

BRUXELLES PATRIMOINES

Avril 2019 | N° 030

Dossier **BÉTONS**

Varia **LES GÉANTS BRUXELLOIS**

AUX PETITS SOINS DU BÉTON ARMÉ

PATHOLOGIES ET REMÈDES

MICHEL PROVOST

INGÉNIEUR CIVIL DES CONSTRUCTIONS,
PROFESSEUR ULB, *JOINT RESEARCH GROUP ULB-
VUB « CONSTRUCTION HISTORIES BRUSSELS »*,
ASSOCIÉ *ORIGIN ARCHITECTURE & ENGINEERING*

Le domaine des pathologies du béton et des remèdes que l'on peut y apporter est extrêmement vaste et complexe; de nombreux ouvrages y sont consacrés. L'objectif poursuivi par cet article est de donner une brève synthèse de ces concepts aux lecteurs non spécialisés afin qu'ils puissent mieux aborder les exemples développés dans les pages qui suivent.

Nous ne parlerons pas du béton précontraint qui est moins fréquent que le béton armé ; les pathologies et donc les remèdes y sont du même type. On retiendra toutefois que les armatures de précontrainte sont plus sensibles à la corrosion que les armatures utilisées pour le béton armé et donc que le béton précontraint est, dans le temps, plus vulnérable que le béton armé.

PATHOLOGIES

Sauf cas particuliers (présence d'alcalis ou de chlorures), on peut dire, dans les grandes lignes, qu'un béton correctement composé se comporte comme une pierre naturelle de qualité moyenne à bonne. S'il n'est pas mis en contact avec des agents agressifs, s'il n'est pas soumis à des agressions mécaniques, il résistera bien dans le temps.

Il n'en est pas forcément de même pour un béton armé. Dans ce cas la principale cause des dégradations est liée à la corrosion des armatures. Le béton armé est beaucoup plus vulnérable dans le temps que le béton. Ce risque de dégradation est fortement lié à la qualité de sa mise en œuvre. C'est l'enrobage de béton et le caractère alcalin de ce matériau qui protège, si besoin, les armatures de la

corrosion. Mais le caractère alcalin du béton se réduit dans le temps par sa carbonatation suite à sa mise en contact avec le CO₂ de l'air (fig. 1). La carbonatation du béton n'est pas un problème en soi, c'est seulement s'il y a présence d'eau qu'il y a corrosion.

En milieu humide, si la protection des armatures n'est pas suffisante, elles se corrodent et leur gonflement dû à la rouille fissure le béton d'enrobage. Ces fissures mettent les armatures d'avantage en contact

avec l'atmosphère extérieure et la corrosion des armatures et les désordres qu'elle induit progressent (fig. 2a à 2d). Ces dégradations sont amplifiées par les cycles gel-dégel. Pour être efficace l'enrobage de béton doit être suffisamment épais (minimum 3 cm), peu poreux et de caractère alcalin (pH ~ 13). Les exigences en terme d'épaisseur d'enrobage sont nettement plus fortes aujourd'hui, elles sont imposées par les normes, ce qui n'était pas le cas anciennement.



Fig. 1

Profondeur de carbonatation. La phénolphthaléine teinte le béton sain en violet. Elle ne teinte pas le béton carbonaté. Dans le haut de la carotte le béton est carbonaté sur une profondeur d'environ 1,5 cm, dans le bas on voit la trace de l'armature qui est protégée par du béton encore alcalin (2017 © Origin).

PRINCIPALES PATHOLOGIES

Désordres au niveau du béton :

- Dégradations dues au gonflement des armatures qui se corrodent (causes A, B, C et D).
- Dégradations liées à des fissures (causes B et D).
- Érosion ou usure de surface : sous l'action des intempéries (ex : pluie, vent, sable), frottements répétitifs (ex. : passage de pneus, piétons, déballages de marchandises, écoulement d'eau) (cause D).
- Décomposition externe : initiée par les acides sécrétés par les mousses (cause D).
- Faiëncage ou écaillage de surface : dû au gel pour des bétons ayant une résistance mécanique insuffisante (cause A).
- Fissuration induite par des réactions internes au matériau (ex. : réaction alcali-silice gonflante, ettringite à expansion très importante) (cause A).

Tous ces désordres sont aggravés par les cycles gel-dégel.

Désordres au niveau des armatures :

- Corrosion suite à un manque ou à une perte de protection (carbonatation du béton) des armatures



Fig. a
Corrosion des armatures mises à nu avec perte significative de matière (2017 © Origin)

et/ou mise en contact avec l'humidité de l'air. Cette corrosion entraîne des réductions de section et peut aller jusqu'à la rupture des armatures (fig. a).

