

AUSCULTATION DES DALLES EN BÉTON ARMÉ PAR DES TECHNIQUES DE CONTRÔLE NON DESTRUCTIF

O. Dous¹, J. Rhazi¹, L. Bertrand²

- (1) Chaire CRSNG industrielle sur l'auscultation des structures en béton, Département de génie civil, Université de Sherbrooke, J1K 2R1
- (2) GéoLab inc., 4234, rue King Ouest, Sherbrooke, J1L 1W6

RÉSUMÉ

L'étude porte sur l'utilisation des méthodes de contrôle non-destructif pour dresser un diagnostic des dalles en béton armé. Les essais ont été réalisés sur les dalles du stationnement souterrain de trois étages d'un hôtel construit il y a une trentaine d'années. Les méthodes utilisées sont l'inspection visuelle (marteau, carottage), le radar, le potentiel de corrosion, et la résistivité électrique. Le sondage des dalles par le marteau et le carottage ont permis de délimiter les zones de délamination. Le radar a permis d'évaluer le taux d'humidité et de la délamination. Le potentiel de corrosion a permis de déterminer l'état d'avancement de la corrosion suivant la norme ASTM-C876-99, alors que la résistivité électrique donne la cinétique de la corrosion des armatures. Des corrélations entre les mesures montrent la complémentarité entre ces mesures.

1. INTRODUCTION

Vu l'âge des structures en béton armé, le vieillissement s'accélère d'une façon impressionnante. Dans un climat aussi sévère que celui de l'Amérique du nord, ces structures combattent perpétuellement les effets de la présence de l'eau riche en agents agressifs dans leurs masses. Le cycle de gel-dégel accéléré par les changements climatiques affaiblit les structures et permet un développement rapide des dommages causés par la corrosion des armatures. Les coûts reliés à la réparation et à la reconstruction des nouvelles structures forcent à trouver d'autres alternatives pour faire durer le plus longtemps ces structures en service tout en étant sécuritaires.. Leurs états doivent être suivis assidûment par des contrôles qui ne doivent pas porter atteinte à leurs intégrités. Les contrôles non destructifs permettent de cibler les interventions rapides sur les structures. Mais, ces méthodes n'ont pas encore la place qui est leur due.

Depuis une dizaine d'années, le groupe de recherche en auscultation et instrumentation (GRAI) de l'Université de Sherbrooke travaille sur le jumelage de différentes méthodes [5, 6, 7, 8] afin d'étudier l'effet de différents facteurs affectant leurs fiabilités et de définir les limites de l'application de chacune d'elles. L'un des objectifs de ces travaux est l'optimisation des procédures de contrôle appliquées à la détection de l'activité de corrosion de l'acier dans le béton armé ainsi que de l'endommagement induit par cette corrosion.

Pour comparer les méthodes non destructives utilisées pour détecter les endommagements du béton armé par la corrosion de l'acier des armatures, des dalles de stationnement ont été auscultées. Ces dalles âgées d'une trentaine d'années connaissent une activité de corrosion impressionnante.

Ces travaux ont permis de comparer les résultats des méthodes de potentiel de corrosion, de la résistivité électrique et du radar aux résultats de l'inspection visuelle, du sondages par le marteau et des analyses sur des carottes de béton prélevées de ces dalles (ions chlorure, délamination). Les résultats obtenus ont permis de mettre en oeuvre une procédure d'auscultation des dalles en béton armé par le jumelage de différentes méthodes ainsi que l'optimisation de l'application de chacune d'elles.

2. SITE EXPÉRIMENTAL

Le site est constitué par trois dalles sur les trois étages du stationnement d'un hôtel de 27 étages construit il y a une trentaine d'années. Sept zones ont été choisies suivant leurs états de dégradation visuelle et leurs emplacements, dont quatre sont situées à l'étage P1 au rez-de-chaussée, deux à l'étage P2 et un à l'étage inférieur P3. Les dimensions de chacune des zones sont d'environ 8 m x 6 m (Figure 1). L'épaisseur de la dalle est de 20 cm.

