

Spécificités des dégradations dans les bétons du patrimoine

L. Courard.

Université de Liège, Département d'Architecture, Géologie, Environnement et Constructions

Le patrimoine en béton n'est pas que fonctionnel. On retrouve également une typologie du patrimoine en béton dans les bâtiments industriels, les lieux de loisirs, les édifices religieux, les établissements scolaires, les habitations et, finalement, le génie civil (Duvivier et Montfort, 2008). On pourrait y ajouter les constructions militaires, les monuments funéraires et commémoratifs, les édifices civils (hôtels de ville, beffrois), ...etc.

Le *domaine industriel* a largement usé du béton. A l'avènement de l'ère industrielle, les bâtiments sont faits de briques. Ils sont austères et fonctionnels. Pour contrer les dégâts des incendies, l'acier mais aussi le béton armé, sont de plus en plus utilisés. C'est pourquoi, au lendemain de la Première Guerre mondiale, le béton armé, puis précontraint, apparaît comme une solution. Il est résistant au feu, bon marché et il permet l'ouverture de grands espaces. Ce changement de matériau n'induit pas, pour autant, un changement esthétique. Le fonctionnalisme reste de mise (Fig.1).



Figure 1: anciennes brasseries Wielemans, Forest (Arch. A. Blomme, 1932) (Duvivier et al.,2008)



Figure 2: construction de l'église Saint-Vincent, Liège (Arch. R. Toussaint, 1927-1930) (Gillard, 2010)

D'autre part, les piscines couvertes se développent, même si leur origine est plus précoce. Le premier édifice construit en Belgique l'a été à Verviers, en 1868. De la même façon, les cinémas vont couvrir le territoire et assurer le développement des loisirs pour tous. La construction d'églises (Fig.2) est liée à la création de nouveaux quartiers et est souvent inspirée de la modernité (le Bauhaus mais aussi Le Corbusier). En 1933, le 3^{ème} congrès du CIAM – Congrès International d'Architecture Moderne – voit dans la construction en hauteur la solution aux problèmes de logements (Duvivier et al.,2008). La pratique relatera la théorie dans les années 1950. Peu de ces immeubles seront construits en Belgique. Parmi ceux-ci, la Cité de Droixhe et la Cité modèle à Laeken. Dès les années 1970, cette pratique est remise en cause, c'est la fin de la construction d'habitations en hauteur.

Un problème spécifique dans la réparation d'œuvres architecturales réside notamment dans le droit d'auteur. La loi sur les droits d'auteur protège les œuvres d'architectes à titre de « créations de l'esprit » pour autant qu'elles témoignent d'un caractère original et qu'elles portent l'empreinte de l'auteur, quel qu'en soit le style. Elle vise toutes les créations, aussi bien la construction de bâtiments privés que d'édifices publics ou d'ouvrages de génie civil. L'originalité d'une œuvre architecturale est liée aussi

bien à sa structure qu'à son enveloppe, à l'aménagement de ses espaces intérieurs qu'à son intégration dans l'environnement.

Une opération de réparation ou de protection est composée d'un ensemble d'étapes successives reprenant l'évaluation, la définition de la stratégie d'intervention et le descriptif de cette intervention (Emmons, 1993). Une évaluation des causes et effets des dégradations doit être menée. Les résultats de cette évaluation, en relation avec les besoins (éventuellement nouveaux) du donneur d'ordres, constituent les informations indispensables à la mise en route du processus de conception de l'intervention sur l'ouvrage. La solution finale sera basée sur des considérations de durabilité, compatibilité et constructibilité par rapport à la structure et aux matériaux existants. Il s'agira de préciser l'ampleur des travaux, le planning et aussi le budget. En résumé, les principales étapes sont :

- l'évaluation de l'ouvrage, de son environnement et de ses dégradations;
- le diagnostic des causes de dégradations;
- l'examen technique et économique des diverses options possibles;
- la mise en application de l'option retenue :
 - rédaction des documents (cahiers des charges, spécifications, assurance, financement, clauses de révision des prix,...);
 - exécution de la réparation ;
 - contrôle (matériau, matériel, personnel);
 - contrôle après mise en œuvre;
- la mise en place d'un système de maintenance de la construction réparée.

Les causes de dégradations reprises au Tableau 1 sont précisées en fonction de l'âge du béton, en spécifiant s'il s'agit d'une cause inactive (x) ou active (xx) au moment de l'observation (quelques mois ou années après la période de construction).

Il faut toutefois avoir à l'esprit que plusieurs causes peuvent agir successivement. Par exemple, la ségrégation du béton provoque des fissures, qui seront un facteur d'accélération de la corrosion des armatures qui traversent ou se trouvent à proximité de ces fissures mais aussi un facteur de concentration des tensions mécaniques dans une zone particulière (changement brusque de la section de l'élément).

D'autre part, une cause peut avoir plusieurs origines. La corrosion des armatures peut être due à un enrobage insuffisant (erreur lors de l'étude ou lors de la mise en œuvre ou erreur de composition du béton (haute teneur en chlorure)). Les surcharges mécaniques locales peuvent être dues à :

- une erreur au cours de l'étude (sous-estimation des sollicitations mécaniques ou erreur de calcul);
- une modification des conditions d'utilisation (situation inconnue au moment de l'étude);
- une modification des fondations ou du support.

