

**REVÊTEMENTS
ANTI-CARBONATATION
POUR LES BÂTIMENTS
CANADIENS**

Présenté à :

DIVISION DE LA RECHERCHE
SOCIÉTÉ CANADIENNE D'HYPOTHÈQUES ET DE LOGEMENT
682, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7

Directeur de projet : Alvin J. Houston

Rédigé par :

ROBERT HALSALL AND ASSOCIATES LIMITED
Ingénieurs-conseils
6^e étage
188, avenue Eglinton est
Toronto (Ontario)
M4P 2X7

Consultant principal : Peter Halsall, M.A.Sc., ing.

le 22 décembre 1992

NOTE: ISSUED ALSO IN ENGLISH UNDER THE TITLE:

ANTI-CARBONATION COATINGS FOR USE ON CANADIAN BUILDINGS

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
ABRÉGÉ	
RÉSUMÉ	
REMERCIEMENTS	
1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODE	3
2.1 Choix du bâtiment et des zones d'essai	3
2.2 Choix des produits à mettre à l'essai	5
2.3 Application des revêtements et des bouche-pores	7
2.4 Premiers essais	10
3. OBSERVATIONS	11
4. CONCLUSIONS	13
4.1 Études supplémentaires suggérées	13
5. RÉFÉRENCES	15
Annexe A - Protocole d'essai	
Annexe B - Protocole de sélection des revêtements anti-carbonatation	
Annexe C - Lettre d'autorisation	
Annexe D - Entente relative à des services spéciaux	
Annexe E - Emplacement des panneaux d'essai	
Annexe F - Exemple de calcul	

La Société canadienne d'hypothèques et de logement, l'organisme du logement du gouvernement fédéral, a pour mandat d'appliquer la Loi nationale sur l'habitation.

Cette loi a pour objet d'aider à améliorer les conditions d'habitation et de vie au Canada. C'est pourquoi la Société s'intéresse à tout ce qui concerne l'habitation, l'expansion et le développement urbains.

Aux termes de la partie IX de la Loi, le gouvernement du Canada autorise la SCHL à consacrer des fonds à la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et à en publier et à en diffuser les résultats. La SCHL a donc l'obligation légale de veiller à faire largement connaître tout renseignement de nature à améliorer les conditions d'habitation et de vie.

La présente publication est l'un des nombreux moyens d'information que produit la SCHL grâce au concours financier du gouvernement fédéral. L'analyse, les interprétations et les recommandations qui en découlent sont celles du consultant et ne reflètent pas nécessairement l'opinion de la Société canadienne d'hypothèques et de logement ou des divisions de la Société qui ont contribué à l'étude ou à sa publication.

ABRÉGÉ

La carbonatation est un phénomène qui abaisse l'alcalinité naturelle du béton. Les hydrates du ciment, dans le béton, réagissent avec le dioxyde de carbone présent dans l'air pour produire des carbonates de calcium. Une carbonatation avancée peut provoquer la corrosion de l'acier d'armature dans une structure en béton armé et entraîner ultérieurement la formation de fissures dans le béton ainsi que des désordres structuraux.

Les revêtements et les bouche-pores se sont avérés aptes à ralentir ou à prévenir la progression de la carbonatation lors d'essais en laboratoire européens. La présente étude vise à mettre à l'essai sur le terrain un certain nombre de revêtements et de bouche-pores dans le but de déterminer leur effet sur le taux de carbonatation et de contrôler leur performance dans le climat canadien.

MOTS CLÉS

Carbonatation, revêtements, béton, corrosion, armature d'acier, bouche-pores

RÉSUMÉ

Introduction

La carbonatation du béton survient lorsque le dioxyde de carbone présent dans l'air ambiant se dissout à l'intérieur des pores du béton et réagit, au sein même du béton durci, avec les nombreux éléments qui le composent. Ce phénomène a pour effet de réduire l'alcalinité naturelle du béton. Lorsque la carbonatation atteint l'acier d'armature, elle lui fait perdre sa passivité (immunité à la corrosion). L'acier d'armature risque alors de se corroder si le milieu renferme suffisamment d'eau et d'oxygène.

On a beaucoup parlé, en Europe, de la détérioration du béton faisant suite à sa carbonatation. Aux prises avec ce problème, les Européens ont dû mettre au point des mesures correctrices. La Société canadienne d'hypothèques et de logement a subventionné la présente étude en vue d'évaluer la performance des revêtements «anti-carbonatation» dans le climat canadien.

Ce rapport en présente les résultats préliminaires.

Objectifs

- a) Élaborer un protocole d'essai visant à évaluer l'efficacité en service des divers revêtements anti-carbonatation.
- b) Mettre en oeuvre des revêtements anti-carbonatation dans des zones d'essai précises et réaliser une première analyse pour déceler la présence de carbonatation.

Méthode

Les produits mis à l'essai ont été choisis à partir des données techniques obtenues des fournisseurs. Pour qu'un produit soit retenu aux fins de l'étude, il devait être résistant au dioxyde de carbone, perméable à la vapeur d'eau et résistant à l'eau.

Les produits ont été appliqués sur des murs de contreventement en béton coulé sur place dans un immeuble âgé de 20 ans présentant une importante pénétration de carbonatation. Les fournisseurs ont certifié que les produits avaient été mis en oeuvre conformément à leurs instructions.

Durant la préparation de la surface, on s'est aperçu que le béton comportait un important bullage. Les cavités n'ont toutefois pas été bouchées pour ne pas que l'enduit de bouchage n'influe sur les mesures de la profondeur de la carbonatation.

Une première série de carottes a été prélevée de chacune des zones d'essai afin de déterminer les niveaux initiaux de carbonatation. L'analyse à la phénolphthaléine a été utilisée pour établir le degré de pénétration de la carbonatation.

Résultats

L'essai à la phénolphthaléine a indiqué une profondeur moyenne de carbonatation d'environ 15 mm. Les lectures étaient très uniformes d'une zone d'essai à l'autre puisque l'écart standard n'a été que de 1,6 mm. On estime que la pénétration de la carbonatation devrait avancer de 4 mm au cours des dix prochaines années.

Conclusions

Les contrôles futurs devront comporter une inspection visuelle annuelle des zones d'essai afin de déterminer la durabilité des revêtements dans le climat canadien. Le béton devra aussi être contrôlé pour déceler d'éventuels dommages causés par la présence des revêtements.