- Corrosion par piqûres : due à la présence de chlorure (causes A et D) même dans un béton non carbonaté. Peut entraîner la rupture fragile des armatures.

Principales causes :

A-Composition inadéquate du béton :

- Excès d'eau rendant le béton poreux (protection insuffisante des armatures).
- Présence d'alcalis contenus dans le béton et d'acide silicique contenu dans les granulats pouvant réagir ensemble (réaction gonflante).

- Contamination par des chlorures incorporés volontairement lors de la mise en œuvre pour accélérer la prise du béton ou présents naturellement dans les composants du béton.

B-Problèmes de conception :

- Armatures insuffisantes entraînant des fissurations, enrobages des armatures insuffisants...

C-Malfaçons lors de la mise en œuvre :

- Enrobages des armatures insuffisants, nids de gravier... (fig. b)



Fig. b
Nid de gravier (2017 © ARSIS)

D-Problèmes pendant la vie de l'ouvrage :

- Fissuration due à de la dilatation thermique ou au retrait entravé du béton, liée à un impact ou une explosion...
- Mise en contact avec des acides, des sels de déverglaçage...

PRINCIPAUX REMÈDES

Pathologies « lourdes » :

- Démolition locale, traitement des armatures et réparation au mortier soit appliqué à la spatule, soit coulé, soit projeté (gunitage).
- Remplacement, si besoin, de portions d'armatures.
- Renforts, si besoin, par des armatures extérieures, des fibres de carbone, des plats métalliques...

Pathologies « légères » :

- Injection de fissures.

Protection des armatures en agissant sur le béton :

- Par arrêt de la carbonatation du béton par application d'un *coating* empêchant la pénétration du dioxyde de carbone tout en laissant au béton la possibilité de « respirer ».
- Par ré-alcalinisation du béton par une méthode électrique.

- Par inhibiteur de corrosion ajouté dans le mortier de réparation.

Protection directe des armatures :

- Par peintures anticorrosion appliquées sur les armatures après dérouillage.
- Par placement d'anodes sacrificielles.
- Par courant imposé.



Fig. 2a à 2d

Éclatement du béton suite au gonflement des armatures. Armatures mises à nu et corrodées suite à ces éclatements (2017 © Origin).

Le béton armé est normalement microfissuré, mais cela n'affecte pas sa durabilité. Toutefois la fissuration (à partir de 0,3 mm) mettra les armatures en contact avec l'atmosphère extérieure ce qui pourrait entraîner leur corrosion et une dégradation cumulative. Un ouvrage en béton armé réalisé selon les règles de l'art et qui n'est pas soumis à des sollicitations pour lesquelles il n'a pas été conçu (ce qui pourrait induire des fissurations) se comportera bien dans le temps. Avant de procéder à la réparation

d'un ouvrage en béton armé dégradé il est nécessaire de faire procéder à des essais, notamment pour connaître sa résistance, sa porosité, les profondeurs de carbonatation...

REMÈDES

Vu que les dégradations du béton armé sont principalement liées à la corrosion des armatures, l'objectif sera de les protéger pour éviter qu'elles ne se corrodent. Cette protection pourra se faire soit direc-

tement au niveau des armatures, soit en redonnant au béton la capacité de les protéger. Le type de remède à mettre en œuvre dépendra bien entendu de l'ampleur des dégradations.

Si les dégradations sont importantes, le béton sera décapé jusqu'au béton sain et les armatures mises à nu (fig. 3). Elles pourront alors être protégées par une peinture passivante avant d'être recouvertes du mortier de réparation (on parle de ragréage du béton). Les

GLOSSAIRE

Armatures pour béton armé – Armatures de précontrainte :

On distingue ici les armatures pour béton armé qui ne sont pas mises en tension des armatures de précontrainte qui sont mises en tension. Aujourd'hui les armatures de précontrainte sont également appelées « tendons » et anciennement « câbles ».

Carbonatation (du béton) :

Réaction des substances alcalines du béton avec le dioxyde de carbone de l'air qui conduit entre autre à l'abaissement du pH du béton de 13 à 9, correspondant à la transformation de la portlandite en calcite. La carbonatation est un phénomène de diffusion, caractérisé par un front de carbonatation à pH 9 progressant de la surface du béton vers l'intérieur. Lorsque le front de carbonatation atteint les armatures, la couche d'oxydes qui les protégeait de la corrosion en milieu à pH élevé disparaît : elles sont dépassivées et risquent de se corroder (de rouiller) s'il y a présence d'eau.

Corrosion des armatures :

Phénomène chimique altérant la surface des armatures incluses dans le béton armé. Elle apparaît si l'enrobage (voir : Enrobage) de

béton est insuffisant, si le béton est trop poreux ou carbonaté (voir : Carbonatation)

Enrobage :

Distance entre l'armature et la paroi du béton. L'enrobage doit être suffisant (au minimum 3 cm, mais parfois davantage suivant la destination de l'ouvrage) pour que les armatures soient protégées contre la corrosion.

