

Nouvelles techniques d'évaluation des bâtiments en béton précontraint par post-tension

par A.H. Rahman et G. Pernica

Nombre de bâtiments comportant des câbles de précontrainte par post-tension non adhérents exigent des réparations coûteuses en raison de la corrosion de ceux-ci. Cet article expose les résultats d'une étude menée récemment par l'IRC, en collaboration avec la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), concernant l'efficacité de trois nouvelles techniques qui permettent d'évaluer l'état de ces câbles.

Les câbles de précontrainte par post-tension (PPT) sont appréciés des constructeurs d'immeubles à bureaux et d'habitations à étages multiples, car ils réduisent les coûts et le temps de construction grâce à des dalles de béton plus minces. Nombre d'immeubles, certains ayant à peine 10 ans, exigent des réparations coûteuses en raison de la corrosion précoce des câbles. Celle-ci peut agir sans qu'on observe de signes visibles de détérioration. Il importe, pour des raisons de sécurité, de disposer de moyens permettant d'évaluer l'état des câbles mais il y a toujours eu pénurie de techniques fiables et abordables.

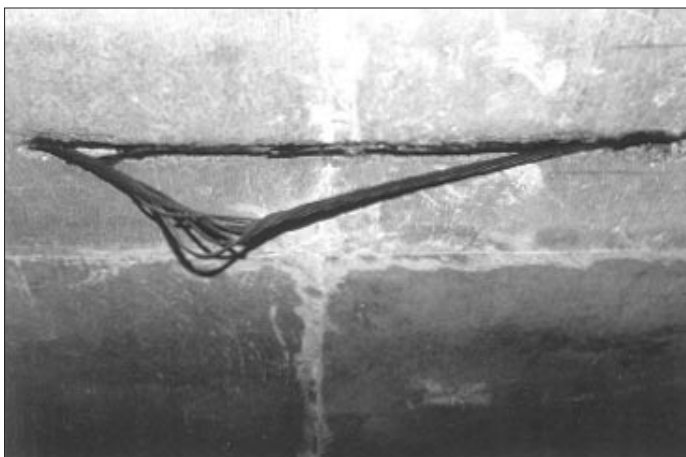


Figure 1. Un câble de précontrainte par post-tension sort de la dalle porteuse. Photo : Vanco Structural Services Inc.

Difficulté d'évaluer les bâtiments comportant des PPT

L'évaluation *in situ* des câbles de précontrainte par post-tension non adhérents pose un défi technique. Le relevé de potentiel par demi-pile, utilisé pour la détection des zones de corrosion active, est inefficace car les câbles sont logés dans des gaines d'isolement électrique en plastique ou en papier.

Le « test du tournevis », couramment utilisé pour repérer les fils cassés dans les câbles à sept torons, est loin d'être parfait. D'abord, en raison de l'absence de normes concernant la dureté, la grosseur et le profil de l'embout du tournevis, ainsi que la force appliquée pour l'enfoncer, la méthode est peu fiable. Ensuite, le frottement des fils, particulièrement aux endroits où le câble est le plus corrodé, peut nuire au repérage d'une rupture distante du point d'inspection. Enfin, l'essai est destructif, car il faut percer le béton pour atteindre le câble.

Nouvelles méthodes d'évaluation

Ces dernières années, plusieurs méthodes d'évaluation de l'état des câbles de PPT ont été proposées et mises au point. L'IRC a examiné trois de ces méthodes afin de déterminer leur efficacité.

Surveillance acoustique continue

Cette méthode permet de connaître, grâce au bruit émis, le moment de rupture d'un câble ou d'un fil, ainsi que l'endroit où elle se produit. À cette fin, une série d'accéléromètres est fixée à l'ouvrage et branchée à un système de saisie de données *in situ*. Celui-ci, qui demeure constamment sous tension, enregistre un événement acoustique seulement lorsque l'intensité du signal des accéléromètres dépasse un seuil préréglé. Tous les événements enregistrés sont traités et analysés à l'aide d'un logiciel exclusif qui permet de distinguer les sons correspondant à des ruptures, de déterminer leur emplacement et d'identifier les câbles concernés. Le logiciel comporte un réseau d'apprentissage artificiel qui écarte les faux événements. En outre, un opérateur qualifié effectue manuellement une dernière sélection des ruptures repérées.

