

Réparations pour la remise en service des ouvrages en béton

par *Noel P. Mailvaganam et Lyndon Mitchell*

Pour obtenir une réparation durable des ouvrages en béton, il faut avant tout faire un choix judicieux des matériaux et des techniques de réparation en fonction des conditions de service et d'application. Ce numéro décrit les facteurs que les gestionnaires et les concepteurs d'installations doivent prendre en compte afin d'effectuer des réparations durables. Les facteurs discutés ici concernent la remise en service et l'aspect esthétique. Ils ne s'appliquent pas aux dommages structuraux causés par d'éventuelles surcharges.

Beaucoup d'ouvrages en béton se détériorent prématurément et nécessitent des réparations. Or ces réparations, lorsqu'elles ne sont pas correctement planifiées et exécutées, peuvent subir le même sort et même devenir préjudiciables au béton sain adjacent.

Les causes de la détérioration du béton sont nombreuses, tout comme les techniques de réparation. Pour être efficace, la réparation d'un ouvrage en béton doit s'appuyer sur une méthode rationnelle et analytique dont la première étape consiste à déterminer la cause de la détérioration et de choisir en conséquence les matériaux et les techniques les plus adaptés.

Diagnostic de la détérioration du béton

La première étape consiste donc à trouver la cause du problème. Si la zone réparée ne résiste pas à la cause initiale du problème, la réparation ne durera pas et les parties saines voisines de l'ouvrage risqueront même d'être endommagées à leur tour. Généralement, le béton se

détériorer pour une ou plusieurs des raisons suivantes¹ :

- *Dosage, mise en place ou mûrissement du béton inadéquat* : Un béton pauvre sera disposé à se détériorer plus rapidement sous l'effet des causes énumérées ci-dessous. Dans le cas d'ouvrages contenant de grandes quantités de béton de mauvaise qualité, la reconstruction pure et simple n'est pas à écarter comme solution au problème.
- *Agression chimique* : l'huile, les produits chimiques et surtout les sels de déglacage peuvent gravement endommager le béton (figure 1) ou l'acier d'armature, et éventuellement causer des dommages structuraux. La réparation devrait combiner béton (ou mortier), membranes, scellants et améliorations de drainage afin d'éliminer ou de réduire le temps de contact entre les agents chimiques et le béton.
- *Mouvement* : les dommages causés par le retrait, le fluage, le tassement et la dilatation thermique peuvent être contenus par des réparations mineures, mais si le mouvement continue de progresser, les réparations ne tiendront pas longtemps.
- *Gel/dégel* : le gel et le dégel endommagent un béton qui n'est pas conçu pour supporter leurs contraintes. Lorsque les dommages sont localisés, une réparation traditionnelle capable de résister à ces



Figure 1. *Détérioration d'un pilier de pont causée par des sels de déglacage projetés par la circulation*



Figure 2. Détérioration d'un tablier de béton

contraintes peut régler le problème, mais lorsque les dommages sont étendus, une réhabilitation majeure de l'ouvrage avec un revêtement de béton doit être considérée.

- **Actions mécaniques** : l'abrasion (causée par la circulation ou l'équipement) et l'érosion demandent des réparations capables de résister davantage aux effets mécaniques que le béton d'origine. Dans le cas de tels dommages, il serait judicieux d'étendre les réparations aux zones voisines qui sont moins endommagées, mais soumises à la même circulation (figure 2).
- **Détérioration des matériaux auxiliaires** : la détérioration des scellants et des membranes peut exposer le béton à l'eau et aux agressions chimiques. Il convient par conséquent de réparer à la fois le béton et les matériaux d'étanchéité^{2,3}. De même, il faudra déterminer la raison de la détérioration de ces matériaux auxiliaires pour éviter qu'elle ne se répète.

Dans tous les cas, la sélection de la technique de réparation ne peut se faire qu'après avoir déterminé les causes exactes de la détérioration.

