

# CONTRÔLE NONDESTRUCTIF DE LA QUALITÉ DU BÉTON ET DE L'ÉTAT DES ANCRAGES DE L'ÉVACUATEUR PRINCIPAL DU BARRAGE RAPIDE-DES-ÎLES

J. Rhazi, S. Kodjo, G. Ballivy

Chaire Industrielle du CRSNG sur l'auscultation des structures de béton

Département de génie civil

Université de Sherbrooke

Sherbrooke (Québec) J1K 2R1

[Jamal.Rhazi@USherbrooke.ca](mailto:Jamal.Rhazi@USherbrooke.ca)

## **Résumé**

Au mois de juillet 2007, une évaluation des piliers de l'évacuateur principal de l'aménagement Rapide-des-Îles a été menée pour déterminer la qualité du béton et des ancrages. Les essais ont consisté à faire trois relevés tomographiques passant par ou à proximité des ancrages des deux piliers du centre, des essais de sismiques parallèle et des essais électrochimiques visant à évaluer l'activité de corrosion de ces ancrages. Les résultats tomographiques ont permis de déterminer la variation spatiale des propriétés mécaniques au sein du béton des piliers, et en particulier autour des ancrages. Il a ainsi été possible d'aboutir à une classification de ces ancrages en fonction de la qualité de leur environnement. Par ailleurs, les mesures électrochimiques réalisées sur les ancrages ordinaires n'ont révélé aucune activité de corrosion significative au niveau de ces ancrages.

## INTRODUCTION

Le béton des piliers de l'évacuateur principal comporte plusieurs fissures vraisemblablement causées par la réaction alcalis-granulats. Ces fissures plus ou moins importantes pourraient affaiblir la capacité structurale de ces ancrages. Les ingénieurs en charge de cette structure ont souhaité avoir des informations sur la qualité du béton des piliers ainsi que sur l'état des ancrages.

## DESCRIPTION DES PILIERS DE L'ÉVACUATEUR

L'auscultation a concerné les piliers B de l'évacuateur principal (fig. 1). La figure 2 donne la géométrie globale des piliers, les dimensions des piliers et la position des ancrages. Les piliers ont une largeur de 3 m. Ils sont fabriqués à l'aide d'un béton dit béton de première phase et comportent une partie fabriquée à l'aide d'un béton dit béton de seconde phase (fig. 2). Chaque pilier comporte 16 ancrages regroupés en quatre groupes de quatre ancrages (fig. 2). Ces groupes sont espacés de 1.40 m dans le sens de la largeur et de 2 m dans le sens longitudinal. Les 4 ancrages d'un groupe forment un rectangle de 0,44 m par 0,14 m.

Les ancrages sont constitués de deux types : des ancrages de type *Cinch* (12 ancrages par pilier) et des ancrages de type ordinaire (quatre ancrages par pilier) (fig. 2). Les ancrages de type *Cinch* ont un diamètre d'environ 4 cm et sont ancrés sur une profondeur de 1.5 m. Lors de leur mise en place, chaque ancrage a été inséré dans un trou lequel a été injecté par un coulis de ciment. Ces ancrages ont une gaine en plomb et fonte. Les ancrages de type ordinaire ont également un diamètre d'environ 4 cm et sont ancrés sur une profondeur de 1.5 m. Ces ancrages sont situés dans le béton de deuxième phase (fig. 2).