On a effectué un grand nombre d'essais *in situ* pour déterminer la précision, la sensibilité et la fiabilité de cette technique. Ainsi, les responsables de l'étude ont mis en place, dans un immeuble comportant des câbles de précontrainte par post-tension, un système de surveillance d'une dalle de 1800 m². Ils ont produit artificiellement des événements en coupant des fils sur plusieurs câbles; ils ont aussi soumis la dalle et les poteaux à des chocs artificiels pour déterminer si la technique permettait de distinguer chocs et ruptures de câbles. Ils ont en outre vérifié les ruptures spontanées de fils détectées, en un an, par les systèmes de surveillance installés dans l'immeuble en question et dans deux autres.

Grâce à cette technique, la majorité des coupures délibérées de fils ont été bien signalées. Le système n'a pas enregistré toutes les coupures parce qu'il a été déclenché prématurément par le bruit de la meuleuse utilisée pour couper les fils. Toutefois, dans la réalité, ce problème ne devrait pas se produire, car les ruptures spontanées de fils ne sont pas précédées par ce genre de bruit. On a confirmé 24 des 29 ruptures de fils signalées lors de la surveillance des trois immeubles en dénudant la section de câble concernée; trois ruptures n'ont pas été vérifiées en raison de la difficulté d'accès. Seulement un petit nombre des impacts artificiels ont été considérés comme des ruptures de fils par le système de surveillance.

Se basant sur les résultats de ces essais et sur la valeur scientifique des principes en jeu, les chercheurs de l'IRC estiment que cette technique permet de détecter et de repérer

les ruptures spontanées de fils dans les ouvrages comportant des câbles de PPT. Il est improbable que le système de surveillance acoustique ne décèle pas les ruptures de fils mais il y a certains risques qu'il considère comme des ruptures des événements qui n'en sont pas. Cette technique est quasiment non destructive, car il n'est pas nécessaire de casser ou de perforer le béton pour installer le système de surveillance.

Il va de soi que le système de surveillance acoustique continue ne peut servir au repérage des câbles déjà rompus, mais lorsqu'il est installé dans un immeuble neuf ou dans un ancien bâtiment où des câbles endommagés ont été détectés par d'autres méthodes, il pourrait dispenser d'évaluations complémentaires à l'aide d'autres techniques. En permettant au propriétaire de disposer d'un registre permanent des ruptures de câbles, cette technique pourrait l'aider à déterminer le rythme de détérioration du bâtiment, à évaluer sa vie utile restante et à choisir l'option la plus intéressante économiquement – la réparation ou la démolition.

Prévision du degré de corrosion par la mesure de l'humidité

Cette méthode consiste à déterminer le degré probable de corrosion des câbles en mesurant la teneur en humidité de l'air contenu dans les gaines de plastique. On injecte de l'air sec dans la gaine par un mamelon de manière à expulser l'air présent dans la gaine. L'air expulsé est recueilli à l'aide d'un second mamelon situé un peu plus loin, et la teneur en humidité est mesurée au moyen d'un hygromètre-thermomètre. Le câble est ensuite coté en fonction de sa teneur en humidité. Cette marche à suivre est répétée pour tous les câbles échantillonnés. Un petit nombre de ces câbles (jugés représentatifs des conditions d'humidité du bâtiment) sont alors retirés, inspectés visuellement et cotés selon leur degré de corrosion. On compare ensuite le degré de corrosion et la teneur en humidité des câbles, et les résultats obtenus servent à établir une prévision statistique du degré de corrosion de l'ensemble des câbles.

Le phénomène de corrosion se produit en présence d'humidité et d'oxygène. Comme l'oxygène est normalement présent dans la gaine, la détection d'humidité confirme la possibilité de corrosion. Cependant, le degré de corrosion ne peut pas être déterminé seulement par la mesure de la teneur en humidité; la durée de l'exposition du câble à l'humidité et la présence d'autres éléments dans la gaine sont aussi des facteurs impor-

tants. Par ailleurs, l'absence d'humidité au moment où s'est déroulé l'inspection ne signifie pas nécessairement que le câble n'a jamais été mouillé. On peut remédier en grande partie à ces problèmes en comparant la teneur en humidité des câbles retirés et le degré de corrosion observé. Il est donc capital, pour évaluer l'efficacité de la méthode, de déterminer la justesse de cette comparaison; elle dépend beaucoup de la représentativité du groupe de câbles retirés.