3. ESSAIS RÉALISÉS

3.1. Inspection visuelle (Marteau et Carottage)

L'essai par le marteau permet de délimiter les zones dégradées suivant un son grave (béton délaminé) ou aigu (béton sain). Il ne peut être appliqué que directement sur le béton.

Le carottage permet de prélever des carottes dans la dalle de béton pour l'inspection visuelle et pour déterminer les paramètres mécaniques du béton.

3.2. Radar

L'essai consiste à envoyer une onde électromagnétique dans le béton et à détecter les réflexions de ces ondes provenant des interfaces dans la dalle. Cet essai permet de balayer rapidement et donner en temps réel l'état général de la dalle en béton armé. L'interprétation des données est effectuée sur la base de l'onde directe [2, 3], la réflexion sur l'armature, la réflexion à la fin de la dalle, sur l'atténuation et la vitesse de l'onde à travers la dalle. L'essai est effectué avec un maillage de 0,5 m x 0,5 m (Figure 2).

3.3. Potentiel de corrosion

Cet essai permet d'évaluer l'état de l'activité de corrosion des barres d'armature dans une dalle de béton armé suivant la norme ASTM C876 (1999) (Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete) [1]. Elle recommande l'analyse des mesures de potentiel de corrosion en terme de probabilité de corrosion selon les critères donnés dans le tableau 1. L'essai est effectué sur un maillage de 0,5 m x 0,5 m (Figure 2).

TABLEAU 1 : INTERPRÉTATION DES MESURES SELON LA NORME ASTM C876 [1]

Potentiel de corrosion (en mV)	Probabilité de corrosion	Activité de corrosion
> -200	≤ 10 %	Négligeable
-200 à -350	50 %	Initiée
-350 à -500	≥ 90 %	Avancée
< -500		Très avancée

3.4. Résistivité électrique

Cet essai est généralement réalisé en parallèle avec les essais de potentiel de corrosion pour apporter un complément d'information à ces mesures en ce qui concerne la cinétique de la corrosion. L'essai est effectué sur une dizaine de points pour chaque secteur sur la base des données de potentiel de corrosion. L'interprétation des résultats de résistivité est basée les corrélations données dans le tableau 3.

TABLEAU 2 : INTERPRÉTATION DES ESSAIS DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE [4, 5]

Vitesse de corrosion probable	Résistivité électrique (Ωm)
Élevé	< 50
Modéré	50 à 100
Faible	100 à 200
Négligeable	> 200

4. RÉSULTATS ET ANALYSE

4.1 Inspection visuelle et marteau

L'inspection visuelle des dalles a révélé de signes apparents de corrosion ou de délamination du béton.

Les résultats obtenus par le marteau sont présentés à la figure 3a. La cartographie permet de distinguer entre un béton non dégradé et un béton dégradé. Donc, cette méthode est limitée à deux possibilités (noir ou blanc). Il est très difficile à partir du son du marteau d'établir un état intermédiaire. De plus, cette méthode est très subjective. La fatigue de l'oreille de l'opérateur après certain temps rend très difficile de différencier entre un son aigu et un son grave.