Compte tenu du rythme prévu de carbonatation déterminé durant la période d'essai, nous recommandons de n'effectuer les prochains essais de carbonatation que dans 4 et 10 ans. L'uniformité de la pénétration de la carbonatation dans ces murs de contreventement facilitera la comparaison de la performance des divers revêtements.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie les personnes et les entreprises suivantes de leur participation à ce programme d'essais :

- i) La Metro Toronto Housing Authority, pour avoir permis la tenue des essais sur l'un de ses bâtiments.

- ii) John Bickley, John Bickley Associates Ltd.
Doug Hooton, University of Toronto
Neil Cumming, B.H. Levelton and Associates Ltd.
Sally Thompson, Robert Halsall and Associates Ltd.
John Kosednar, Robert Halsall and Associates Ltd.
Pour avoir contribué à l'élaboration et à l'examen du protocole d'essai.

- iii) DRE Industries Inc.
Fosroc Construction Chemicals, une division de Foseco Canada Inc.
Master Builders Technologies Ltd.
Sika Canada Inc.
Pour avoir appliqué leurs produits sur les murs de contreventement utilisés dans le cadre de cette étude.

1. INTRODUCTION

1.1 Autorisation

Les essais ont eu lieu dans un bâtiment géré par la Metro Toronto Housing Authority. La lettre d'autorisation à cet effet est présentée à l'annexe C.

1.2 Objectifs

Ce rapport a pour but de documenter la phase initiale d'une étude à long terme destinée à évaluer la performance de revêtements anti-carbonatation pour béton dans le climat canadien.

Cette première phase de l'étude comporte les éléments suivants :

- i) le choix d'un bâtiment convenable;
- ii) le choix des zones d'essai du bâtiment retenu;
- iii) le choix des produits à mettre à l'essai;
- iv) la mise en place des produits;
- v) la mesure des degrés de pénétration de référence de la carbonatation.

Le but de l'étude sur les revêtements anti-carbonatation est de déterminer leur performance globale lorsqu'ils sont exposés aux conditions climatiques du Canada sans toutefois reprendre les nombreuses analyses qui ont déjà été menées en laboratoire.

Pour cette phase de l'étude, quatre produits ont été choisis aux fins d'application sur des murs de contreventement en béton coulé sur place. D'autres essais permettront de contrôler le rythme auquel progresse la pénétration de la carbonatation dans les bétons protégés et non protégés sur un même bâtiment et dans les mêmes conditions d'exposition.

1.3 Contexte

La carbonatation est une forme de dégradation du béton provoquée par les réactions entre le dioxyde de carbone présent dans l'air et les divers éléments du béton durci. Ces réactions se traduisent par une baisse du pH du béton pouvant aller de 12,5 environ à une valeur inférieure à 9. Il en résulte une détérioration de la couche naturelle passive qui se forme initialement à la surface de l'acier d'armature lorsque le pH du béton est plus élevé. Une fois cette couche passive détruite, l'acier d'armature peut se corroder en présence d'une quantité suffisante d'eau et d'oxygène. La carbonatation n'est dommageable pour le béton armé que si elle atteint l'armature d'acier. Un bâtiment est plus vulnérable aux dommages causés par la carbonatation si l'acier est mal placé et insuffisamment recouvert, si le béton est fissuré ou encore s'il est très perméable au dioxyde de carbone.

La carbonatation atteint un taux maximal lorsque les pores du béton présentent une humidité relative de 50 à 70 p. 100^{8,11} (Roberts, 1981; Weirig, 1984). C'est surtout le cas des ouvrages à l'abri des chutes de pluie directes. Le béton intérieur est plus sujet à la carbonatation, mais étant donné qu'il est sec, il court très peu de risques de corrosion; c'est pourquoi nous nous sommes intéressés aux ouvrages de béton extérieur couverts.

2. MÉTHODE

2.1 Choix du bâtiment et des zones d'essai

2.1.1 Choix du bâtiment

Conformément au protocole d'essai (se référer à l'annexe A), le bâtiment d'essai a été choisi à partir des résultats d'une étude précédente menée par John Bickley² (Bickley, 1990). On avait relevé, dans le bâtiment retenu en vue de l'essai des revêtements anti-carbonatation, une importante pénétration moyenne de la carbonatation dans ses éléments de béton coulé sur place, un pourcentage élevé de vides interstitiels perméables et un fort taux d'absorption. En outre, des analyses antérieures avaient révélé une importante progression prévue de la pénétration de la carbonatation.

La progression prévue de la carbonatation a été déterminée en supposant que la profondeur de la carbonatation est fonction de la racine carrée de l'âge du bâtiment, soit

$$D_c = K\sqrt{A}$$

D_c représentant la profondeur de la carbonatation, A l'âge du bâtiment et K une «constante de carbonatation» établie à partir du rythme antérieur de carbonatation d'un échantillon de béton donné.

Le bâtiment choisi pour les essais a été construit vers 1972. La profondeur moyenne de carbonatation déterminée par John Bickley pour les éléments verticaux de béton coulé sur place était 29 mm. On a estimé que la progression moyenne de la carbonatation au sein des éléments verticaux de béton coulé sur place du bâtiment retenu serait de 8 mm sur une période de 10 ans, soit de 29 à 37 mm.

Tous les bâtiments étudiés par John Bickley avaient au moins 15 ans. Étant donné que le rythme de carbonatation ralentit avec le temps, il aurait été préférable, pour la présente étude, d'étudier un bâtiment plus récent afin de pouvoir observer une évolution plus importante de la pénétration de la carbonatation. Néanmoins, le bâtiment retenu a été choisi parce qu'une étude antérieure de la SCHL avait établi qu'il s'y produisait une importante carbonatation.

2.1.2 Choix des zones d'essai

Une étude parallèle financée par la SCHL⁵ (Halsall, 1992) a permis de découvrir que les surfaces de béton verticales protégées des chutes de pluie directes étaient plus sujettes à la carbonatation que les surfaces horizontales pouvant demeurer saturées pendant de longues périodes. C'est pourquoi les murs de contreventement du deuxième étage, qui s'avancent en saillie par rapport au mur avant (voir le schéma n° SK-1 de l'annexe E), ont été choisis pour l'application des revêtements anti-carbonatation. Ces murs de contreventement sont en partie protégés par les balcons de l'étage supérieur.

Les zones d'essai ont été choisies conformément au protocole d'essai (annexe A) de telle sorte que la seule voie de pénétration du dioxyde de carbone dans le béton soit le revêtement et non le flanc du mur. Le revêtement a été appliqué à une extrémité et des deux côtés des murs de contreventement jusqu'au joint formé par le bâtiment et le mur de contreventement, et ce sur un étage complet. Il n'y a pas de balcon à l'étage du bâtiment d'essai (voir la photo n° 1 de l'annexe E); donc, les occupants n'ont pas accès aux zones d'application du revêtement. Cette caractéristique devrait donc éviter que les zones d'essai subissent des actes de vandalisme ou soient repeintes. Enfin, les zones d'essai ne sont pas exposées au sel.