Techniques de réparation

Les surfaces en béton, qui sont soumises à des environnements agressifs (cycles de gel/dégel, déversements chimiques, abrasion,

variations quotidiennes de température, etc.), deviennent parfois inutilisables. Une réparation efficace doit pouvoir résister aux contraintes ou aux agents qui ont causé la détérioration du béton d'origine. Les techniques de réparation que nous traitons ici concernent la remise en service et l'aspect esthétique. La remise en service est la remise en état des surfaces aux normes de service, tandis que les réparations esthétiques visent à améliorer l'apparence de l'ouvrage.

Une fois la principale cause de détérioration déterminée et le béton détérioré enlevé, la sélection des matériaux et des techniques de réparation devrait se fonder sur (a) les propriétés des matériaux de réparation (b), la compatibilité de ces matériaux avec le béton en place et (c) la stabilité en service. Examinons plus en détail ces points.

Propriétés des matériaux de réparation

Il existe trois principales catégories de matériaux de réparation pour surfaces en béton : le mortier à base de polymères, le mortier cimentaire modifié par des polymères et le mortier cimentaire simple. Chaque catégorie a des propriétés physiques spécifiques, comme le montre le tableau 1. Il est important de comprendre ces propriétés, car elles conditionnent le choix de matériaux de réparation qui soient compatibles, autant que se peut, avec les propriétés du béton à réparer. Pour cela, il faut examiner les registres de la composition du béton d'origine (lorsqu'ils existent) et prélever des carottes pour déterminer la résistance à la compression, la porosité et la teneur en chlorures, afin d'évaluer la compatibilité électrochimique du béton en place avec les matériaux de réparation envisagés³.

Les mortiers à base de résines de polymères peuvent être composés d'époxy, de polyester, d'acrylique ou de polyuréthane. Les mortiers cimentaires modifiés par des polymères sont composés de polymères hydrosolubles. Bien que ces produits de réparation à base de polymères soient d'usages multiples et de plus en plus utilisés, ils peuvent cependant se détériorer prématurément s'ils sont mal utilisés. De plus, les propriétés de ces produits à base de polymères peuvent grandement différer de celles du béton à réparer, notamment en ce qui concerne la perméabilité, la résistance, le coefficient de dilatation thermique, la porosité ou les propriétés électrochimiques, et lorsque c'est le cas, leur utilisation est en violation avec les principes élémentaires d'une bonne réparation. Enfin, les matériaux à base de polymères dépendent étroitement de la qualité de leur application. Il faut donc faire attention au moindre détail lorsque l'on choisit ce type de matériaux.

Tableau 1. Propriétés des matériaux de réparation de béton typiques⁴

Type de matériau de réparation	Mortier à base de polymères	Mortier cimentaire modifié par des polymères	Mortier cimentaire simple
Propriété			
Résistance à la compression (MPa)	50-100	30-60	20-50
Résistance à la traction (MPa)	10-15	5-10	2-5
Module d'élasticité (GPa)	10-20	15-25	20-30
Coefficient de dilatation thermique (déformation par °C)	$25-30 \times 10^{-6}$	$10-20 \times 10^{-6}$	10×10^{-6}
Température maximale de service (°C)	40-80	100-300	> 300

Les principaux facteurs à considérer dans le choix de la meilleure technique de réparation sont au nombre de deux : la compatibilité du matériau de réparation avec le béton en place et les conditions de service et de réparation.

Compatibilité avec le béton en place

Il est primordial que le matériau de réparation choisi soit compatible avec le béton sain avoisinant. De grandes différences de propriétés (par exemple, dans la rigidité ou dans le coefficient de dilatation thermique) peuvent se traduire par une réparation de courte durée ou endommager le béton sain avoisinant. Pour choisir la meilleure technique de réparation, on pourra recourir aux lignes directrices suivantes⁵ :

Fiche de performance. Il est essentiel de s'assurer que la technique de réparation envisagée dispose d'une fiche de performance qui atteste de son efficacité pour des modes de rupture et des conditions de service similaires à ceux envisagés pour l'ouvrage à réparer.

