

Six règles pour construire des ouvrages en béton durables

par Noel P. Mailvaganam et G.G. Litvan

Pour disposer d'ouvrages en béton qui soient durables, il faut apporter une grande attention à de nombreux détails. Cet article porte sur les principales conditions à remplir pour assurer la durabilité des ouvrages à construire et des réparations effectuées.

La durabilité des ouvrages en béton peut être définie comme leur capacité d'assurer la tenue en service prévue. À la base du concept de durabilité se trouve la détermination à veiller à la qualité et à son assurance. Dans le cas du béton, l'assurance de la qualité consiste à effectuer des tests et des inspections pour faire en sorte que les matériaux soient bien choisis, dosés, malaxés, manipulés et mis en oeuvre, que la cure soit faite de manière appropriée, et que l'ouvrage lui-même soit bien conçu.

Il faudrait observer les règles suivantes lorsqu'on envisage de construire un ouvrage en béton ou de réparer une structure endommagée.

1. Choisir les matériaux en fonction de l'environnement

La durabilité pose un problème lorsque la résistance d'un matériau à la dégradation est moins grande que celle qui est nécessaire pour s'opposer à l'agressivité du milieu dans lequel il doit fonctionner. Par exemple, l'acier ne sera pas affecté par la corrosion dans un environnement sec et sans sel, mais il le sera en présence d'humidité et d'ions chlorures. De même, le béton fait de ciment de type 10 ne résistera pas à l'attaque des sulfates et sera donc impropre à l'usage dans des sols riches en sulfates.

Le concepteur doit connaître les conditions environnementales, en particulier :

- les températures minimum et maximum
- les cycles de température
- l'exposition au rayonnement ultraviolet
- la quantité d'humidité
- les cycles de mouillage-séchage
- la présence de produits chimiques agressifs

Pour choisir le matériau qui convient, il faut connaître les conditions environnementales auxquelles il sera exposé de manière à pouvoir prévoir son comportement et à en tenir compte au stade de la conception. Lorsqu'un concepteur envisage d'utiliser un nouveau matériau, il s'expose à des problèmes s'il n'existe pas d'expérience suffisante lui permettant de bien comprendre son comportement ou s'il n'y a pas encore de normes à ce sujet.

En l'absence de normes, il importe d'évaluer sérieusement plusieurs facteurs, en particulier la pertinence des données d'essais fournies dans la documentation technique, ainsi que les limites d'emploi et les exigences liées aux conditions environnementales du projet.

2. N'associer que des matériaux ayant des caractéristiques semblables

Le béton est un mélange solidifié composé de différentes substances. Lorsque celles-ci sont incompatibles, il se fissure et éclate, ce qui dépare les surfaces et nécessite de coûteux travaux de réhabilitation. Des matériaux sont considérés comme incompatibles quand la différence de propriétés physiques ou chimiques crée un état d'instabilité.

Ainsi, l'association de deux métaux ayant des propriétés électrochimiques différentes dans un composant du bâtiment favorise la corrosion galvanique. La présence d'humidité provoque la formation d'une pile galvanique, ce qui entraîne la corrosion du métal moins noble (voir la série galvanique des métaux, au tableau 1).

Tableau 1. Série galvanique des métaux

Métaux cathodiques ou plus nobles (les moins actifs du point de vue électrique)	
Métal	Noblesse relative
Or	1
Mercure	2
Argent	3
Cuivre	4
Plomb	5
Nickel	6
Cobalt	7
Fer	8
Étain	9
Zinc	10
Chrome	11
Aluminium	12
Métaux anodiques ou moins nobles (les plus actifs du point de vue électrique)	
Les métaux sont classés ici en ordre décroissant d'activité électrique. Les moins actifs (plus nobles) sont protégés par les plus actifs (moins nobles). Le matériau anodique (moins noble) se corrodera, mais non le matériau cathodique (plus noble).	

Ce phénomène de corrosion galvanique est courant dans les couvertures en cuivre-aluminium; il est lié à la position relative de ces deux matériaux dans la série électrochimique. Dans ce type de couverture, le solin de cuivre (métal plus noble que l'aluminium) détruit littéralement les gouttières et les tuyaux de descente pluviale.

Il est donc prudent de n'enrober de béton que des métaux se ressemblant au point de vue électrochimique, ou d'interposer une sorte de barrière — par exemple une cathode avec revêtement — pour empêcher la formation d'une pile galvanique.

Il faudrait aussi éviter

d'utiliser des matériaux ayant des coefficients thermiques ou des modules d'élasticité différents (voir figure 1), car leur vitesse de dilatation et de contraction n'est pas la même et leurs caractéristiques de déforma-

tion diffèrent largement. Dans les deux cas, l'incompatibilité des matériaux en question provoquera la détérioration du béton.

Lorsque la charge est perpendiculaire à la ligne d'adhérence, la différence de module ne pose pas de problème; par contre, lorsqu'elle est parallèle à cette ligne, la déformation du matériau ayant un faible module a pour effet de reporter la charge sur celui qui a un module élevé, ce qui peut causer sa rupture.