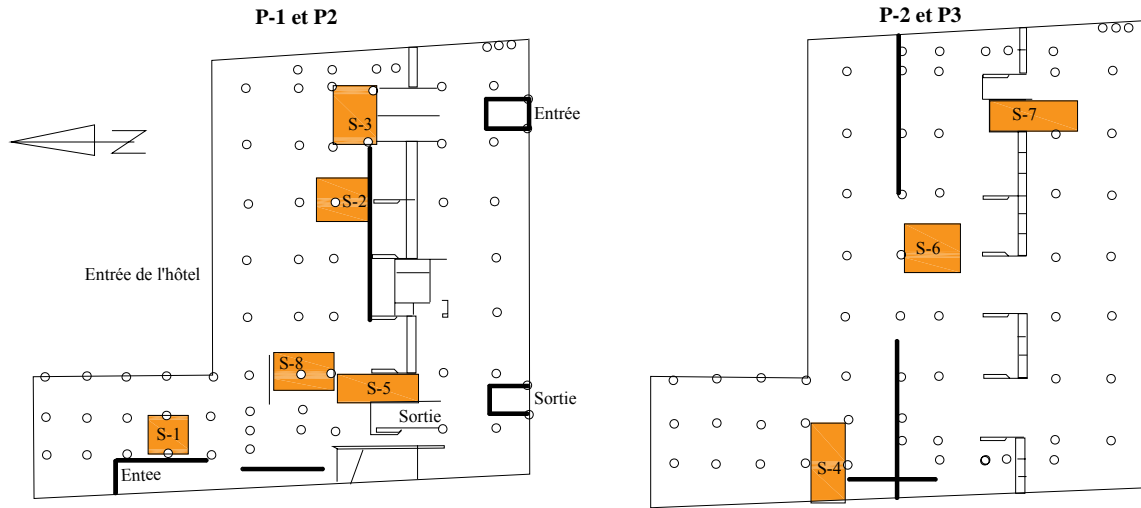


Figure 1 : Secteurs étudiés des dalles de stationnement

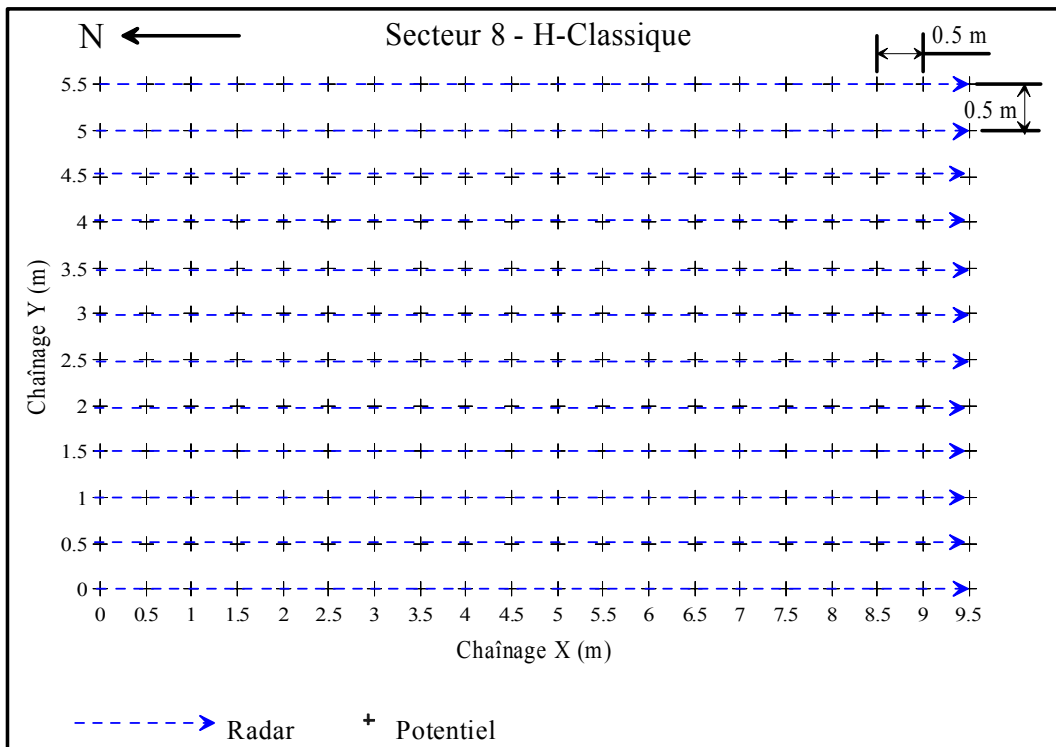


Figure 2 : Essais Radar et de potentiel de corrosion sur les secteurs étudiés

4.2 Radar

La figure 3b donne la cartographie de l'amplitude de réflexion des ondes radar sur la face inférieure de la dalle. Cette amplitude est affectée par la présence d'humidité et d'ions chlorure dans la dalle et/ou de la délamination. L'humidité et la délamination affaiblissent l'onde radar au cours de son parcours à travers la dalle. Une amplitude faible (couleur rouge) à la fin de la dalle indique une dégradation du béton et une forte réflexion (une amplitude plus négative de couleur verte) indique que le béton n'est pas dégradé. La couleur jaune indique un état intermédiaire du béton. La résolution du radar est très nette par rapport au marteau.

