LE POINT EN RECHERCHE

Novembre 2002 Série technique 02-129

Protocole d'investigation des bâtiments en béton précontraint par post-tension

INTRODUCTION

En Amérique du Nord, plus de 100 millions de mètres carrés (un milliard de pieds carrés) d'ouvrages en béton précontraint par post-tension ont été construits à l'aide d'armatures non adhérentes constituées de torons de haute résistance enduits de graisse, insérés dans une gaine de plastique, puis ancrés au bâtiment. L'assemblage – y compris les toron, la gaine et le cône d'ancrage – se nomme un câble. Les torons sont mis sous tension au moyen d'un vérin hydraulique à l'emplacement de l'un ou des deux cônes d'ancrage.

Les bâtiments en béton précontraint par post-tension à câbles non adhérents se comportent bien tant que les câbles sont protégés contre l'humidité. Toutefois, des problèmes ont surgi dans les années 1980 dans de nombreux ouvrages construits avant la fin des années 1980 à cause de la corrosion et de la ruptures de câbles dues à la pénétration de l'humidité. Les câbles à haute résistance sont particulièrement sujets à la corrosion.

La corrosion des torons et le temps écoulé avant leur rupture dans les structures précontraintes par post-tension varient grandement d'un ouvrage à l'autre, ainsi qu'au sein d'un même ouvrage. Des ruptures généralisées se sont manifestées dans certains structures dans les sept années suivant leur construction, tandis que dans d'autres, les ruptures n'ont débuté qu'après 25 années.

Il faut mettre en œuvre un programme d'investigation comprenant l'exposition sélective et la mise à l'essai de torons pour 1) juger de la sécurité, 2) prédire l'éventualité d'une rupture de câble et 3) décider si des réparations ou un suivi sont nécessaires. Les inspections peuvent être coûteuses et dérangeantes, et les réparations le sont encore plus. Depuis les années 1980, les protocoles d'investigation des systèmes précontraints par post-tension ont évolué considérablement.

Le document de recherche intitulé *Investigation Protocol for Evaluation of Post-Tensioned Buildings* aidera les spécialistes à planifier et à mener un programme d'évaluation judicieux. Il permettra également aux propriétaires, aux gestionnaires immobiliers et à d'autres de comprendre le processus. Le document a pour objectifs :

- de déterminer les facteurs contribuant à la gamme étendue de performances dans les structures en béton précontraint par post-tension à câbles non adhérents,
- de noter la présence de facteurs commerciaux et de tolérance au risque qui influent sur la portée de l'investigation,
- de passer brièvement en revue les techniques d'investigation courantes,
- de suggérer une taille d'échantillonnage lors des investigations en fonction de différents types de bâtiments,
- d'indiquer les exigences quant aux rapports et
- de fournir des critères généraux portant sur les options d'entretien.

Le guide dont il est question ici ne spécifie pas de niveau minimal de mise à l'essai ou de norme d'entretien, mais présente plutôt un aperçu du processus d'évaluation. Il ne traite que des bâtiments en béton post-contraint construits à l'aide de câbles non adhérents à toron unique. On prévoit un processus d'évaluation différent dans le cas des systèmes précontraints par post-tension au moyen de câbles à toron unique ou à torons multiples adhérés à l'aide d'un coulis dans les structures ou les composants de bâtiment en béton précontraint (préfabriqué).

Canada

SCHL CMHC
AU CŒUR DE L'HABITATION

TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Les facteurs les plus importants pouvant influer sur le potentiel de corrosion et de rupture des torons sont les suivants : 1) la quantité et l'étendue de la pénétration de l'humidité, 2) la présence de contaminants dans la gaine et 3) la susceptibilité des torons à la fissuration par corrosion sous tension.

Nombre de facteurs déterminants peuvent modifier la portée de l'investigation. Parmi ceux-ci figure les intérêts du client : s'intéresse-t-il à la propriété à long terme ou à court terme? S'il s'agit du long terme, il faut procéder à une évaluation globale du bâtiment par rapport à mener des examens ponctuels d'aires représentatives. L'évaluation globale limite la possibilité de rater l'aire la plus détériorée. Par contre, si l'acheteur n'a qu'un horizon à court terme, les analyses ponctuelles pourraient lui convenir.