Des études récentes (Gillard et al., 2011), menées sur les édifices religieux de l'arrondissement de Liège, ont montré que les causes les plus fréquentes de dégradations observées sur les bétons du patrimoine concernent, outre les fuites d'eau, la corrosion des armatures, le plus souvent induite par une trop faible épaisseur de recouvrement et la carbonatation du béton (Fig. 3 et 4). Les effets se manifestent sous forme de fissuration, généralement parallèle à l'armature et, finalement, par l'épaufrure, c'est-à-dire de décollement d'un morceau de béton au-delà de l'armature.

La carbonatation des bétons est liée à la réaction entre le CO₂ (dioxyde de carbone) présent dans l'air et le Ca(OH)₂ (chaux hydratée ou Portlandite) présent dans le béton. Cette réaction chimique a pour effet de diminuer le pH de la solution interstitielle, qui passe de 12-13 à 9-10, et d'entraîner la corrosion des armatures : en effet, les armatures, qui étaient passivées en étant noyées dans le béton, ne le sont

plus lorsque le pH diminue à 9-10. Le choix adéquat du ciment et de sa teneur, une épaisseur de recouvrement suffisante (min 25-30mm), un béton compact sont quelques solutions préventives qui permettent de diminuer ou de ralentir l'effet de ce phénomène.

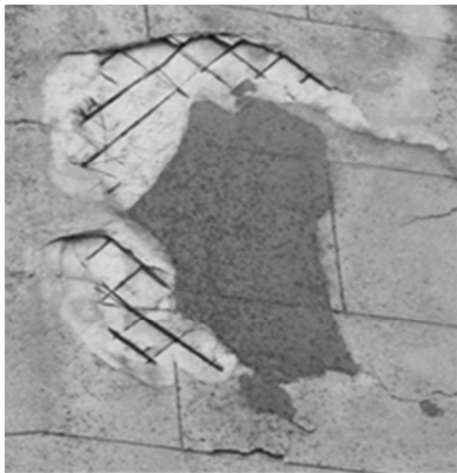


Figure 3: épaufrure dans la pierre armée Pauchot, abside Nord-Ouest, église Saint-Vincent, Liège (Courard *et al.*, 2012)



Figure 4: épaufrure autour de la baie Nord-Ouest du chœur, église Saint-Vincent, Liège (Courard *et al.*, 2012)

Les attaques chimiques sont plus rares, de même que l'effet des sels de déverglaçage. On peut néanmoins observer, pour des bétons poreux, des phénomènes d'écaillage liés aux cycles de gel-dégel.

La réparation de telles dégradations implique l'enlèvement du béton carbonaté ou dégradé, ainsi que le nettoyage des armatures corrodées (Partenaires, 2009). Dans le cas de la carbonatation, il s'agit de remplacer l'entièreté de la zone carbonatée par un mortier de réparation compact et peu poreux ; une couche de protection, imperméable au CO₂, est parfois nécessaire pour garantir la durabilité de la réparation et empêcher tout risque de reprise de la réaction de corrosion des armatures.

Il s'agit dans tous les cas d'une opération fondamentale, dont les conséquences sur l'esthétique de l'ouvrage peuvent être importantes.

Références

- Courard, L., Gillard, A., Darimont, A., Bleus, J.-M. and Paquet, P. (2012) Pathologies of concrete in Saint-Vincent Neo-Byzantine Church and Pauchot reinforced artificial stone. *Construction and Building Materials* **34**: 201–210 (<http://hdl.handle.net/2268/116515>).
- Duvivier, P. et Montfort, B. (2008) Les monuments en béton : méthodologie pour la préparation des travaux de restauration. Travail de Fin d'Etudes, Faculté des Sciences Appliquées et Faculté de Philosophie et Lettres, 203p.
- Emmons, P. (1993) Concrete Repair and Maintenance. C.R.S. Means Company, Kinston, MA (U.S.A.).
- Gillard, A. (2010) Inventaire et analyse de l'état des bâtiments religieux en béton dans l'arrondissement de Liège. Travail de Fin d'Etudes, Faculté des Sciences Appliquées, 105p.
- Gillard, A., Courard, L. and Paquet, P. (2011) Churches and concrete in Liège district: history, architecture and pathologies. *Restoration of Buildings and Monuments* **17**(1): 3–14.
- Le nettoyage des bétons anciens. Guide des techniques et aide à la décision. Les cahiers techniques du Cercle des Partenaires du Patrimoine **4**, Décembre 2009, 43p.

Tableau 1: Causes des dégradations

Causes des dégradations	Effets			
	Fissure	Epaufrure	Désagrégation	Activité
A. Causes survenant avant durcissement				
1) ségrégation du béton	X			X
2) ressuage	X			X
3) retrait à l'état plastique	X			X
B. Causes survenant au début et pendant le durcissement				
1) modification du support ou du coffrage	X	X		X
2) effet du gel sur béton jeune	X	X	X	X
3) retrait	X			X
C. Causes survenant après durcissement				
1) effet thermique				
- déformation empêchée/différentielle	X	X		XX
- gel/dégel		X	X	XX
- incendie	X	X	X	X
2) effet de l'eau				
- effet absorption d'eau/séchage	X	X		XX
3) effet chimique				
- attaque en surface			X	XX
- réaction chimique avec expansion	X	X	X	XX
4) corrosion des armatures	X	X		XX
5) surcharge mécanique/concentration de tension				
- statique	X	X		XX
- dynamique	X	X		XX
- impact et tremblements de terre	X	X		X
- érosion			X	XX