2.2 Choix des produits à mettre à l'essai

Le protocole de sélection des revêtements anti-carbonatation figure à l'annexe B. Ce protocole précise les exigences de résistance minimale au mouvement du dioxyde de carbone, de transmission minimale de la vapeur d'eau et de pénétration maximale de l'eau. Ces critères ont été tirés de documents européens dont les références sont données à la fin du protocole.

La candidature de dix-neuf fournisseurs de revêtements et de bouche-pores pour béton a été prise en considération selon les exigences du protocole. Deux seulement ont pu répondre aux trois critères. Ces fournisseurs ont tous deux des filiales en Europe et ont accès à des résultats d'essais provenant de laboratoires européens. Cinq autres fournisseurs ne répondaient qu'à un ou deux critères, tandis que les autres ne faisaient tout simplement pas l'affaire. En général, les fournisseurs ne connaissaient pas le problème de la carbonatation. Leurs laboratoires ont même eu de la difficulté à obtenir de l'information sur les méthodes d'essai. Dans certains cas, la documentation contenait des allégations subjectives, du genre «résiste au dioxyde de carbone», qui ne s'appuyaient sur aucune donnée de laboratoire.

Les deux produits satisfaisant à tous les critères et un autre répondant à deux critères ont été retenus aux fins des essais. Selon un document du Building Research Establishment⁴ (Davies, 1989), les trois types de revêtement se sont bien comportés lors des essais visant à déterminer leur utilité en tant que protection contre la carbonatation. Le même rapport laisse entrevoir que les revêtements à base d'époxyde possèdent d'excellentes propriétés anti-carbonatation. Par conséquent, un revêtement à l'époxyde a aussi été choisi comme quatrième produit d'essai. Le choix du produit à base d'époxyde a été fondé sur les résultats d'une étude antérieure qui portait sur les bouche-pores et les revêtements pour béton¹ (Aitken, 1989) plutôt que sur la documentation des divers fournisseurs.

Les quatre produits suivants ont été mis à l'essai :

- i) Un apprêt constitué d'un oligomère silane-siloxane réactif sur support organique ainsi qu'une couche de finition consistant en une solution résineuse méthacrylique pigmentée contenue dans une essence minérale;
- ii) un revêtement cimentaire pluri-composant modifié à l'acrylique renfermant du ciment, du sable siliceux, un bouche-pores réactif ainsi que des copolymères acryliques;
- iii) un apprêt et une couche de finition composés d'une solution aqueuse d'acrylique à haut extrait sec;
- iv) un revêtement époxyde à polyamide pigmenté.

D'autres critères seront pris en considération pour évaluer la performance de ces revêtements pour béton, dont la résistance à la lumière ultraviolette, la résistance à l'abrasion, la facilité d'application, le moment du premier entretien, la facilité de recouvrement et l'esthétique⁶ (Harwood, 1990).

La documentation technique sur le revêtement acrylique et sur les revêtements au siloxane et au méthacrylate indiquent que ces produits sont très stables à la lumière ultraviolette. La documentation sur l'époxyde signale que ce revêtement noircit et se décolore après une exposition à la lumière ultraviolette. Quant à la documentation technique fournie pour le revêtement cimentaire, elle ne mentionne pas les effets de la lumière ultraviolette.

La résistance à l'abrasion et les autres critères liés à l'entretien des quatre revêtements d'essai feront l'objet d'un contrôle visuel tout au long de la période d'essai. Les revêtements ont été appliqués sur des zones partiellement protégées par les balcons de l'étage supérieur, mais ils seront quand même soumis aux intempéries.

2.3 Application des revêtements et des bouche-pores

2.3.1 Préparation de la surface

Le 7 décembre 1991, les quatre murs de contreventement ont été nettoyés au moyen d'un jet de sable pour préparer la surface à recevoir les divers revêtements et bouche-pores.

Un léger jet de sable à la surface des murs de contreventement en béton armé a fait apparaître un important bullage. Le béton semblait généralement de piètre qualité; il était mal consolidé et n'avait pas durci convenablement. Plusieurs barres d'armature étaient exposées à la surface des zones d'essai.

Le mauvais état du béton contribue à la vulnérabilité à la carbonatation. On a en effet découvert qu'un mauvais compactage et un durcissement inapproprié du béton donnait généralement un béton de mauvaise qualité et le prédisposait à la carbonatation³ (Currie, 1986).

Le bullage n'a pas été réparé avant l'application des revêtements et des bouche-pores, car l'enduit de réparation aurait rehaussé la performance des revêtements anti-carbonatation ou peut-être même provoqué une nouvelle alcalisation locale du béton (c.-à-d. une réduction de la profondeur de la carbonatation), mettant ainsi en péril l'intégrité de l'étude.

2.3.2 Conditions environnementales

Trois produits ont été appliqués sur les murs de contreventement le 11 décembre 1991 et le quatrième l'a été le lendemain. Le 11 décembre, la température de l'air était de 9 °C avec une humidité relative de 55 p. 100. La température de la surface du mur d'essai était uniforme, à 9 °C. Le 12 décembre, il faisait 6 °C et il pleuvait. La température à la surface du mur était de 6 °C. La pluie n'a pas nui à l'application parce que le mur est presque complètement à l'abri de la pluie et parce que le revêtement cimentaire appliqué ce jour-là doit de toute façon être appliqué sur une surface humide.

2.3.3 Application du produit

L'apprêt au siloxane et la couche de finition au méthacrylate ont été appliqués par le représentant du fournisseur. L'application s'est faite au rouleau à une consommation de 2,45 m²/L (100 pi²/gal. amér.) et a séché pendant environ une heure. La couche de finition a été appliquée au rouleau à une consommation de 4,91 m²/L (200 pi²/gal. amér.). Les consommations correspondaient aux indications des fabricants. La pénétration de l'apprêt a atteint une profondeur mesurée variant entre 1 et 5 mm.

Avant l'application de l'enduit cimentaire, la zone d'essai a été humidifiée avec de l'eau. Le revêtement a ensuite été appliqué au pinceau en deux couches. La première couche a séché pendant environ 45 minutes avant l'application de la seconde. Les mesures d'épaisseur ultérieures ont indiqué que le revêtement avait été appliqué sur une épaisseur moyenne de 0,85 mm. Or, le fabricant recommande une épaisseur de 1 mm. Toutefois, c'est le représentant du fournisseur qui s'était chargé de l'application.