4.3 Potentiel de corrosion

La figure 3c donne la cartographie de potentiel de corrosion présentant l'état probable de l'activité de corrosion des armatures de la rangée supérieure. La couleur rouge et noire indique une probabilité de corrosion supérieure à 90 %. Les zones de couleur jaune présentent une probabilité de corrosion de 50 %, et les zones de couleur verte indiquent une probabilité de 10 % ou absence de la corrosion. L'essai de potentiel matérialise l'activité de corrosion des armatures selon le maillage du relevé de 0,5 x 0,5 m. Il est plus gros par rapport à celui du radar de 1 cm x 1 cm. Donc le radar détient encore la meilleure résolution. Il peut prévenir des conditions favorisant l'initiation de la corrosion. Grâce à cet avantage, le radar est l'outil de prévention des conditions de développement de la corrosion. Il doit être utilisé pour le suivi et le contrôle des structures.

4.4 Essai de résistivité électrique

Les mesures de la résistivité électrique peuvent être faites simplement sur quelques points de mesures de potentiel. Afin de vérifier la vitesse de corrosion, elles peuvent être effectuées sur des points de mesures de potentiel très élevées, élevées, moyennes et faibles. La figure 3d présente les valeurs de résistivité électrique interprétées selon le tableau 2. La couleur rouge indique une vitesse de corrosion élevée (résistivité inférieure à 100 Ω .m). La couleur jaune montre une vitesse modérée (résistivité variant entre 100 Ω .m à 200 Ω .m) et la couleur verte dévoile que la corrosion est au ralenti (résistivité supérieure à 200 Ω m). En général, la résistivité indique une vitesse de corrosion faible.

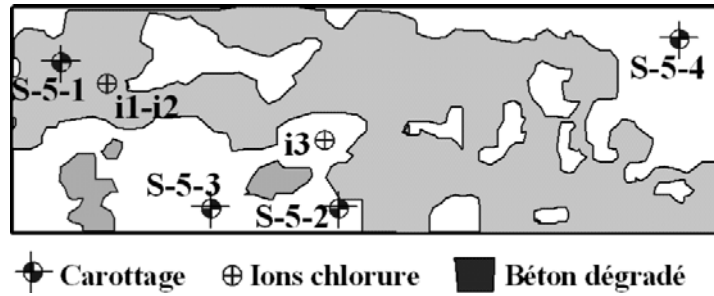
5. CONCLUSIONS

L'étude a permis d'évaluer l'état de dégradation des secteurs auscultés des dalles de stationnement de 3 étages par l'utilisation des méthodes de contrôles non destructifs (marteau, carottage, radar, potentiel de corrosion et résistivité électrique). Les résultats montrent des similitudes entre le radar, le potentiel de corrosion et le sondage au marteau. Ces résultats ont été confirmés par le calcul de la résistance à la compression et la teneur en ions chlorures. L'erreur moyenne entre le relevé par radar et de potentiel est de 6% pour un état de corrosion avancé et 4% pour un état moyen à faible.

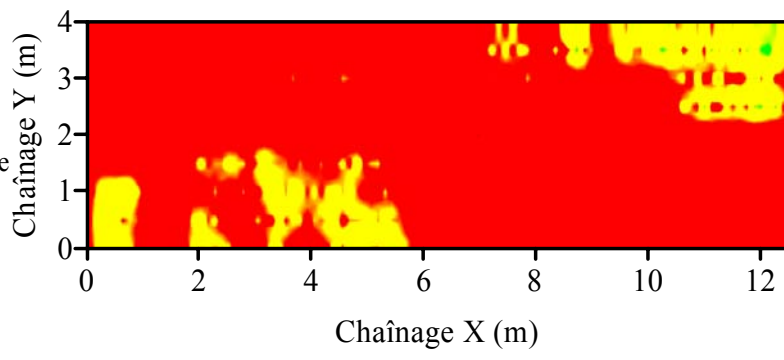
REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le CRSNG ainsi que tous les partenaires de la Chaire industrielle sur l'auscultation des structures de béton pour leur soutien financier, et en particulier l'équipe GéoLab inc. et Jean-Marc Dugré.