L'étude de l'IRC a consisté à vérifier une relation établie à partir d'une dalle de plancher en service. L'Institut a retiré des câbles de la dalle de béton et il a comparé le degré de corrosion observé avec les prédictions faites à l'aide de la technique en question. La comparaison a montré que :

- 1) si le nombre de câbles retirés est basé seulement sur un pourcentage du groupe de câbles dont la teneur en humidité a été contrôlée, l'échantillonnage peut être trop étroit pour permettre d'obtenir une relation valable;
- 2) que le nombre de câbles enlevés ne devrait pas être inférieur à 15.

Cette méthode présente un inconvénient : elle ne peut servir à évaluer les câbles gainés de papier ni de plastique extrudé, car l'espace entre le câble et la gaine, dans ces cas, ne permet pas d'y introduire de l'air. Seuls les câbles à gaine de plastique non ajustée peuvent être évalués de cette manière. Pour ce faire, il faut atteindre la gaine en brisant l'enrobage de béton, habituellement en sous-face de la dalle, à l'aide d'une perceuse ou d'un ciseau. Cette façon de faire perturbe quelque peu les fonctions du bâtiment et on risque alors d'endommager les câbles en entaillant un ou plusieurs fils. L'extraction de câbles pour comparer la teneur en humidité mesurée et le degré de corrosion observé est aussi une opération destructive et coûteuse.

Malgré cet inconvénient, la technique peut être efficace et économique, particulièrement lorsqu'il faut examiner un grand nombre de câbles. Même si la prévision du degré de corrosion des câbles testés n'est pas tout à fait précise, la connaissance de la teneur en humidité de l'air contenu dans les gaines peut aider à évaluer le risque de corrosion et à déterminer s'il serait avantageux de prendre des mesures de protection, par exemple par assèchement des gaines ou injection de graisse.

Technique des impulsions électromagnétiques

Cette technique consiste à évaluer la perte de surface transversale (PST) d'un câble au niveau d'un défaut (piqûre de corrosion ou

rupture d'un fil) et à repérer ce défaut. Une impulsion électromagnétique est transmise à un câble à partir de l'une des extrémités. Dès que l'impulsion atteint le défaut ou l'autre extrémité du câble (contact entre l'acier et l'air), elle revient. Le transmetteur-récepteur capte les réflexions d'ondes, qui sont enregistrées pendant un intervalle donné et affichées sur un écran vidéo. Chaque câble reçoit un grand nombre d'impulsions (128 ou davantage) et les nouvelles formes d'ondes s'ajoutent aux ondes déjà enregistrées. La forme d'onde moyenne est calculée, affichée et examinée attentivement avant d'être mise en mémoire.

Les formes d'ondes enregistrées sont ensuite analysées et les propriétés de chaque réflexion (dont la forme d'onde) sont déterminées. Puis on convertit, en suivant un protocole exclusif, les réflexions analysées en PST estimative, et les défauts sont classés en différentes catégories sur la base de celle-ci. La distance entre le défaut et l'extrémité du câble d'où est partie l'impulsion est calculée d'après le temps de retour de la réflexion, et l'importance du défaut est déterminée à partir de la durée, de l'amplitude et de la forme de l'onde réfléchie.

On a évalué l'efficacité de cette technique en réalisant des essais sur 86 câbles répartis entre trois bâtiments. On a déterminé sa précision et sa résolution en comparant la PST et l'emplacement des défauts estimatifs avec les résultats de l'inspection visuelle de 17 câbles qui avaient été volontairement endommagés et de 69 câbles qui comportaient des défauts. Pour évaluer la cohérence de cette technique de détection, on a procédé à deux essais distincts sur 31 câbles. Après le premier essai, des modifications ont été apportées à 10 d'entre eux à l'insu de la personne effectuant l'essai. D'autres essais visaient à déterminer dans quelle mesure cette méthode est influencée par les conditions ambiantes. Par exemple, on a introduit de l'eau dans la gaine du câble, créé des champs électriques en disposant un conduit sous tension perpendiculairement au câble, en sous-face de la dalle, et en insérant des contacts métalliques entre les câbles. Les chercheurs ont aussi tenté d'en savoir plus sur les lacunes connues de la méthode, par exemple les sections de câble où les défauts ne seraient pas détectés.