Le revêtement acrylique à haut extrait sec a été appliqué en trois couches par le représentant du fournisseur. Deux couches de fond ont été appliquées au pinceau et au rouleau. La couche de finition a quant à elle été appliquée au rouleau et le bullage a été retouché au pinceau. Les mesures d'épaisseur prises par la suite ont indiqué une accumulation totale moyenne de 0,6 mm. Le fabricant, pour sa part, recommande une épaisseur de 0,4 mm obtenue en trois applications du revêtement anti-carbonatation.

Le revêtement époxyde pigmenté a été appliqué au rouleau en une couche par le représentant du fabricant. Le bullage et les défauts de surface généraux ont été corrigés au pinceau. L'époxyde a été appliqué à une consommation de 2,35 m²/L (96 pi²/gal. amér.). Le fabricant recommande pour sa part une consommation de 2,45 m²/L à 3,67 m²/L (entre 100 et 150 pi²/gal. amér.).

Le revêtement cimentaire a été le plus difficile à appliquer; il nécessitait le pinceau. Les trois autres produits ont été appliqués avec à peu près la même facilité, quoique l'époxyde ait été appliqué en une seule couche alors que l'acrylique a nécessité trois couches. On croit généralement que les revêtements anti-carbonatation doivent être appliqués en au moins deux couches d'une épaisseur de 200 µm afin d'assurer un revêtement uniforme dépourvu de piqûres⁴ (Davies, 1989).

Le documentation ne fait mention ni de la durée utile ni de la périodicité de l'entretien des produits à l'essai. Cet aspect sera donc examiné durant les 10 années d'étude proposées.

L'annexe C constitue une entente signée par les fournisseurs qui stipule que leurs produits seront appliqués selon leurs instructions et qu'ils acceptent les conditions de l'étude.

2.4 Premiers essais

Cinq carottes ont été prélevées de chacune des quatre zones d'essai un mois après l'application des revêtements. Les carottes ont été conservées sur le terrain dans de l'eau distillée, puis enveloppées dans du plastique de façon très étanche pour prévenir leur exposition au dioxyde de carbone présent dans l'air.

Les carottes ont été fendues longitudinalement et vaporisées avec une solution de phénolphthaléine à 1 % conformément à la norme ISO DOC N77E. La solution de phénolphthaléine tourne au rouge en présence d'un pH supérieur à 9 et demeure incolore lorsque le pH est inférieur à 9. C'est ainsi qu'on peut déterminer à quelle profondeur le béton est totalement carbonaté. Toutefois, une carbonatation partielle (le pH est encore supérieur à 9) ne peut être décelée par la phénolphthaléine. C'est pourquoi, pour les besoins de ce rapport, nous référerons toujours au béton totalement carbonaté lorsque nous parlerons de profondeur de la carbonatation.

L'épaisseur des revêtements et la profondeur de pénétration des bouche-pores a également été déterminée au moyen de ce carottage.

3. OBSERVATIONS

3.1 Aspect

Du point de vue esthétique, le revêtement cimentaire ressemble le plus au béton par sa couleur et sa texture. Les trois autres produits peuvent être colorés pour ressembler au béton, mais ont tendance à reluire. La couleur des produits utilisés dans le cadre de ces essais n'allait pas bien avec le bâtiment. Toutefois, les fournisseurs ont affirmé que les couleurs seraient mieux harmonisées dans le cas d'un gros ouvrage. La question esthétique ne devrait pas être un critère d'exclusion si l'un ou l'autre de ces revêtements s'avère efficace dans la prévention de la carbonatation.

3.2 Profondeurs de carbonatation

Les premières mesures de la profondeur de la carbonatation prises sur les carottes étaient élevées et uniformes (se référer au Tableau 1). La profondeur moyenne de la carbonatation de la face sud des murs de contreventement a été établie à 14,9 mm avec écart type de 1,8 mm. La profondeur moyenne de la carbonatation pour la face nord des murs est de 14,7 mm avec un écart type de 1,5 mm.

Comme on connaît la profondeur moyenne de la carbonatation (14,8 mm) et l'âge du bâtiment d'essai (17 ans en 1991), il est possible de prévoir la profondeur moyenne qu'atteindra la carbonatation du béton non traité au terme d'une période de 4 à 10 ans. Si l'on présume que la profondeur de la carbonatation varie directement selon la racine carrée de l'âge du béton, alors la carbonatation devrait atteindre une profondeur de 16,4 mm en 1995 et de 18,7 mm en 2001 (consulter l'annexe F).

Bien que ces variations de la profondeur de la carbonatation dans les zones non traitées soient légères et moins importantes que prévues, l'uniformité des mesures par rapport aux surfaces d'essai devrait permettre, dans le futur, de détecter les petites variations.

TABLEAU 1

PROFONDEUR DE LA CARBONATATION

Revêtement	Étiquette de la carotte	Profondeur de la carbonatation (mm)	
		Coté Sud	Coté Nord
A	A-1	15	12
	A-2	15	15
	A-3	15	14
	A-4	15	12
	A-5	15	16
B	B-1	15	15
	B-2	15	13
	B-3	17	15
	B-4	11	15
	B-5	15	15
C	C-1	14	18
	C-2	14	15
	C-3	12	16
	C-4	19	15
	C-5	16	15
D	D-1	13	13
	D-2	17	17
	D-3	16	15
	D-4	13	14
	D-5	15	14

4. CONCLUSIONS

4.1 Études supplémentaires suggérées

Comme les premières mesures de la profondeur de la carbonatation prises sur les quatre zones d'essai sont relativement uniformes, elles faciliteront l'évaluation de la performance relative des quatre revêtements anti-carbonatation.

Vu que la variation prévue de la profondeur de la carbonatation, fondée sur les mesures de profondeur, est moindre que ce qu'on avait d'abord estimé pour ce bâtiment, les intervalles entre les essais pourront être rallongés. Nous recommandons que l'examen visuel des zones d'essai se fasse après 1, 2, 4, 6 et 10 ans. On devra déterminer la présence de dommages sur les revêtements occasionnés par les rayons UV (farinage, décoloration) ou les intempéries et décider s'ils doivent être réparés ou refaits durant la période d'essai. La présence importante de bullage, non réparé avant l'application des revêtements, devrait causer certains dommages aux revêtements qui ne se seraient pas produits si le bullage avait été corrigé. Ces bulles d'air peuvent contenir de l'eau qui reste emprisonnée derrière les revêtements. Cette eau pourrait endommager les revêtements à force de geler et de fondre. Cela dit, comme les revêtements ont été appliqués sur des murs de contreventement qui s'avancent en saillie par rapport au mur avant, ils ne seront pas soumis à de l'air humide provenant de l'intérieur du bâtiment, ce qui aurait pu entraîner des dommages dus au gel et au dégel.