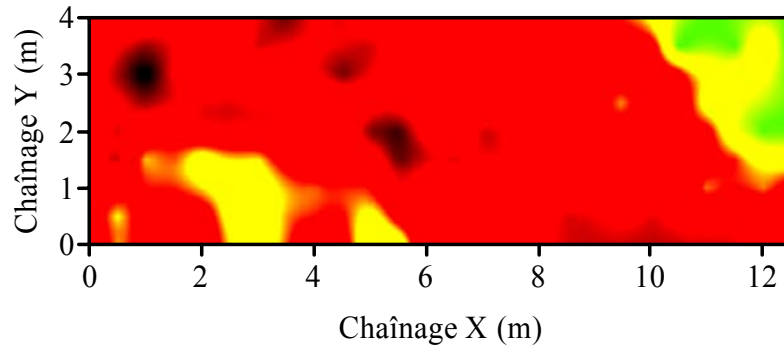
a) Inspection visuelle



b) Radar - Amplitude d'onde de la fin de la dalle



c) Potentiel de corrosion (-mV)



d) Résistivité électrique (Ohm.m)

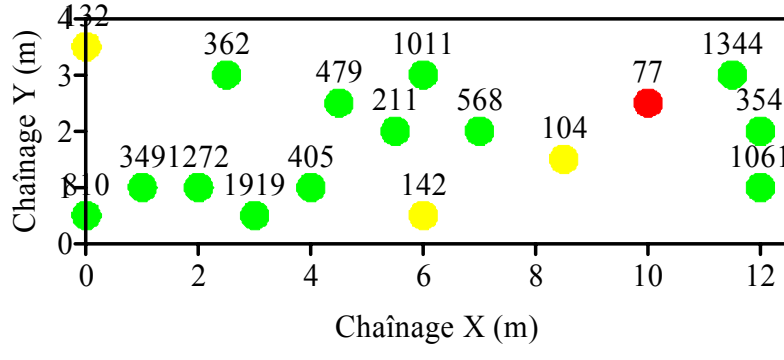


Figure 3 : Résultats des essais sur un des secteurs étudiés

RÉFÉRENCES

- [1] ASTM C876 (1999) *Standard test Method for Half cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*
- [2] BALAYSSAC, J.P., LAURENS, S., RHAZI, J. (mars-avril 2002) *Utilisation du radar pour la détection de zones à risque de corrosion dans le béton armé*, NT4416. 99 Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées 237, p. 102.
- [3] BARNES, L., TROTTIER, J.F. (may-june 2000) *Ground penetrating radar for network level concrete deck repair management*, Journal of Transportation Engineering, Vol. 126, N° 3.
- [4] BROOMFIELD, J. P. (1994) *Assessing corrosion damage on reinforced concrete structures, corrosion and corrosion protection of steel in concrete*, Sheffield Academic Press, 1-25 p.
- [5] MILLARD, S.G., & AL. (1996) *Measurement of concrete resistivity for assessment of corrosion severity of steel using Wenner technique*, ACI materials journal N.96-M66, 536-541 p.
- [6] DOUS, O, RHAZI, J., BALLIVY, G., et BERTRAND, L., (2004) *Évaluation des dalles de tabliers de ponts par radar, potentiel de corrosion et résistivité électrique*, 11^e Colloque sur la progression de la recherche Québécoise sur les ouvrages d'art, Université Laval
- [7] DOUS, O., PARENT, M., (2002) *Auscultation des dalles des tabliers de ponts par radar en Montérégie*, Université de Sherbrooke et GIE, Technologies, Inc
- [8] RHAZI, J., DOUS, O, BERTRAND, L., et GOSSELIN, S., (2004) *Évaluation des dalles de tabliers de ponts (autoroute 55) par radar, potentiel de corrosion et résistivité électrique*, Université de Sherbrooke et Géolab.
- [9] RHAZI, J., DOUS, O., BALLIVY, G., LAURENS, S., BALAYSSAC, J.-P. (2003) *Nondestructive health evaluation of concrete bridge decks by GPR and half cell potential techniques*, Berlin, International Symposium, Non-Destructive Testing in Civil Engineering.