Les essais ont montré clairement que la technique des impulsions électromagnétiques ne permet pas de déceler les défauts ni de mesurer la PST dans les câbles de précon-

trainte par post-tension non adhérents. Ainsi, elle n'a pas permis de détecter 49 des 68 défauts réels à PST supérieure à 6 %, en particulier certains qui avaient provoqué la rupture complète du câble. Pour 15 des 19 défauts restants, l'emplacement a été déterminé mais la PST a été sous-estimée dans la plupart des cas. De plus, il y a 158 défauts détectés au moyen de cette technique qui n'ont pas été décelés lors de l'inspection visuelle des câbles, 83 d'entre eux concernant 29 câbles qui étaient en parfait état.

Il y avait aussi un manque de cohérence au niveau du signalement des défauts : 10 nouveaux défauts ont été signalés et un des défauts qui avait été signalé précédemment ne l'a pas été au cours de la deuxième série d'essais portant sur 8 câbles qui n'avaient été modifiés d'aucune façon après la première série.

Les essais visant à déterminer l'influence des facteurs ambiants ont montré que les résultats obtenus à l'aide de cette technique sont faussés par les fils électriques fixés à la dalle et par le contact direct d'un câble avec un autre ou avec les ronds à béton.

Il ressort de l'étude que la technique des impulsions électromagnétiques ne permet pas de bien évaluer l'état des câbles de PPT non adhérents.

Conclusion

La technique de prévision de la corrosion par mesure de l'humidité s'est révélée utile, car elle a permis de connaître la teneur en humidité de l'air contenu dans les gaines de câbles et d'établir une estimation statistique du degré de corrosion de ceux-ci (à condition de choisir judicieusement les câbles à extraire).

La technique de surveillance acoustique, qui sert à détecter au fur et à mesure les ruptures de câbles, s'est révélée fiable. Il va de soi qu'elle ne peut permettre de déceler les défauts existants.

La technique des impulsions électromagnétiques, utilisée pour détecter les défauts et les repérer, a été jugée inefficace.

L'étude de l'IRC a montré qu'il faudrait disposer de techniques efficaces permettant de repérer et d'évaluer les dommages causés aux câbles de PPT par la corrosion, en particulier de mesurer directement, *in situ*, leur force résiduelle.

Entre-temps, il faudrait normaliser le test du tournevis, couramment utilisé, pour assurer son applicabilité générale et augmenter sa fiabilité. De plus, les ingénieurs et les propriétaires de bâtiments comportant des câbles de précontrainte par post-tension ont besoin de directives pour les évaluer. L'IRC est en train d'en élaborer en collaboration avec la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) et des ingénieurs.

Références

1. Rahman, A.H., Pernica, G., et G.R. Wither. Non-destructive evaluation of post-tensioned buildings: current difficulties and new techniques. The Third Conference on Non-Destructive Evaluation of Civil Structures and Materials, Boulder, Colorado, 1996, p. 133-139, 1996. NRCC 39329
2. Pernica, G., et A.H. Rahman. Effectiveness of a corrosion potential method for evaluating post-tensioned tendons – An evaluation report. Société canadienne d'hypothèques et de logement, mars 1998.
3. Rahman, A.H., et G. Pernica. Effectiveness of an electromagnetic wave propagation technique for the condition assessment of post-tensioned tendons – An evaluation report. Société canadienne d'hypothèques et de logement, juin 1997.
4. Rahman, A.H., et G. Pernica. Effectiveness of an acoustic continuous monitoring system for post-tensioned buildings – An evaluation report. Société canadienne d'hypothèques et de logement, février 1998.

A.H. Rahman, Ph.D., et G. Pernica, Ph.D., sont agents de recherche au sein du programme *Enveloppe et structure du bâtiment*, à l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches.

© 1998
Conseil national de recherches du Canada
Septembre 1998
ISSN 1206-1239