Il est inutile de mesurer la profondeur de la carbonatation à la même fréquence que les examens visuels en raison des limites de l'essai à la phénolphthaléine pour mesurer les variations légères de la profondeur de la carbonatation. C'est pourquoi on recommande de prendre les mesures après 4 et 10 ans. Ces mesures subséquentes incluront (comme l'indique le protocole) le prélèvement de cinq carottes dans chacune des zones d'essai et de trois carottes au-dessous des zones d'essai à titre de référence pour chacun des murs de contreventement.

14

Les carottes ne doivent pas être prélevées à moins de 250 mm les unes des autres, car le matériau qui a servi à réparer les orifices laissés par le carottage précédent pourrait provoquer une nouvelle alcalisation du béton (c.-à-d. réduire la profondeur de la carbonatation) juste à côté de la zone de carottage précédente.

5. RÉFÉRENCES

1. Aitken, C.T. et G.G. Litvan, **Laboratory Investigation of Concrete Sealers**, Conseil national de recherches du Canada, Rapport de l'IRC n° OR574, volumes I et II, janvier 1989.
2. Bickley, J.A., **Extent of Carbonation in Buildings in Toronto**, SCHL, 1990.
3. Currie, R.J., **Carbonation Depths in Structural Quality Concrete: An Assessment of Evidence from Investigations of Structures and from other sources**, Building Research Establishment Report, 1986.
4. Davies, H. et G.W. Rothwell, **The Effectiveness of Surface Coatings in Reducing Carbonation of Reinforced Concrete**, Building Research Establishment, document d'information 7/89, mai 1989.
5. Halsall, A.P. et J.P. Kosednar, **Carbonation of Concrete in Canadian Buildings**, SCHL, 1992.
6. Harwood, P.C., **Surface Coatings - Specification Criteria in Protection of Concrete**, dans «Protection of Concrete, Proceedings of the International Conference», University of Dundee, Écosse, 1990, p. 200 à 210.
7. Litvan, G.G. et A. Meyer, **Carbonation of Granulated Blast Furnace Slag Cement Concrete During Twenty Years of Field Exposure**, actes de la «Second International Conference On Fly Ash, Silica Fume, Slag, and Natural Pozzolans in Concrete», Madrid, 1986.
8. Roberts, M.H., **Carbonation of Concrete made with Dense Natural Aggregates**, document d'information 6/81 du BRE.
9. Slater, J.E., **Corrosion of Metals in Association with Concrete**, ASTM STP 818, 1983.
10. Swamy, R.N., **Surface Coatings to Preserve Concrete Durability in Protection of Concrete**, dans «Protection of Concrete, Proceedings of the International Conference», University of Dundee, Écosse, 1990. p. 149 à 165.
11. Weirig, H.J., **Long Time Studies on the Carbonation of Concrete Under Normal Outdoor Exposure**, RILEM Seminar on Durability, Hannover, 1984.

ANNEXE A

ANNEXE A**LA CARBONATATION DANS LES BÂTIMENTS CANADIENS****DOSSIER SCHL NUMÉRO 6711-5****PROTOCOLE D'ESSAI - ÉBAUCHE****1. Objectif**

Déterminer l'efficacité de divers revêtements appliqués sur le béton pour prévenir la carbonatation.

Cette étude vise essentiellement à mesurer les variations de la profondeur de la carbonatation dans un bâtiment où l'on aura appliqué divers types de revêtement. Le bâtiment d'essai est situé à Toronto et a déjà servi lors d'une autre étude de la SCHL sur la carbonatation intitulée «Extent of Carbonation in Buildings in Toronto».

La valeur des revêtements pour le climat canadien fera l'objet d'un contrôle visuel pour veiller à ce qu'ils adhèrent bien aux surfaces et n'entraînent pas de dommages au béton causés par le gel et le dégel.

Tous les aspects de cette étude sur les mesures anti-carbonatation seront supervisés par la firme Robert Halsall and Associates.

2. Portée des travaux

Le travail se limitera à l'application, en bandes, des divers revêtements à l'essai sur des éléments verticaux en béton coulé sur place du bâtiment et à déterminer la variation de profondeur de la carbonatation dans le temps. Le degré de carbonatation sera mesuré uniquement par la méthode d'essai à la phénolphthaléine.

3. Choix du bâtiment

Le bâtiment utilisé pour cette phase de l'étude de la SCHL sur la carbonatation sera choisi parmi ceux qui ont servi lors d'une étude antérieure. Il devra répondre aux critères suivants :

- .1 Plus de 50 p. 100 des carottes prélevées du bâtiment à l'occasion de l'étude précédente doivent présenter une profondeur de carbonatation supérieure à 10 millimètres.
- .2 La carbonatation des carottes prélevées dans les éléments verticaux et les balcons en béton coulé sur place doit être profonde.

A2

- (1) Bickley, J.A., **Extent of Carbonation in Buildings in Toronto**, Division de la recherche, secteur de la Recherche et de l'élaboration de propositions, Société canadienne d'hypothèques et de logement, 29 janvier 1990.
 - .3 Le pourcentage moyen des vides intersticiels perméables établi lors de l'étude antérieure de ce bâtiment doit excéder 13 p. 100.
 - .4 L'étude antérieure a établi le taux d'absorption moyenne de ce bâtiment à plus de 6 p. 100.
 - .5 La progression prévue de la pénétration de la carbonatation pour la période subséquente de cinq ans doit être supérieure à quatre millimètres.
4. Choix des zones d'application des revêtements

Le choix des zones d'application des revêtements sera fondé sur les critères suivants :

- .1 Les revêtements doivent être appliqués sur des murs de contreventement verticaux en béton coulé sur place sur toute la hauteur d'un étage.
- .2 La configuration du revêtement ne doit pas permettre au dioxyde de carbone de se déplacer latéralement à travers le béton jusqu'à l'endroit où des carottes seront prélevées. Ainsi, toute présence de carbonatation sera le fait de la migration du dioxyde de carbone à travers le revêtement, et non de l'arrière.

