

**UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABATIER**

**U.F.R. P.C.A.**

**THESE**

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE TOULOUSE III - PAUL SABATIER**

Spécialité : **GENIE CIVIL**

présentée et soutenue par

**Gilles KLYSZ**

le 20 décembre 2004

Titre :

**CARACTERISATION DU BETON D'ENROBAGE PAR TECHNIQUE  
RADAR : EXPLOITATION DE L'ONDE DIRECTE EMETTEUR-  
RECEPTEUR**

Directeur de thèse :

**Jean-Paul BALAYSSAC**

**JURY**

<b>Mme G. ARLIGUIE</b>	Examinatrice
<b>Mme I. CHENERIE</b>	Examinatrice
<b>Mr J.P. BALAYSSAC</b>	Examineur
<b>Mr A. COLSON</b>	Rapporteur
<b>Mr F. DARVE</b>	Rapporteur
<b>Mr X. FERRIERES</b>	Examineur
<b>Mr D. BREYSSE</b>	Membre invité
<b>Mr X. DEROBERT</b>	Membre invité
<b>Mr V. GARNIER</b>	Membre invité

---

**AUTEUR :** Gilles KLYSZ

**TITRE :** Caractérisation du béton d'enrobage par technique Radar : exploitation de l'onde directe émetteur-récepteur

**DIRECTEUR DE THESE :** Jean-Paul BALAYSSAC

**LIEU ET DATE DE SOUTENANCE :** Université Toulouse III - Paul Sabatier

le 20 décembre 2004

---

**RESUME :**

Un grand nombre de pathologies du béton, béton armé ou précontraint nécessitent la présence d'eau pour se développer. Une des pathologies les plus fréquemment rencontrées est la corrosion des armatures. Dans ce contexte, la quantification de gradients surfaciques de teneur en eau et de teneur en chlorures est une phase importante dans le diagnostic d'ouvrages en béton. La propagation d'ondes électromagnétiques dans un milieu est régie par ses propriétés électromagnétiques essentiellement influencées par la présence d'eau et de chlorures dans le cas du béton. L'objectif de ce travail de recherche est d'utiliser la technologie radar, afin de déterminer la teneur en eau et en chlorures du béton d'enrobage. L'onde directe émetteur-récepteur est adaptée à cette problématique puisqu'elle ne nécessite pas la présence de réflecteur à l'intérieur du matériau et qu'elle se propage essentiellement à sa surface.

Un modèle numérique d'antenne GPR couplée de 1,5 GHz de fréquence centrale, basé sur un code de calcul utilisant les différences finies dans le domaine temporel (FDTD), permettant de modéliser la propagation des ondes générées par l'antenne a été développé. Cette modélisation a permis de comprendre la propagation des ondes radar émises dans le matériau en fonction de ses caractéristiques électromagnétiques.

Des procédures de traitement originales des signaux radar permettant d'obtenir la vitesse de l'onde directe émetteur-récepteur en fonction de la fréquence sont présentées. Il a été déterminé que le béton n'est pas ou très peu dispersif dans la gamme de fréquence radar considérée. De plus, il existe une relation linéaire, valable pour différents bétons, entre la teneur en eau volumique et la vitesse de propagation de l'onde directe d'une part et son atténuation d'autre part. Enfin, la vitesse de l'onde directe est influencée par la présence de chlorures alors que son atténuation y est indifférente. Ce dernier point montre qu'il est possible par une mesure simultanée de vitesse et d'atténuation de l'onde directe, de déterminer la teneur en eau volumique et de détecter la présence de chlorures à l'intérieur d'un béton.

---

**MOTS-CLES :** Contrôle non destructif, radar, béton d'enrobage, teneur en eau, chlorures, FDTD, ouvrages.

---

**DISCIPLINE ADMINISTRATIVE :**

Docteur de l'Université Toulouse III – Paul Sabatier, spécialité : Génie Civil

---

**INTITULE ET ADRESSE DU LABORATOIRE :**

Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC),  
INSA-UPS, 135 Avenue de Rangueil, 31077 TOULOUSE cedex 4

**AUTHOR :** Gilles KLYSZ

**TITLE :** Cover concrete characterisation by radar technique: use of the receiver-transmitter direct wave.

**DIRECTOR :** Jean-Paul BALAYSSAC

---

**ABSTRACT :**

A large number of reinforced or prestressed concrete pathologies require the presence of water to develop. One of the most currently pathologies is the corrosion of the reinforcements. In this context, the quantification of surface gradients of water content and chloride content is an important phase for the diagnosis of concrete. The propagation of electromagnetic waves in a medium is controlled by its electromagnetic properties, mainly influenced by the presence of water and chlorides in the case of concrete. The objective of this work is to use radar technology, in order to determine the water and chloride content of the cover concrete. The direct wave transmitter-receiver is adapted to these problems since it does not require the presence of reflectors inside the material and that it is mainly propagated on its surface.

A numerical model of a 1,5 GHz GPR coupled antenna, based on a three-dimensional code using the Finite Difference Time Domain (FDTD) is developed. It permits to well simulate the wave propagation generated by the antenna. This model makes it possible to understand the radar wave propagation emitted within the material according to its electromagnetic characteristics.

Original procedures of treatment of the radar signals making it possible to obtain the speed of the direct wave transmitter-receiver according to the frequency are presented. It was shown that the concrete is not dispersive in the considered frequency range. Moreover, there is a linear relation, validated for various concretes, between the water content and the propagation velocity of the direct wave on the one hand and its attenuation on the other hand. Lastly, the speed of the direct wave is influenced by the presence of chlorides whereas its attenuation is indifferent there. This last point shows that a simultaneous measurement of speed and attenuation of the direct wave makes it possible to determine the water content and to detect the presence of chlorides inside a concrete.

---

**KEY-WORDS :** Non-destructive evaluation, radar, GPR, cover concrete, water content, chlorides, FDTD, structures.

---

**LABORATORY ADDRESS:**

Laboratoire Matériaux  
et Durabilité des Constructions (LMDC),  
INSA-UPS, 135 Avenue de Ranguel,  
31077 TOULOUSE cedex 4