3. Évaluer les limites d'emploi d'un matériau donné dans son contexte fonctionnel

Comme il existe des conditions uniques et des exigences particulières pour chaque ouvrage, le choix des matériaux, notamment ceux qui sont destinés à des réparations, doit être basé sur la connaissance de leur fonction et du milieu dans lequel ils devront fonctionner. Il faut aussi tenir compte de leurs propriétés physiques ou chimiques et des restrictions aux plans de l'installation et de la performance. Le concepteur doit en particulier prévoir le degré d'abrasion ou d'usure auquel la surface sera soumise. Par exemple, les rampes des garages de stationnement doivent être construites en béton moulé spécial possédant un revêtement polymérique imprégné d'une substance comme le corindon de façon à résister à l'abrasion causée par les roues qui tournent.

Pour être en mesure de choisir le matériau approprié, le concepteur doit connaître non seulement les caractéristiques qui semblent le mieux correspondre à la fonction et à la situation physique de l'ouvrage, mais aussi les caractéristiques auxiliaires qui n'ont pas présidé au choix du matériau en question. En fait, ces caractéristiques ont souvent une grande influence sur la longévité. Ainsi, l'entraînement d'air sert surtout à assurer la résistance au gel mais il améliore aussi l'ouvrabilité.

4. Prévenir la détérioration générale des matériaux

La plupart des dommages causés au béton sont attribuables à la pénétration de l'eau. Comme le béton absorbe l'humidité jusqu'à saturation, il est capital d'empêcher l'eau de s'accumuler sur les surfaces. L'humidité favorise la dégradation non seulement parce qu'elle provoque des réactions chimiques mais aussi parce qu'elle transporte des produits chimiques dissous qui peuvent

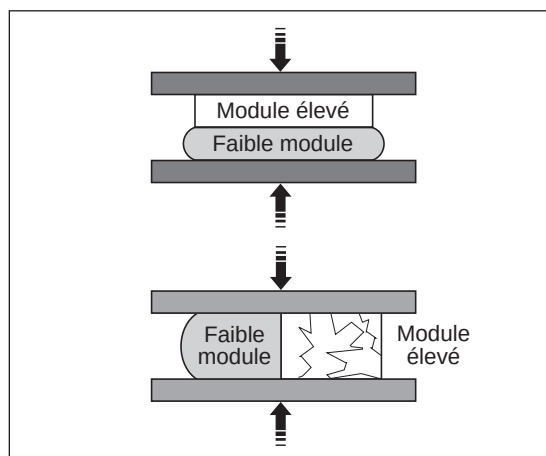


Figure 1. Matériaux ayant des modules d'élasticité différents

Lorsque des matériaux dont le module d'élasticité (qui mesure la rigidité) est très différent sont en contact, la différence importante au niveau des caractéristiques de déformation peut être source de problèmes.



Figure 2. Exemple de dommages causés par le gel-dégel

Un exemple de changement d'utilisation qui aurait un impact sur un ouvrage serait l'ajout ultérieur d'une terrasse-jardin à un garage de stationnement. Dans ce cas, la dalle de support en béton devrait être protégée contre l'accumulation d'eau et la saturation du sol; il faudrait donc assurer l'égouttement du sol et doter la dalle de béton d'un revêtement approprié.

réagir avec l'acier, la chaux ou d'autres constituants du béton. Elle contribue aussi grandement à la détérioration du béton lors des cycles de gel-dégel (voir figure 2). En prévoyant des pentes suffisantes et des dispositifs d'évacuation efficaces, on peut empêcher l'eau de s'accumuler et, ainsi, d'être absorbée. Au moment de la conception des ouvrages

en béton, il faudrait accorder une attention particulière aux caractéristiques des éléments verticaux ayant trait à l'évacuation de l'eau — par exemple, une conception appropriée des rebords de fenêtre peut empêcher le mur de se mouiller — et prévoir des pentes et des orifices d'évacuation pour les éléments horizontaux comme les platelages.

Les armatures d'acier du béton sont sujettes aux attaques chimiques dans certains milieux corrosifs. Mais sans eau, il ne peut y avoir d'électrolyte (élément essentiel à la formation d'une pile de corrosion) ni de cycles de gel-dégel.

L'étanchéisation de la surface à l'aide d'un enduit protecteur pénétrant pour béton ou d'un complexe d'imperméabilisation de platelage aide à empêcher la pénétration de l'eau et des sels qu'elle contient. Cependant, un des moyens les plus efficaces de protéger l'armature d'acier contre la corrosion consiste à revêtir la surface d'une chape de béton haute qualité de 50 mm d'épaisseur. Ce béton à faible rapport eau-ciment ($<0,5$) et à air entraîné se caractérise par :

- sa faible perméabilité à l'humidité, au dioxyde de carbone, aux chlorures et aux autres gaz sulfureux contenus dans l'atmosphère;
- la présence d'un système de vides d'air qui permet au béton de résister aux dommages causés par le gel-dégel.

De minuscules bulles d'air introduites intentionnellement dans le béton servent de vases de décompression pour l'eau contenue dans un milieu affecté par le gel. La présence d'air dans le béton durci est un facteur déterminant pour sa résistance à long terme au gel-dégel.