## 3. TRAVAUX RÉALISÉS

a) Essais tomographiques : Des mesures de la durée de propagation des ondes acoustiques dans le béton ont été effectuées selon trois sections verticales pour chaque pilier (Fig. 2) : une section passant par les ancrages les plus en aval (section 1), une section passant par les ancrages en amont de ceux-ci (section 2) et une section passant par le plan situé au milieu des ancrages en amont (section 3). L'espace ausculté pour chaque section représente une surface de 3 m par 2.2 m. Au total, 216 mesures ont été effectuées par section, soit l'équivalent de 32 mesures par mètre carré. Ceci permettra d'avoir une description plus réaliste de la qualité du béton autour de ces ancrages comparativement au cas où la densité de mesure est plus faible. Les mesures ont par la suite été traitées au moyen d'un logiciel d'inversion des données pour avoir des images tomographiques des sections auscultées.

b) L'essai de potentiel de corrosion : La corrosion des ancrages dans le béton a bien évidemment un effet néfaste sur la qualité d'adhérence de ces ancrages avec le béton. L'évaluation de l'état de corrosion des ancrages permet donc d'avoir une information indirecte sur la qualité d'adhérence entre ces ancrages et le béton. L'essai de potentiel de corrosion selon la norme ASTM C876 permet de faire cette évaluation. Cet essai a été