Dans le même ordre d'idées, l'étendue des analyses variera en fonction des objectifs comme un réaménagement complet par rapport à un programme de réparation ou d'entretien. L'intérêt que portent les organismes financiers et d'assurances ou les gouvernements peut également influer sur la portée de l'investigation. Il faut procéder à un examen général de la conception structurale avant de définir la portée des analyses ultérieures. Cet examen devrait révéler la résistance globale de l'ouvrage, ses points névralgiques et les éléments particuliers et les problèmes pouvant être repérés sur le terrain.

Cette étape initiale consiste à étudier toute la documentation disponible. Bien que les plans de structure n'illustrent pas nécessairement le système de post-tension employé, des modifications ayant pu être apportées par le fournisseur en fonction de ses propres dessins, les plans donneront des indications quant à la disposition générale. Les photographies prises durant la construction pourraient fournir des détails des ancrages, de la séquence de construction, des mesures de protection contre les intempéries et d'autres éléments susceptibles d'influer sur la pénétration de l'humidité durant la construction.

Une inspection visuelle préliminaire confirmera les surcharges d'occupation, les écarts évidents par rapport à la conception d'origine, de même que les détails d'imperméabilisation. Toute région affichant des signes visibles de désordre demande une investigation particulière.

Le protocole d'investigation présente des conseils sur ces aspects de la revue initiale, dont la détermination de la taille d'échantillonnage, sa répartition et le choix des ancrages devant faire l'objet d'un examen.

Raisons qui sous-tendent le besoin de réaliser une investigation des systèmes précontraints par post-tension

L'examen des systèmes précontraints par post-tension peut être justifié pour de multiples raisons :

- Diligence raisonnable avant l'achat ou le financement
- Directive émanant d'agents de bâtiment municipaux
- Réponse à des défectuosités visibles
- Inspections d'état courantes
- Prévisions des dépenses d'entretien
- Vérification du prix de revient d'exploitation du bâtiment
- Étude de réserve de remplacement
- Évaluation de la durée utile
- Règlements de litiges
- Changement d'usage de l'ouvrage

L'INVESTIGATION

Cette étape commence par une inspection exhaustive sur le terrain. Cette partie du travail doit être effectuée afin de confirmer les surcharges réelles et les détails de l'ouvrage fini, dont la présence d'une imperméabilisation et sa condition aux endroits moins accessibles visuellement. Les constatations relevées sur le terrain doivent être consignées par écrit afin de pouvoir y référer ultérieurement. Des formulaires types de collecte de données devraient être employés pour simplifier l'enregistrement et réduire les possibilités d'erreurs ou d'omissions d'informations clés. L'annexe A du guide renferme des exemples de formulaires types. Un entrepreneur possédant une expérience manifeste dans le domaine des structures en béton précontraint par post-tension peut vous fournir des renseignements précieux sur la disposition des câbles, le détail des ancrages et le précédé de mise sous contrainte.

L'investigation se déroule généralement de la manière suivante :

- *Inspection des torons par des ouvertures de visite*
  Le programme d'examen préliminaire consiste habituellement à analyser une courte portion du toron (200mm) que l'on aura exposée en retirant le béton à un certain nombre d'endroits représentatifs. Une inspection visuelle doit être effectuée aussitôt que les torons ont été exposés, car toute humidité qui se trouve dans la gaine pourrait s'évaporer ou disparaître dès l'exposition. Il faut analyser des échantillons de graisse pour déceler la présence d'eau, et il faut déterminer le niveau de tension dans le câble à l'aide de l'une des trois méthodes suivantes : le sectionnement d'un brin du toron, méthode du tournevis et fleximètre, toutes décrites à l'annexe B du guide.