5. Prévoir, au moment de la conception, la possibilité d'un changement d'utilisation

L'environnement et l'usage d'un ouvrage peuvent changer au cours de sa période de service (voir l'exemple donné dans l'encadré). Celui-ci devra donc résister à des contraintes différentes de celles qui étaient prévues à l'origine. C'est pourquoi il importe de tenir compte du changement d'utilisation en prenant des mesures de protection et de renforcement, assurant ainsi une marge de sécurité quant à la résistance propre des matériaux choisis.

6. Assurer un entretien régulier grâce à des réparations faites au fur et à mesure

Dans le design de bâtiments, les concepteurs prévoient une grande marge de sécurité (c'est-à-dire qu'ils construisent en surabondance), mais une fois que la dégradation atteint une certaine limite critique, il faut procéder immédiatement à des travaux de réparation ou de réhabilitation pour rétablir le niveau de service prévu au départ (voir figure 3).

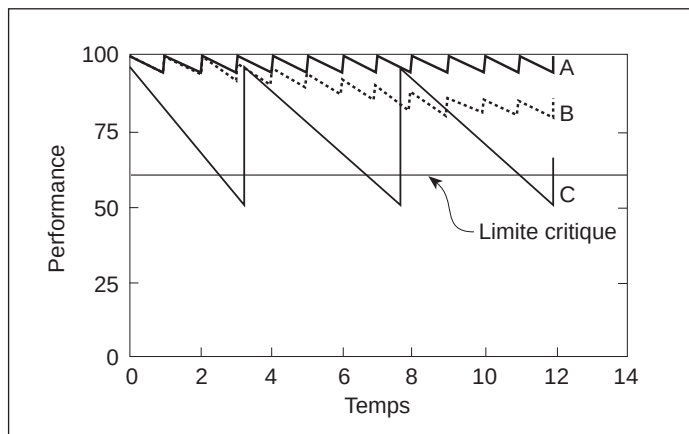


Figure 3. Effets de différents types de réparation sur un garage de stationnement

La courbe A indique la performance dans le temps dans le cas d'une restauration complète par réparations fréquentes.

La courbe B représente aussi des réparations fréquentes mais sans restauration complète.

La courbe C représente des réparations majeures peu fréquentes.

Le choix du moment approprié pour réhabiliter un ouvrage, qui doit être basé sur la vitesse de détérioration de celui-ci, revêt une importance capitale. En pratique, un ouvrage a besoin d'être réparé lorsque sa performance n'est plus acceptable aux yeux des utilisateurs. Bien des propriétaires croient à tort qu'une réhabilitation majeure permet de corriger les désordres et que l'ouvrage rénové offrira une très bonne performance pendant longtemps. En fait, si les travaux de réhabilitation ne sont pas effectués à temps, il se peut que l'ouvrage ne puisse plus assurer le niveau de service exigé.

Même si la restauration complète devient à terme difficile ou peu pratique (courbe B), la réhabilitation continue peut assurer une haute performance pour une fraction du coût de rénovations majeures occasionnelles (courbe C).

Résumé

Des progrès importants sont réalisés de nos jours grâce à l'association correcte de matériaux nouveaux avec des matériaux traditionnels dans les ouvrages en béton, la combinaison retenue permettant à ceux-ci d'assurer à long terme un service acceptable.

Pour faire en sorte que les ouvrages en question offrent la performance souhaitée, les concepteurs doivent bien connaître :

- les propriétés des matériaux qu'ils se proposent d'utiliser;
- l'interaction de ces matériaux et de l'environnement;
- l'interaction des constituants des matériaux composites;
- la fréquence et le type d'entretien exigés par un ouvrage donné.

Références bibliographiques

1. « Concrete Manual: A Water Resources Technical Publication », 8^e édition, U.S. Department of Interior, Washington (DC), p. 211-214, 1979.
2. Fulton, F.S. *Concrete Technology*, Portland Cement Institute, Johannesburg, Afrique du Sud, p. 307-310, 1977.
3. Mailvaganam, N.P. « Repair and Protection of Concrete Structures », CRC Press, Boca Raton (FL), 1992.
4. Feld, J. « Lessons From Failures of Concrete Structures », American Concrete Institute, monographie n° 1 de l'ACI, p. 23-39, 1967.
5. Emmons, P.H., et A.M. Vaysburd. « Performance Criteria for Concrete Repair Materials, Phase 1 », Technical Report REMR-CS-47, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg (MS), 1995.

Noel P. Mailvaganam est chef d'Évaluation et réparation au sein du programme Enveloppe et structure du bâtiment de l'Institut de recherche en construction, au Conseil national de recherches.

Gerard G. Litvan est consultant en matériaux.

© 1997
Conseil national de recherches du Canada
Septembre 1997
ISSN 1206-1239



Canada

« Solutions constructives » est une collection d'articles techniques renfermant de l'information pratique issue de récents travaux de recherche en construction.

Pour obtenir de plus amples renseignements, communiquer avec l'Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa K1A 0R6
Téléphone : (613) 993-2607; télécopieur : (613) 952-7673; Internet : <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca>