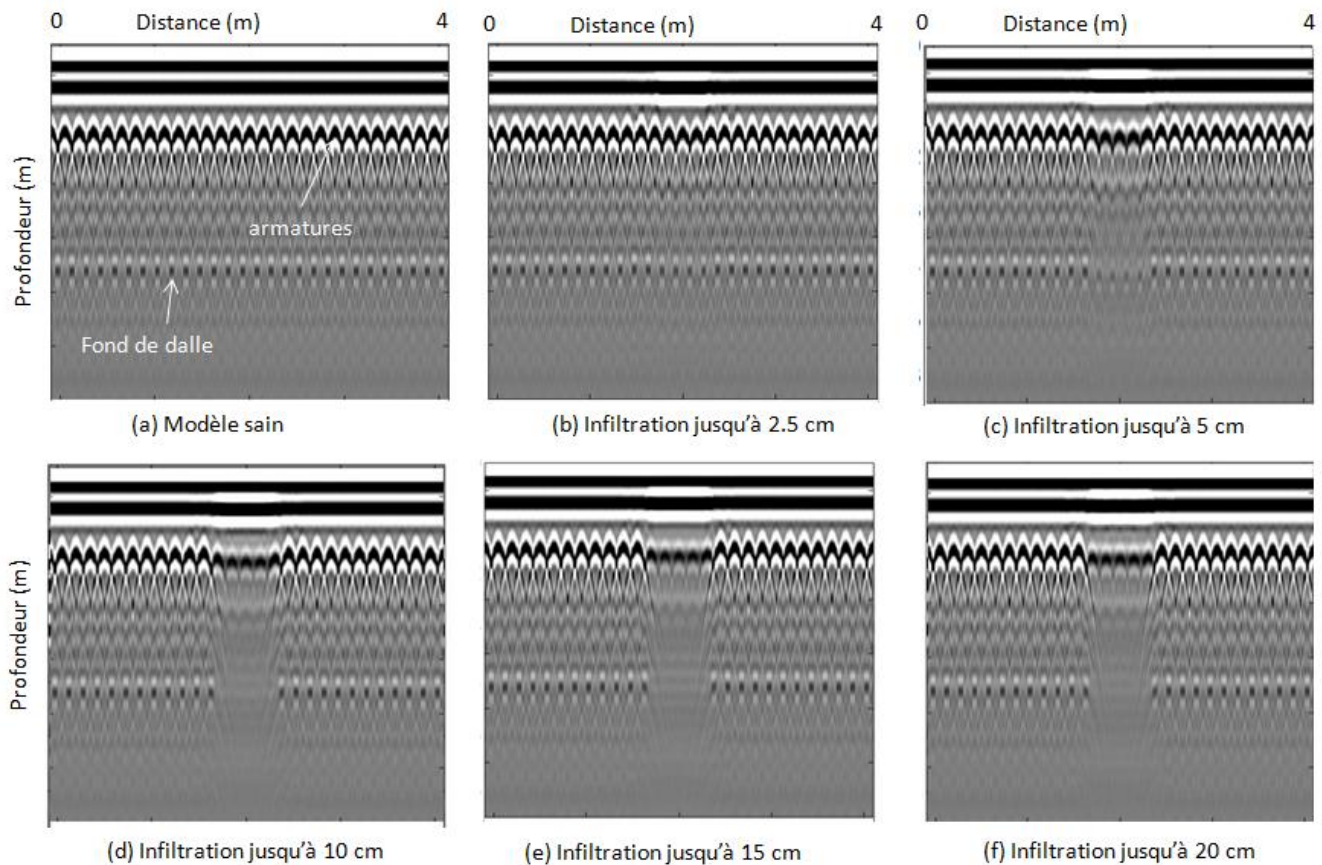


Figure 2 : Résultats de la simulation de la contamination du béton par l'humidité et les ions chlorure sur les relevés Géoadar

Application à la détection de la délamination dans le béton

La délamination dans le béton armé est une anomalie qui apparaît généralement au niveau des armatures supérieures et est causée par la corrosion de ces armatures. Afin de prévoir sa détectabilité, une fissure de 60 cm de longueur est simulée dans trois modèles de béton armé sain (sans infiltration d'eau ni d'ions chlorure). La fissure a une ouverture de 0.5 mm, une longueur de 300 mm et renferme de l'eau avec une salinité de 15 ppm. Les 3 modèles correspondent au cas où la fissure est située (a) juste au-dessus des armatures, (b) au niveau des armatures et (c) juste en dessous des armatures (Fig. 3).

Les résultats des simulations numériques sont donnés dans la figure suivante. Cette figure indique que la réflexion des ondes sur le fond de la dalle n'est pas réellement affectée par cette délamination, et ceci quelle que soit la position de la fissure. La présence de la délamination a plutôt un effet sur la réponse du milieu au niveau des armatures. Il apparaît que la détection de la délamination est plus facile lorsque celle-ci est située au-dessus de l'armature. Dans ce cas, la délamination provoque une déformation voire une disparition de l'hyperbole qui correspond à la réflexion sur l'armature. Cette hyperbole est généralement bien définie lorsque l'armature est dans un béton sain. Ces résultats sont en accord avec les relevés collectés sur site et discutés dans le bulletin Nro 5 d'Auscultech.

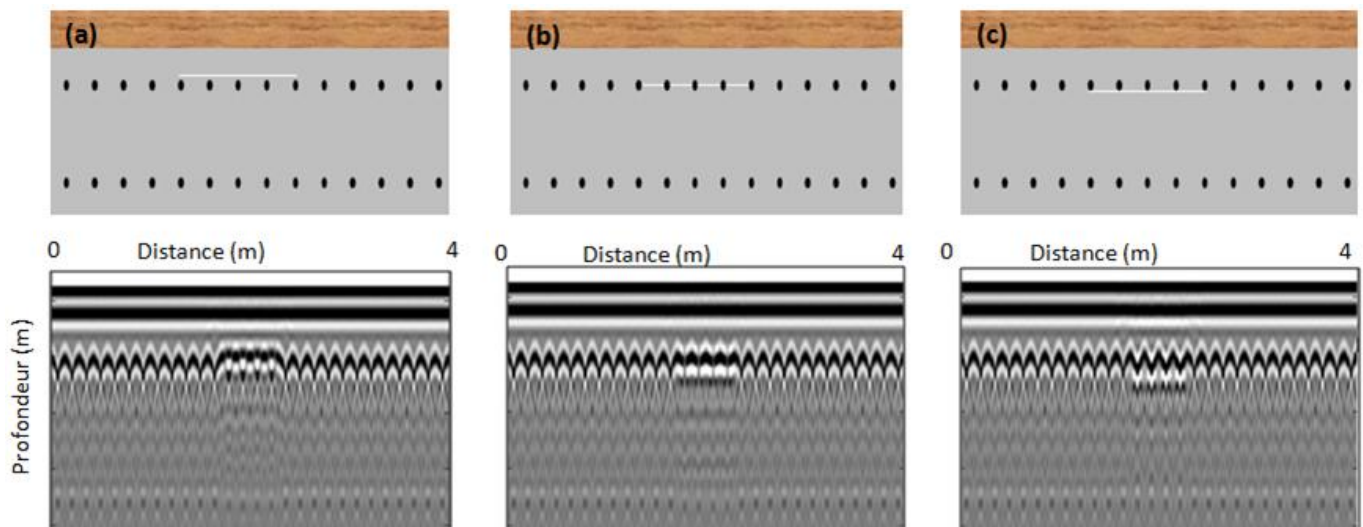


Figure 3 : Résultats de la simulation des effets d'une délamination sur les relevés Géoradar

Conclusions

Les simulations numériques de la propagation des ondes électromagnétiques présentées dans cet article indiquent que la technologie Géoradar permet d'observer clairement la détérioration du béton par infiltration de des ions chlorure et par certaines délaminations.

La simulation numérique des CND fait partie intégrante des activités d'AusculTech. Elle s'avère utile pour la prédiction de résultats d'essais, pour optimiser les conditions d'essais, pour aider dans l'interprétation de relevés et pour le développement de nouvelles procédures d'essais et ceci pour le bénéfice de tous nos clients.

Note : Ce bulletin a fait l'objet d'une présentation lors du 21ème Colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les ouvrages d'art. Université Laval (Québec), 6-7 mai 2014.

Références

- [1] Halabe, U. B., A. Sotoodehnia, K. R. Maser and E. A. Kause (1993). "Modeling of the Electromagnetic Properties of Concrete." ACI Materials Journal 90(6): 552-563.
- [2] Soustos, M. N., H. J. Bungey, S. G. Millard, M. R. Shaw and A. Patterson (2001). "Dielectric Properties of Concrete and their Influence on Radar Testing." NDT & E International 34: 419-425.