Ex. Pour les murs de contreventement qui s'avancent en saillie par rapport au bâtiment adjacent aux balcons, le revêtement doit couvrir l'extrémité exposée ainsi que les deux côtés du mur de contreventement jusqu'au joint formé par le mur de contreventement et la façade du bâtiment.
- .3 Les revêtements doivent être appliqués sur des zones de béton dont la surface externe n'a pas déjà été réparée ou endommagée. L'examen visuel devant déterminer l'absence de réparation et l'emploi d'une technique de sondage pour déceler le décollement suffisent pour répondre à ce critère.
- .4 Les revêtements doivent être appliqués sur des zones situées au second étage ou plus haut afin d'éviter les effets des éclaboussures de sel.
- .5 Aucun joint de construction ne doit traverser une zone d'essai de revêtement.

5. Sélection et application des produits

Les revêtements devant servir aux essais seront choisis par la firme chargée du projet conformément au protocole provisoire de sélection des revêtements anti-carbonatation (ci-joint). Les fabricants désirant offrir leur revêtement pour les essais devront fournir le revêtement et procéder à l'application sans qu'il en coûte quoi que ce soit à la firme responsable de l'étude. Le fournisseur mettra à la disposition de cette firme un technicien expérimenté dans l'application du revêtement. L'application dans le bâtiment d'essai sera réalisée selon les instructions du fournisseur et comprendra la préparation de la surface, l'application du revêtement et toute opération de nettoyage qui s'avérera nécessaire.

L'application du revêtement sera supervisée par un représentant de la firme chargée du projet.

6. Méthodes de carottage

Un échantillon de cinq carottes suffira du point de vue scientifique pour les premiers essais. Le carottage se fera comme suit :

- .1 Les carottes doivent mesurer 75 mm de diamètre sur une longueur nominale de 200 mm. Le sondage sera fait au moyen d'un foret au diamant refroidi par eau. Les zones de carottage devront être réparées à la satisfaction du propriétaire de l'immeuble.
- .2 Les carottes seront étiquetées puis immergées aussitôt dans de l'eau distillée pour être transportées au laboratoire.
- .3 Les renseignements suivants seront notés pour chaque échantillon :
 - a) la date
 - b) le lieu - adresse municipale
 - indicateur de zone d'essai
 - emplacement précis à l'intérieur de la zone d'essai
 - c) le type de revêtement
 - d) l'exposition aux intempéries
 - e) l'âge de la structure

Chaque extrémité d'une carotte prélevée à travers un mur de contreventement doit être identifiée en tant que spécimen distinct.

- .4 Cinq carottes seront prélevées dans chaque zone d'essai au cours du mois suivant l'application du revêtement. Ces échantillons devront être répartis également sur la surface de la zone d'essai.

A4

- .5 À l'occasion d'essais futurs, cinq carottes seront prélevées dans chaque zone d'essai. Trois carottes proviendront du mur de contreventement non revêtu, directement sous chaque zone d'essai. Ces échantillons serviront de référence pour chaque mur de contreventement.
- .6 La distance minimale séparant les carottes doit être de 250 mm. Cet espacement vaut pour les vingt carottes de la zone d'essai ainsi que pour les carottes de référence.

7. Méthodes de laboratoire

Toutes les carottes doivent être envoyées à M. D. Hooton, de l'université de Toronto, aux fins d'analyse.

- .1 L'épaisseur du revêtement ou la profondeur de pénétration du bouche-pores sera mesurée après l'application de la première série de carottes pour qu'elle soit conforme aux instructions du fabricant.
- .2 Les échantillons seront fendus dans l'axe longitudinal et immergés aussitôt dans de l'eau distillée afin de prévenir toute carbonatation supplémentaire.
- .3 Les demi-carottes provenant de chaque zone seront vaporisées avec une solution standard de phénolphtaléine indicatrice conformément à la méthode d'essai figurant dans la norme ISO DOC N77E, exception faite du nombre de mesures de profondeur exécutées sur chaque demi-cylindre qui sera de quatre.
- .4 Les mesures de la profondeur de la carbonatation seront enregistrées et on en fera la moyenne pour chaque revêtement ou zone de référence.
- .5 On tracera un graphique de la profondeur de la carbonatation par rapport au temps sur une période de cinq ans afin d'en contrôler le progrès tant pour les zones revêtues que pour les zones de référence.

ANNEXE B

PROTOCOL FOR THE SELECTION OF

ANTI-CARBONATION COATINGS

OBJECTIVE.

On behalf of CMHC and its agents, the Consultant is proposing to make field trials to determine the performance of coatings which reduce the rate of carbonation of concrete exposed to weather.

REQUIREMENTS.

Interested suppliers will be given access to a public residential building in Toronto. An approved applicator nominated by the supplier will apply the selected coating to approximately 10 sq. meters of vertical concrete surface. The method of surface preparation, the quality and properties of the prepared surface, the method and rate of application, the number of coats and the final minimum thickness, and the post-application curing shall all be done in accordance with the suppliers recommendations. These recommendations shall be submitted in writing to the consultant for review prior to the field trial.

The coating applied will reduce the rate of carbon dioxide penetration into the concrete and will have a long service life before recoating. The expected service life will be stated by the supplier as will requirements for subsequent recoating.

The coating shall resist penetration by water and carbon dioxide but will have adequate water vapour transmission properties.

There are no national standards for such coatings, but the following criteria, or their equivalent, are to be met by the proposed coating.

Resistance to Carbon Dioxide Transfer

Equivalent air layer	>	50m
or		
Resistance	≥	190 MNsg ⁻¹
or		
Flux	<	5g/m ² /day
or		

BRE test after aging - very good carbonation resistance.

Water Vapour Transmission

Equivalent air layer	<	2m
or		
Resistance	<	11 MNsg ¹
or		
Flux	>	20 ³ /m ² /day

Water Penetration

Lower than the water vapour transmission rate
and
having an ISAT value < 35 g/m²/ hr

Suppliers may provide test data to other test procedures and criteria but full details of the test procedure must be given together with adequate references to enable the Consultant to evaluate the alternative procedures.

REFERENCES:

The following references are recommended as background to these requirements:

- British Board of Agreement, "Method of Assessment and Testing, MOAT No. 33: 1986, The Assessment of Masonry Coatings", P.O. Box 195, Bucknalls Lane, Garston, Watford, Herts, WD2 7NG.

- Construction Industry Research and Information Association, "Technical Note 130 - Protection of Reinforced Concrete by Surface Treatments", 6 Storey's Gate, Westminster, London, England, SWIP 3AU.