- *Retrait des torons et inspection*
  La dépose et l'inspection d'un nombre restreint de torons peut procurer des renseignements supplémentaires relatifs à la quantité d'humidité présente et au degré de corrosion du toron. Si les analyses dans l'étape qui précède révèlent que certains torons présentent des lacunes quant à leur tension, on devra en retirer une certaine quantité pour cerner la cause de la perte de tension.

- *Analyses métallurgiques et essais sur les torons*
  On effectue souvent des essais additionnels afin de déterminer le mécanisme de détérioration et ainsi prédire le moment de défaillance du toron corrodé. Ces essais sont décrits brièvement dans le guide.

- *Mesure de l'humidité dans les gaines des torons*
  Des essais de diffusion d'air peuvent être réalisés sur les gaines de type à insertion ou scellées à chaud afin d'y déceler le potentiel de corrosion du toron (Les torons qui remplissent la gaine et les gaines extrudées comblées de graisse restreignent la diffusion de l'air, ce qui écarte ce genre d'essai). Ces essais comportent un avantage de taille : ils fournissent des renseignements relatifs à l'humidité sut toute la longueur du toron, comparativement à quelques points d'inspection.

- *Analyse des contaminants dans les gaines*
  L'eau pure peut amorcer la corrosion des torons. En plus de l'eau pure, différents contaminants peuvent accélérer le processus de corrosion des torons. Des chlorures ou des fertilisants pourraient avoir pénétré dans les gaines enfouies dans les dalles de garage sous le niveau du sol ou les dalles de toitures-terrasses sous-jacentes aux aires aménagées. La graisse dans les gaines peut être contaminée de nitrates, de radicaux libres de soufre, de moisissures ou d'activités biologiques produisant de l'hydrogène sulfuré.

Il faut un jugement autorisé pour interpréter les résultats obtenus dans les ouvertures de visite, puisqu'ils ne correspondent pas nécessairement à l'état global de l'ouvrage. Une expertise et un savoir-faire en matière de conception d'ouvrages en béton précontraint par post-tension sont aussi de rigueur afin d'être en mesure d'évaluer convenablement les répercussions de rupture des câbles sur la résistance de la structure.

À partir du rapport admissible de perte de tension des câbles et du taux de rupture des tendons, on peut estimer le moment où il deviendra nécessaire d'effectuer des réparations. D'autres facteurs, toutefois, doivent également être pris en compte. Les résultats obtenus pour un bâtiment déterminé doivent être jumelés à d'autres informations particulières afin de prévoir leur performance, car la rupture des torons n'est pas uniforme dans le temps. Des résultats courants indiquent que la corrosion se propage dans un système jusqu'à un seuil limite, à compter duquel la fréquence de rupture des torons augmente.

La rupture d'un toron peut se produire très soudainement et libérer une grande quantité d'énergie. Dans quelques cas, des torons ont surgi de la dalle. En raison de la possibilité de blesser des personnes ou de causer des dommages à la propriété, on recommande de placer des plaques d'acier ou d'autres dispositifs de protection aux emplacements adjacents aux voies piétonnières et aux endroits ou l'enrobage de béton est le plus mince (aux points hauts et aux points bas des câbles relevés).

Jusqu'ici, la concordance entre les rapports portant sur les investigations d'ouvrages précontraints par post-tension laisse à désirer. Par conséquent, les rapports provenant de différents consultants présentent des opinions contradictoires. Ils peuvent négliger de mettre en lumière de graves problèmes ayant trait à la sécurité ou ils fournissent des conclusions ambiguës ou fautives fondées sur des renseignements provenant d'analyses limitées. L'emploi d'une terminologie irrégulière dans le secteur rend l'interprétation des rapports très difficile pour le profane. Dans le guide *Investigation Protocol*, on trouve un survol des renseignements que devrait renfermer un rapport d'investigation représentatif, depuis les données historiques et le sommaire des résultats des analyses jusqu'aux recommandations portant sur les réparations et l'entretien.

Là où il existe des problèmes passés et courants, il est recommandé de contrôler sur une base continue l'état de tension des torons. À l'aide d'un équipement de vérification acoustique, on peut repérer les torons sectionnés dans un ouvrage, de manière à réduire l'incertitude liée aux prévisions de rupture de torons et le calendrier des réparations.

Lorsque l'on repère des torons en perte de tension, leur remplacement peut s'effectuer sur une base sélective ou on peut entreprendre leur remplacement complet un fois que le rapport admissible de perte de tension a été atteint. Des membranes et des produits d'étanchéité peuvent être employés pour empêcher l'humidité de pénétrer dans la structure. Les options de rechange à l'imperméabilisation consistent à étanchéiser les ancrages, à assécher les câbles ou à empêcher l'humidité de pénétrer dans la gaine par l'injection de graisse additionnelle ou d'uréthane.

L'amélioration du drainage peut se révéler utile si elle amenuise la possibilité de pénétration de l'humidité dans le béton et les câbles. Les avaloirs colmatés doivent être nettoyés et réparés. Des avaloirs additionnels ou l'ajout de chapes de béton dotées de pentes préviendront les accumulations d'eau. Les pentes des toits peuvent être améliorées en leur ajoutant un isolant biseauté, et on peut ajouter des bermes et des rigoles de drainage pour éloigner l'eau des zones d'ancrage.

CONCLUSIONS

Les ouvrages précontraints par post-tension diffèrent des ouvrages classiques en béton armé. L'évaluation de leur état requiert un savoir-faire poussé. Les dommages ne sont habituellement pas visibles de l'extérieur, même si la rupture des torons est généralisée, et les conditions propres à chaque bâtiment varient grandement.

L'évaluation métallurgique des torons et les mécanismes de corrosion sont des domaines d'étude relativement nouveaux, et on dispose de très peu d'information sur les facteurs particuliers qui influent sur leur durée utile. Il faut un jugement éclairé lorsqu'on effectue une investigation de l'état d'un ouvrage en béton précontraint par post-tension.

Le protocole d'investigation de bâtiments en béton précontraint par post-tension dont il est question ici renferme de judicieuses informations et suggestions à l'intention des experts, tout en présentant un aperçu fiable du processus pour les propriétaires, les gestionnaires immobiliers et autres personnes qui s'intéressent à l'évaluation des éléments structuraux précontraints par post-tension.

Directeur de projet à la SCHL : Silvio Plescia

Rapport de recherche : *Investigation Protocol for Evaluation of Post-Tensioned Buildings,* 2002

Consultants pour le projet de recherche :
John Harder, Read Jones Christoffersen Ltd.;
David Rogowsky, University of Alberta et
Anast Demitt, Adem Engineering Ltd.

Recherche sur le logement à la SCHL

Aux termes de la partie IX de la ***Loi nationale sur l'habitation,*** le gouvernement du Canada verse des fonds à la SCHL afin de lui permettre de faire de la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et d'en publier et d'en diffuser les résultats.

Le présent feuillet documentaire fait partie d'une série visant à vous informer sur la nature et la portée du programme de recherche de la SCHL.

Pour consulter d'autres feuillets ***Le Point en recherche*** et pour prendre connaissance d'un large éventail de produits d'information, visitez notre site Web à

www.schl.ca

ou communiquez avec la

Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7
Téléphone : 1-800-668-2642
Télécopieur : 1-800-245-9274

©2002, Société canadienne d'hypothèques et de logement
Imprimé au Canada
Réalisation : SCHL 07-12-06
Révision : 2006

Bien que ce produit d'information se fonde sur les connaissances actuelles des experts en habitation, il n'a pour but que d'offrir des renseignements d'ordre général. Les lecteurs assument la responsabilité des mesures ou décisions prises sur la foi des renseignements contenus dans le présent ouvrage. Il revient aux lecteurs de consulter les ressources documentaires pertinentes et les spécialistes du domaine concerné afin de déterminer si, dans leur cas, les renseignements, les matériaux et les techniques sont sécuritaires et conviennent à leurs besoins. La Société canadienne d'hypothèques et de logement se dégage de toute responsabilité relativement aux conséquences résultant de l'utilisation des renseignements, des matériaux et des techniques contenus dans le présent ouvrage.

63045