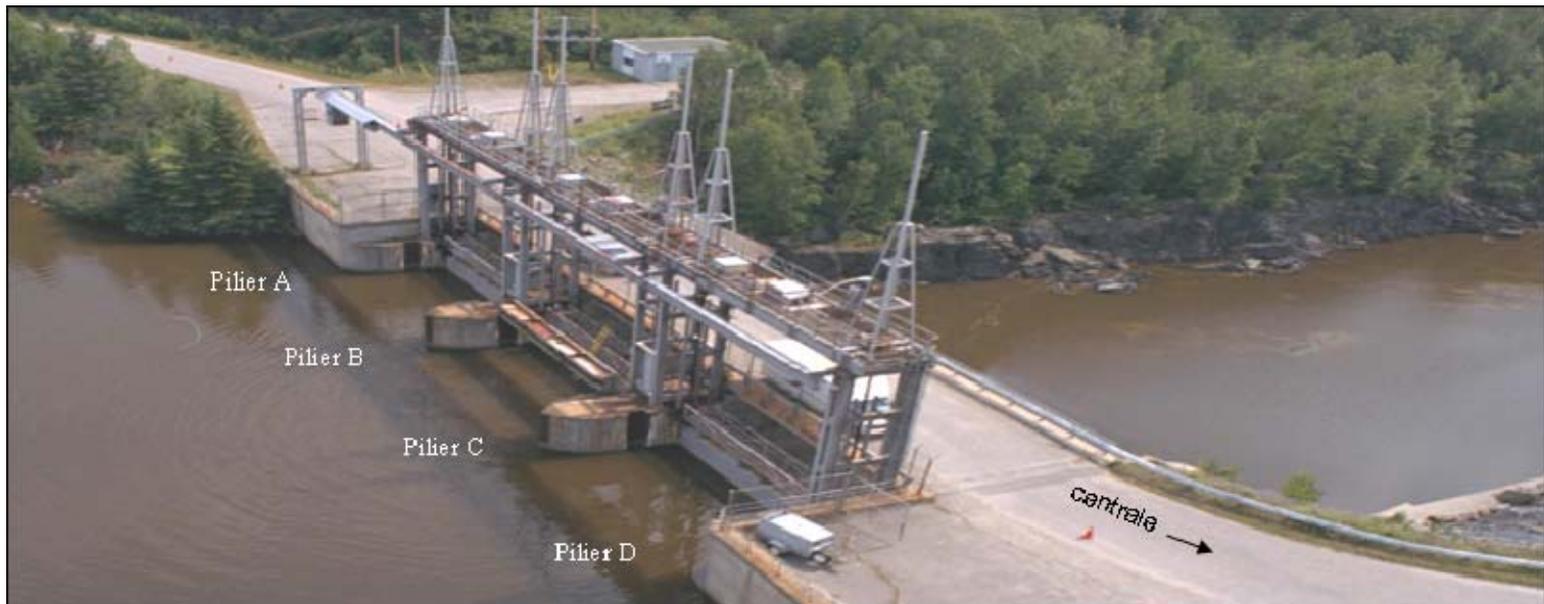


Figure 1: Vues générales de (a) l'évacuateur et (b) des piliers

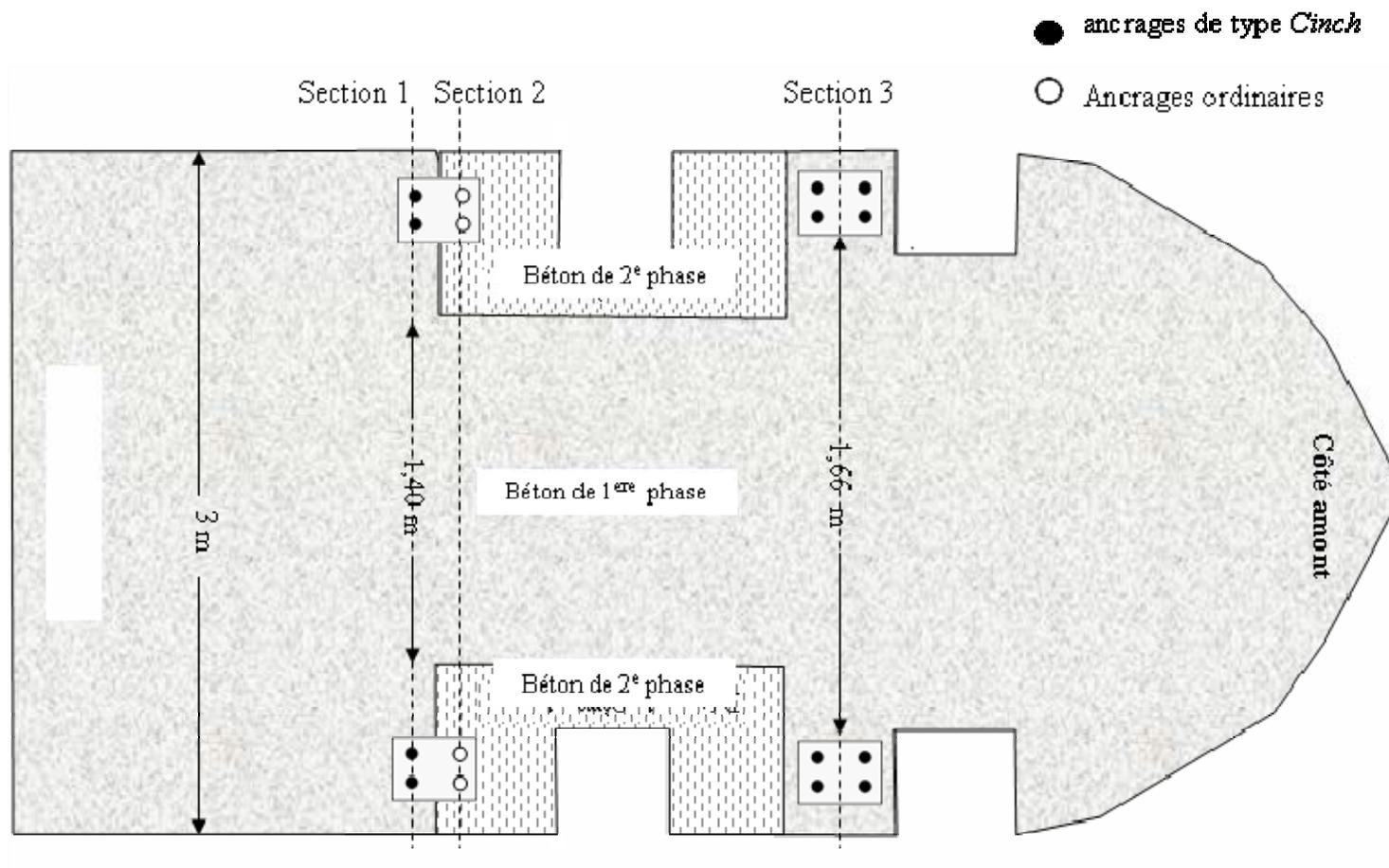


Figure 2: Géométrie globale des piliers et sections de mesure

effectué sur les ancrages ordinaires uniquement (fig. 2) car les ancrages de type Cinch sont contenus dans des gaines en plomb et en fonte. Les essais ont consisté à mesurer la différence de potentiel électrique entre l'ancrage et une électrode de référence en cuivre-sulfate de cuivre en contact avec le béton. Pour cela, une borne du voltmètre a été connectée à la tête d'ancrage ausculté (connexion fixe), et l'autre borne a été connectée à l'électrode de référence. Les données ont été collectées à différents emplacements (points P1 à P8 espacés de 20 cm) de l'électrode de référence le long du bord du pilier de manière à évaluer l'activité de corrosion de l'ancrage en entier (fig. 3).

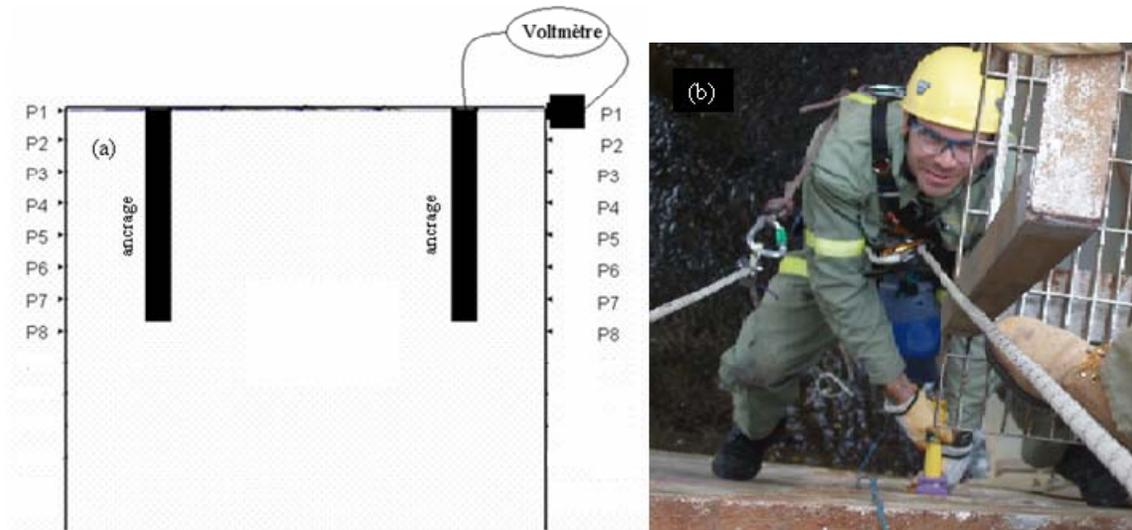


Figure 3: Mesure du potentiel de corrosion des ancrages  
(a) principe et (b) réalisation des mesures

## RÉSULTATS DES TRAVAUX

### Qualité du béton des piliers

Les résultats tomographiques relatifs aux sections 1, 2 et 3 (fig. 2) du piliers B sont donnés à la figure 4 . Ces figures donnent la variation de la vitesse de propagation des ondes acoustiques au sein de ces sections de béton selon une échelle de vitesse variant entre 2000 m/s et 5000 m/s. Différentes couleurs sont associées à différents intervalles de la vitesse :

- les zones rouges sont les zones où la vitesse de propagation dans le béton est entre 2000 m/s et 3000 m/s
- Les zones jaunes sont les zones où la vitesse de propagation est entre 3000 m/s et 3500 m/s
- Les zones vertes sont les zones ou la vitesse de propagation est entre 3500 m/s et 4500 m/s, et
- Les zones vertes foncées sont les zones ou cette vitesse est supérieure à 4500 m/s.