Adhérence. Une bonne adhérence entre le matériau de réparation et le béton en place est essentielle. Le matériau de réparation ne doit donc pas se rétracter pendant son mûrissement ou, s'il se rétracte, il ne doit pas causer la perte d'adhérence avec le béton sain en place. La perte d'adhérence se traduira inévitablement par l'échec de la réparation et des dommages possibles aux zones qui étaient saines avant la réparation. L'intégrité de l'adhérence dépend de quatre conditions clés¹ :

1. Une bonne préparation de la surface du béton en place – y compris l'application d'un agent de liaisonnement^{6,7}.
2. L'utilisation d'un béton ou d'un mortier de réparation qui nécessite très peu d'eau pendant sa mise en place.
3. L'utilisation de techniques de construction qui minimisent le potentiel de retrait (béton sec compacté, béton projeté à mélange sec, béton à granulats pré-placés, etc.).
4. L'utilisation de matériaux de réparation qui compensent le retrait une fois qu'ils ont été mélangés et mis en place.

Pour garantir une bonne adhérence, il faut s'assurer que le coefficient de dilatation thermique (changement des dimensions causé par le changement de température) du matériau de réparation est identique à celui du béton en place, notamment dans le cas de structures exposées à de grandes variations de température en service et pour de grandes réparations (en longueur ou en épaisseur). Une bonne préparation de surface donne une surface sèche, plane et libre de saleté, de poussière, d'huile et de graisse. L'enlèvement des contaminants de surface

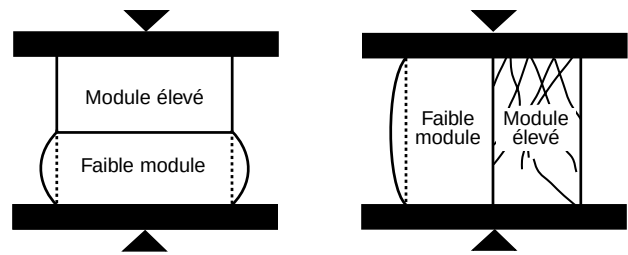


Figure 3. Effets de modules d'élasticité différents

permet aux apprêts, aux agents de liaisonnement et aux matériaux de réparation d'avoir un contact direct avec une surface de béton existant plus grande et plus rugueuse. Les agents de liaisonnement (naturels ou synthétiques) augmentent la résistance et l'intégrité sur la surface du béton en place, ce qui en retour améliore son adhérence avec le matériau de réparation.

Module d'élasticité. Le module d'élasticité d'un matériau mesure sa rigidité. Il est important que le matériau de réparation et le béton à réparer aient la même rigidité. Car lorsque deux matériaux de modules d'élasticité différents sont en contact, leur différence en déformabilité crée des problèmes sous certaines conditions de charge (figure 3).

Perméabilité. La perméabilité est la capacité d'un matériau à laisser passer des liquides ou des substances gazeuses. Les matériaux de réparation de surface devraient avoir une perméabilité à la vapeur d'eau similaire à celle du béton en place. De larges réparations, couches ou revêtements imperméables peuvent entraver l'évacuation de l'humidité du béton en place et créer des boursouffures au niveau de la ligne d'adhérence ou dans le matériau le moins résistant.

Compatibilité chimique. Le matériau de réparation doit être chimiquement compatible avec l'armature d'acier, autres pièces métalliques enfouies, le béton en place ainsi qu'avec les revêtements protecteurs ou les scellants². Lorsque la différence en perméabilité ou en chlorures entre la surface réparée et le béton avoisinant est trop importante, cela crée des régions anodiques de chaque côté de la surface réparée, ce qui accélère la vitesse de corrosion et cause la défaillance prématurée de la surface réparée ou du béton avoisinant.

Conditions de service et d'application

Le choix du bon matériau de réparation dépend également des conditions de service (par exemple circulation dense ou charges dynamiques, température, etc.) et des conditions de travail au moment des réparations. Les facteurs à prendre en compte sont entre autres :