- Protection of Concrete, Proceedings of the International Conference held at the University of Dundee, Scotland, UK on 11th - 13th of September 1990, Chapman and Hall, 2-6 Boundary Road, London, England, SE1 8HN, Van Nostrand Reinhold, 115 5th Avenue, New York, NY 10003.

- BRE Information Paper IP 7/89, Dated May 1989, "The Effectiveness of Surface Coatings In Reducing Carbonation of Reinforced Concrete" Building Research Establishment, Garston, Watford, WD2 7JR.

- "Investigation of the Gas and Vapour Resistance of Surface Coatings on Concrete and Effects of Weathering on Their Carbonation Protective Performance", Third International Symposium on Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction, sponsored by the Society of Chemical Industry, 14/15 Belgrave Square, London, England SW1X 8PS.

ANNEXE C



Metropolitan
Toronto
Housing
Authority

Commission
de logement de la
communauté urbaine
de Toronto

365 Bloor St. E
Suite 7000
Toronto, Ontario
M4W 3L4

365. rue Bloor est
Bureau 7000
Toronto (Ontario)
M4W 3L4

March 17, 1992

Robert Halsall and Associates Limited
188 Eglinton Avenue, 6th Floor
Toronto, Ontario
M4P 2X7

Attention: John Kosednar, P. Eng.
Project Engineer

Dear Sir:

Re: Anti-Carbonation Coatings

This is to confirm that Metropolitan Toronto Housing Authority (MTHA) has provided access for Robert Halsall and Associates Limited to 2063/2067 Islington Avenue (OH-144 Islington/St. Andrews) for the purpose of conducting required testing for Anti-Carbonation Coatings. The study was initiated by Ontario Ministry of Housing.

Yours truly,

D. Petrovic, P. Eng.
Senior Structural Engineer
Design Services

DP:cds

RECEIVED

MAR 18 1992

**ROBERT HALSALL & ASSOC. LTD.
CONSULTING ENGINEERS**

ANNEXE D

AGREEMENT FOR SPECIAL SERVICES

This memorandum sets forth an understanding between Robert Halsall and Associates Limited, and the supplier of products to be used for testing.

The supplier agrees to provide services and materials according to the terms and conditions set forth in the attached letter dated November 12, 1991 and the test protocol dated August 1991.

Robert Halsall and Associates Limited is under no obligation to provide test results to the supplier. The results will be published for the Canada Mortgage and Housing Corporation. The participation of each of the suppliers will be acknowledged in this report.

MASTER ENGINEER
Supplier

[Signature]
Supplier's Representative

Nov 2/91
Date

Robert Halsall and Associates

[Signature]
Project Supervisor

Nov 20/91
Date

AGREEMENT FOR SPECIAL SERVICES

This memorandum sets forth an understanding between Robert Halsall and Associates Limited, and the supplier of products to be used for testing.

The supplier agrees to provide services and materials according to the terms and conditions set forth in the attached letter dated November 12, 1991 and the test protocol dated August 1991.

Robert Halsall and Associates Limited is under no obligation to provide test results to the supplier. The results will be published for the Canada Mortgage and Housing Corporation. The participation of each of the suppliers will be acknowledged in this report.

DRE Industries Inc

Supplier

Bill DeWani

Supplier's Representative

Nov 26 91

Date

Robert Halsall and Associates

[Signature]

Project Supervisor

Dec 6 91

Date

AGREEMENT FOR SPECIAL SERVICES

This memorandum sets forth an understanding between Robert Halsall and Associates Limited, and the supplier of products to be used for testing.

The supplier agrees to provide services and materials according to the terms and conditions set forth in the attached letter dated November 12, 1991 and the test protocol dated August 1991.

Robert Halsall and Associates Limited is under no obligation to provide test results to the supplier. The results will be published for the Canada Mortgage and Housing Corporation. The participation of each of the suppliers will be acknowledged in this report.

Sika Canada Inc.
Supplier

Andrew Mitchell *AM*
Supplier's Representative

11/18/91
Date

Robert Halsall and Associates

[Signature]
Project Supervisor

Dec 6 91
Date

90x799B/a

AGREEMENT FOR SPECIAL SERVICES

This memorandum sets forth an understanding between Robert Halsall and Associates Limited, and the supplier of products to be used for testing.

The supplier agrees to provide services and materials according to the terms and conditions set forth in the attached letter dated November 12, 1991 and the test protocol dated August 1991.

Robert Halsall and Associates Limited is under no obligation to provide test results to the supplier. The results will be published for the Canada Mortgage and Housing Corporation. The participation of each of the suppliers will be acknowledged in this report.

FOSROC

Supplier

[Signature]
Supplier's Representative

11/11/91
Date

Robert Halsall and Associates

[Signature]
Project Supervisor

Dec 6 91
Date

ANNEXE E

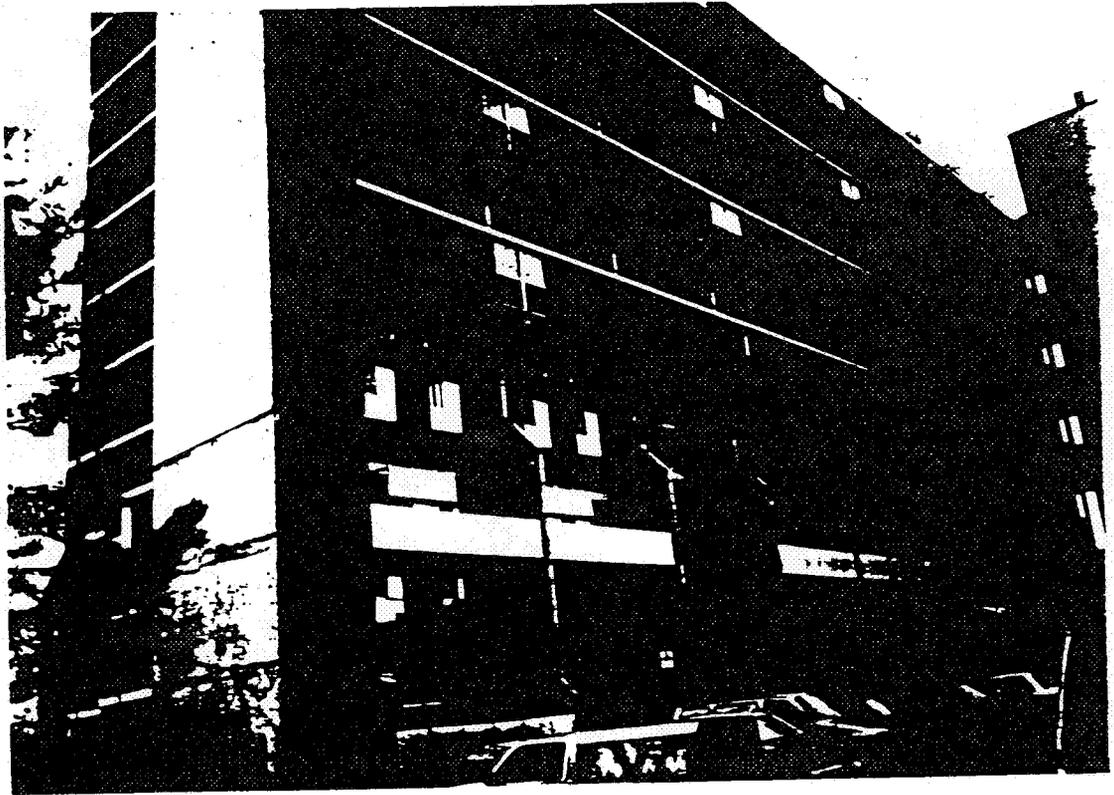
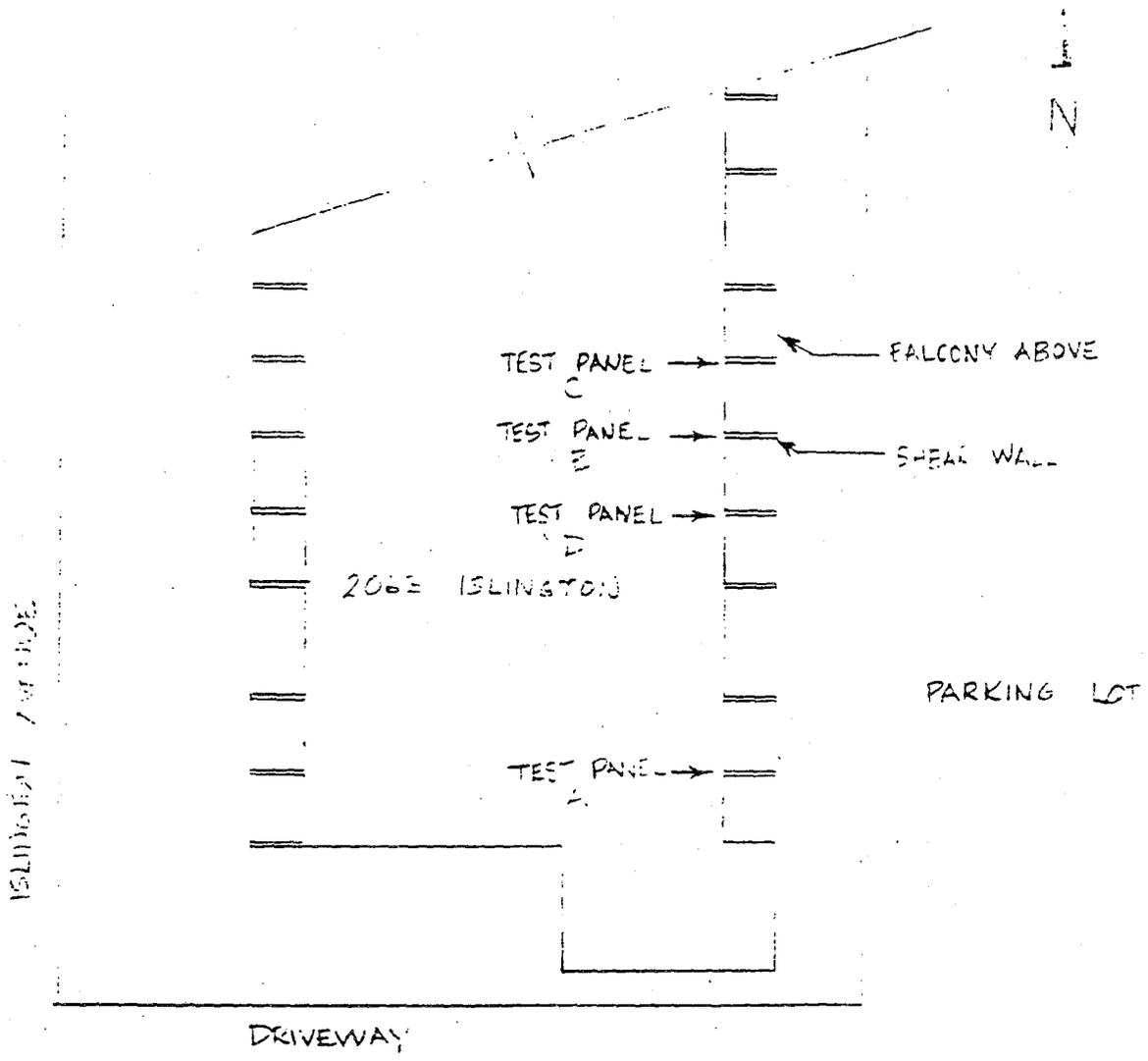


Photo 1
Location of test panels

PANEL	SCALE
1	1:100
2	1:100
3	1:100
4	1:100



M	ANTI-CARBONATION COATINGS	Date: N/AE 02	Scale: NTS
	2063 ISLINGTON AVE.	Drawn by: SV	Checked by:
	PLAN SHOWING LOCATION OF TEST PANELS	Project No. 90x70	
	ROBERT HALSALL & ASSOCIATES LTD.	Drawing No. SK-1	

188 EGLINTON AVE. E., TORONTO, CANADA M4P 2X7 416-487-5256

ANNEXE F

ANNEXE F

CALCUL DES PROFONDEURS PRÉVUES DE LA CARBONATATION

À partir de l'équation :

$$C_d = K\sqrt{A}$$

Où : C_d = profondeur de la carbonatation
 K = constante
 A = âge du bâtiment

Soient : $A = 17$ ans et
la profondeur moyenne de la carbonatation = 14,8 mm,

déterminer K pour les murs de contreventement du bâtiment d'essai :

$$K = \frac{C_d}{\sqrt{A}} = \frac{14,8}{\sqrt{17}} = 3,59$$

Projeter les profondeurs de carbonatation pour :

$A = 21$ ans et
 $A = 27$ ans

$A = 21$ (1995)

$$C_d = K\sqrt{A} = 3,59\sqrt{21} = 16,4 \text{ mm}$$

$A = 27$ (2001)

$$C_d = 3,59\sqrt{27} = 18,7 \text{ mm}$$

Par conséquent, la profondeur prévue de la carbonatation atteindrait 16,4 mm en 1995 et 18,7 mm en 2001.