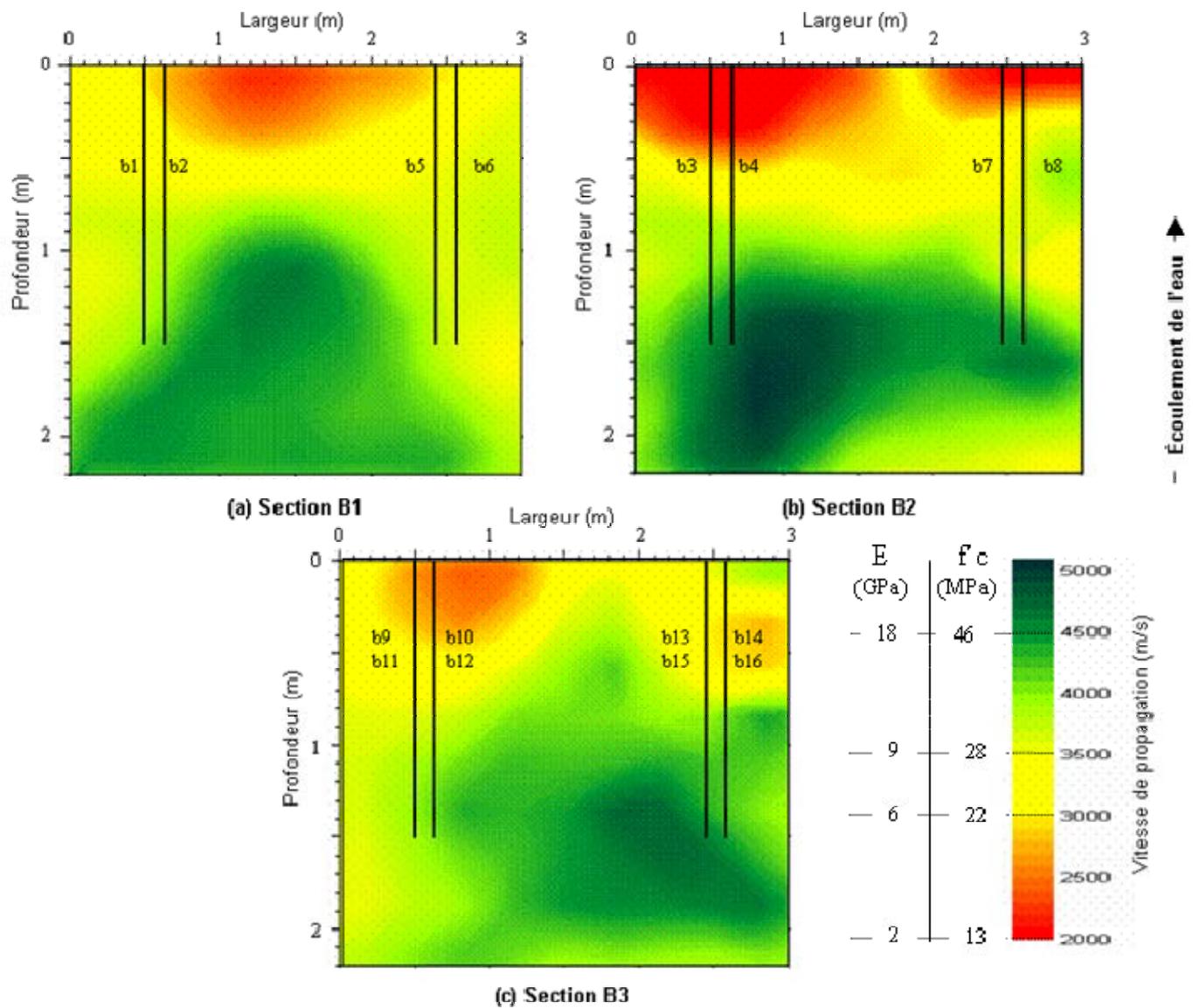


Figure 4 : Résultats tomographiques obtenus sur le pilier B

Les images tomographiques peuvent être interprétées en terme de variation de propriétés mécaniques selon les critères décrits dans le tableau 1 ci-dessous et établit à partir des résultats d'autres investigations menées sur des ouvrages de retenue hydraulique.

TABLEAU 1 : Corrélation entre la vitesse et les paramètres mécaniques du béton

Vitesse (m/s)	Couleur sur la fig. 4	Module de Young (GPa)	Résistance à la compression (MPa)
2000 à 3000	rouge	2 - 6	13 à 22
3000 à 3500	jaune	6 - 9	22 à 28
3500 à 4500	vert clair	9 -18	28 à 46
> 4500	vert foncé	> 18	> 46

Plusieurs informations peuvent être extraites des résultats tomographiques présentés à la figure 4. En premier lieu, le calcul de la vitesse moyenne par section permet de comparer entre eux les bétons de ces sections. La vitesse moyenne varie entre 3523 m/s (section B2) à 3729s (section B3). La résistance varie donc entre 28,5 Pa 32 MPa. Le module varie entre 9.5 GPa et 11 GPa.

De façon générale, les résultats montrent aussi que la qualité du béton est plutôt pauvre pour les 50 premiers centimètres à partir de la surface. Elle est moyenne entre 50 cm et 1 m et est bonne à partir de 1 m. La qualité du béton augmente donc en fonction de la profondeur. Ceci est aussi mis en évidence à la figure 5 pour les différentes sections auscultées. Cette figure montre que la vitesse se stabilise à partir de la profondeur d'environ 1,5 m. Entre 1,5 m et 2.2 m, la vitesse moyenne globale est de l'ordre de 4114 m/s (résistance ~ 38 MPa et module ~14 GPa). Cette vitesse est très voisine de la vitesse de propagation mesurée dans deux zones de béton situées au pied du pilier B et prises comme zones de bonne qualité.

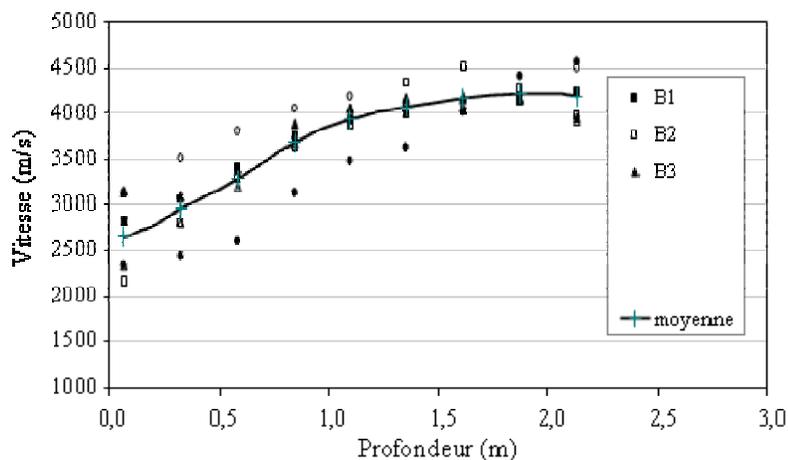


Figure 5 : Variation de la vitesse dans les sections auscultées en fonction de la profondeur

## Qualité d'adhérence entre les ancrages et le béton.

Les résultats des essais de potentiel de corrosion sont donnés à la figure 6 pour les ancrages ordinaires du pilier B (ancrages B3, B4, B7 et B8). Les résultats sont interprétés selon les recommandations de la norme ASTM C876 données dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU 3 : Interprétation des mesures de potentiel de corrosion

Potentiel de corrosion (mV)	Probabilité de corrosion
> -200	< 10 %
-200 à -350	50 %
< -350	> 90 %

Les résultats de la figure 6 indiquent que les valeurs de potentiel mesurées se situent entre -200 mV et -350 mV. La corrosion de ces ancrages (recouvrement entre 38 cm et 52 cm) est donc initiée mais n'a pas encore atteint un stage avancé qui pourrait mettre en péril l'adhérence entre ces ancrages et le béton. Ces valeurs sont acceptables pour des ancrages mis en place depuis près de 40 ans. Elles correspondent à ce que l'on observe généralement après un tel délai de service.

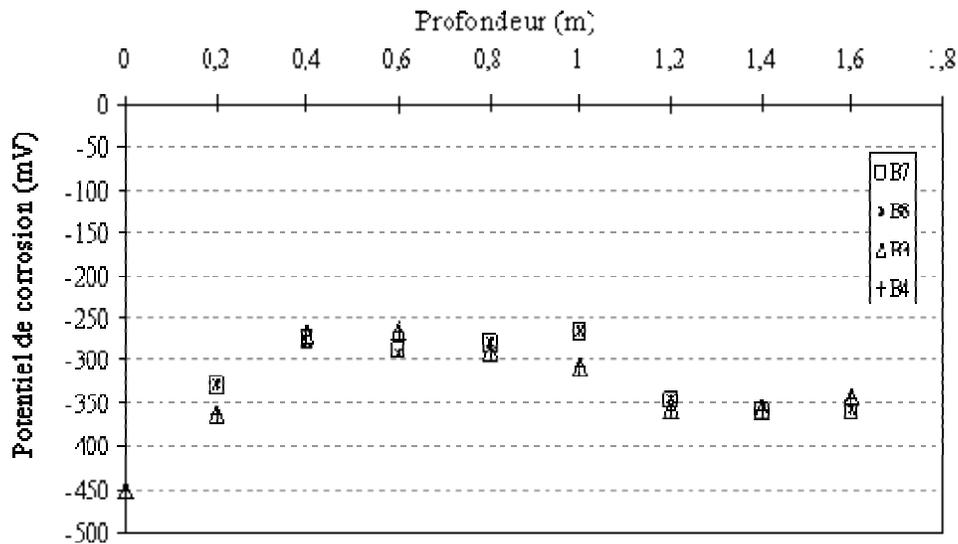


Figure 6: Résultats des mesures du potentiel de corrosion sur les ancrages

## CONCLUSIONS

Les fissures dans le béton ont un effet sur la rigidité du béton, et les résultats tomographiques ont permis de déterminer la variation spatiale de cette rigidité au sein des sections de béton auscultées. Il a été constaté que la zone de béton autour des ancrages B3-B4 apparaît être la plus faible, alors que la zone autour des ancrages B13-B14-B15-B16 est la plus saine.

Les mesures électrochimiques réalisées sur les ancrages ordinaires n'ont révélé aucune activité de corrosion significative au niveau de ces ancrages. Les mesures étaient stables ce qui, a priori, reflète un bon contact électrique entre les ancrages et le béton. En l'absence de corrosion, on peut donc considérer que la qualité de contact est demeurée la même depuis la mise en place de ces ancrages.

Les corrélations données ici entre la vitesse des ondes acoustiques et les propriétés mécaniques ont été obtenues à partir d'essais mécaniques sur des carottes prélevées dans la peau du béton d'un des deux piliers. Il serait pertinent de réaliser un ou deux forages dans l'un des piliers sur une profondeur de 3 m de manière à valider ces corrélations pour tout le béton des piliers.

## **RÉFÉRENCES**

Rhazi, J. (2008), Contrôle non destructif de l'état des ancrages de l'évacuateur principal du Barrage Rapide-des-Îles, Rapport No GRAI 07-09-01 présenté à Hydro-Québec, 27p

## **REMERCIEMENTS**

Ce travail a été mené dans le cadre des travaux de la Chaire industrielle du CRSNG sur l'auscultation des ouvrages de béton de l'UdeS (titulaire : Professeur G. Ballivy). La collecte des données sur le site a bénéficié de la collaboration de S. Kodjo (étudiant au doctorat) et de D. Charbonneau (technicien). Les remerciements s'adressent aussi à R. Chevalier, ing. à HQ, M. Ouimet et P. Turcotte, techniciens à HQ, pour le support très apprécié sur le site et à messieurs J. Gagnon et O. Samphoeun d'HQ pour leur collaboration lors de ce projet.