- Les propriétés des matériaux. Les propriétés des matériaux conditionnent la durée des réparations avant la reprise du chargement, la durée d'emploi des matériaux de réparation, la superficie couverte, les techniques d'application et le budget. Il faudra par exemple utiliser un matériau de réparation à séchage rapide si le temps d'arrêt de la circulation doit être le plus court possible.
- L'humidité. Une humidité élevée dans le béton en place réduit les options de réparation. En effet, l'humidité peut entraîner des problèmes de mûrissement pour certains matériaux polymériques (délamination, boursoufflures, etc.)⁶.
- La température. La température au moment des réparations conditionne la vitesse de mûrissement des matériaux cimentaires et polymériques et donc la résistance des surfaces réparées lors de la reprise de la circulation.
- L'orientation. L'orientation de la surface à réparer (verticale ou horizontale) conditionne la consistance optimale (écoulement ou non-affaissement) des matériaux de réparation et de la technique de mise en place ou de réparation.
- L'accès au chantier et la sécurité des travailleurs. L'accès au chantier et la sécurité peuvent également conditionner le choix des matériaux de réparation. Par exemple, si les matériaux de réparation doivent être pompés, le matériau choisi devra avoir des propriétés facilitant le pompage.
- La spécificité de certains matériaux. De nombreux matériaux, comme les revêtements, les membranes et adhésifs, s'appliquent dans des conditions spécifiques qui conditionnent la préparation de la surface à réparer. Pour les revêtements minces, par exemple, la surface à réparer devra être relativement lisse⁷.

Lorsqu'on évalue les différentes options de réparation, il ne faut pas oublier de confronter le coût des réparations et leur durée de service. Idéalement, le choix se portera sur la méthode dont le rapport coût/efficacité est le plus petit possible.

Une fois les réparations effectuées, il est important d'effectuer un examen régulier des surfaces réparées, afin de s'assurer qu'elles sont durables et que le béton avoisinant est resté sain.

Résumé

Les ouvrages en béton sont souvent soumis à de sérieux défis climatiques, et il est important de concevoir des réparations à la

fois durables et économiques. La réparation d'un ouvrage en béton n'est efficace que si elle remet cet ouvrage dans un état de service satisfaisant et durable qui n'exigera aucune intervention sérieuse pendant encore plusieurs années.

Pour prendre de bonnes décisions en matière de réparation d'ouvrage en béton, il faut tenir compte de plusieurs facteurs. La première étape du processus consiste à déterminer les causes de la détérioration, afin que la surface réparée ne se détériore pas de la même manière. La deuxième étape consiste à choisir une technique de réparation compatible avec les propriétés physiques et chimiques du béton à réparer. En outre, il ne faudra pas oublier de tenir compte des contraintes liées aux conditions de service et d'application.

Références bibliographiques

1. Mailvaganam, N. P., Grattan-Bellew P.E., et Pernica Gerry, La détérioration du béton : *Symptômes, causes et analyse*, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches, Ottawa, NRCC 44494, 2000, 90 p.
2. Mailvaganam, N.P., *Pour bien réussir le revêtement d'étanchéité, dans les garages de stationnement*, Solution constructive n° 29, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches, Ottawa, 1999, 4 p.
3. Mailvaganam, N.P., *Repair and Protection of Concrete Structures*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1992, 473 p.
4. Mays, G. et Wilkinson, W., Polymer Repairs to Concrete: *Their Influence on Structural Performance*, ACI-SP 100-22 Katherine and Bryant Mather International Conference 1987, p. 351-338.
5. Mailvaganam, N.P. et Taylor, D.A., *Compatibility of Repair Systems for Concrete Structures*, CANMET/IRC Symposium on Advanced Materials, Ottawa, 1994, 11 p.
6. Mailvaganam, N.P., Pye, G.B. et Arnott, M.R., *Réparation du béton : préparation de la surface*, Solution constructive n° 24, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches, Ottawa, 1998, 4 p.
7. Mailvaganam, N.P., *Du bon usage des produits de liaison*, Solution constructive n° 11, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches Canada, Ottawa, 1998, 5 p.

M. Noel Mailvaganam et M. Lyndon Mitchell, Ph.D., sont respectivement agent de recherche principal et agent de recherche au sein du programme Enveloppe et structure du bâtiment, à l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches Canada.

© 2003
Conseil national de recherches du Canada
Octobre 2003
ISSN 1206-1239

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

Canada

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://www.irc.nrc-cnrc.gc.ca>