Fissure :

Ouverture dans un élément induite par son chargement. **Fissuration** : Ensemble des fissures présentes dans un élément structural. Les origines de la fissuration sont diverses, et la fissuration peut survenir au jeune âge ou à long terme. Le béton armé est presque inévitablement **microfissuré**, à tout le moins en surface ou à son interface avec les armatures mais cette fissuration, diffuse, n'est pas visible à l'œil nu. Elle n'affecte normalement ni la durabilité ni l'étanchéité. La **macrofissuration** correspond à l'apparition de fissures discrètes, parfois traversantes, qui deviennent visibles au-delà de 0,3 mm d'ouverture. À partir de cette ouverture, elles peuvent compromettre l'aptitude au service des constructions en béton armé et leur durabilité.

Gunitage :

Bétonnage par projection par un système à air comprimé.

Injection :

Mise en œuvre sous pression de coulis de ciment ou autre. Injection de fissures.

Nid de gravier :

Zone de béton dans laquelle il y a trop peu de mortier entre les granulats. Les vides qui en résultent réduisent fortement la résistance à la compression du béton et mettent les armatures en contact avec l'atmosphère. Les nids de gravier doivent être absolument traités. Les causes en sont un mauvais serrage (vibration) du béton ou une étanchéité du coffrage déficiente induisant une perte de laitance (mortier liquide entourant les granulats).

Passivation (des armatures) :

Protection vis-à-vis de la corrosion des armatures incluses dans le béton armé par l'alcalinité du béton, par des produits destinés à leur protection en cas de réparation...

Plat métallique : élément en acier de relativement grande longueur (plusieurs mètres), d'une dizaine de cm de largeur et de quelques mm d'épaisseur. De tels éléments peuvent être fixés (collés ou boulonnés) sur les faces extérieures d'un élément en béton pour servir de renfort.

armatures trop fortement corrodées seront, si nécessaires, remplacées par des armatures éventuellement en acier inoxydable. Certaines armatures présentes dans un ouvrage en béton armé, nécessaires lors de sa construction, ne le sont plus ensuite ; elles pouvaient servir au bon positionnement des armatures, à limiter la fissuration liée au retrait du béton... Avant

de procéder au remplacement d'armatures détériorées, on s'assurera de leur utilité. Dans le même ordre d'idée, il peut être souhaitable de retirer des armatures devenues inutiles pour éviter que leur corrosion ne dégrade le béton. Les armatures peuvent dans certains cas être remplacées par des éléments en fibre de carbone ou par des plats métalliques placés en surface du béton.

S'il n'y a pas de dégradations apparentes mais que les essais révèlent que le béton a perdu tout ou partie de son rôle protecteur suite à sa carbonatation, il faudra, si on est en atmosphère humide, veiller à protéger les armatures sans, bien entendu, les mettre à nu. Deux voies sont alors possibles, soit en redonnant au béton la capacité de les protéger, soit en protégeant



Fig. 3
Béton décapé en vue d'une réparation [2017 © Origin].

directement les armatures. La première voie passe par la protection du béton par des *coatings* arrêtant la carbonatation en empêchant la pénétration du dioxyde de carbone dans le béton ou par la réalcalinisation béton. Celle-ci est obtenue par application temporaire d'un courant électrique entre les armatures et une anode provisoire placée à la surface du béton. Dans la seconde voie on pourra protéger les armatures électriquement en créant une différence de potentiel entre les armatures et une anode sacrificielle, interne ou externe au béton, le plus souvent en zinc, qui se détruira progressivement en jouant

son rôle protecteur. Cette protection électrique peut aussi être obtenue par un courant imposé.

BIBLIOGRAPHIE

- DENOËL, J.-F., ESPION, B., HELLEBOIS, A. et PROVOST, M. (dir.), *Histoires de béton armé - Patrimoine, durabilité et innovations*, Febelcem - FABI, Bruxelles, 2013.
- Note d'information technique n° 231 : *Réparation et protection des ouvrages en béton* - Centre scientifique et technique de la construction (CSTC) - Septembre 2007 (correction janvier 2008).

Caring for reinforced concrete Pathologies and remedies

Broadly speaking, concrete behaves like a natural stone of medium to good quality, and under 'normal' conditions it is therefore very durable. The pathologies that affect concrete are most often connected with corrosion of the reinforcing bars. In normal circumstances, the alkaline properties of the concrete protect the reinforcing bars; however, if this alkalinity is weakened or if the reinforcing bars are otherwise insufficiently protected, corrosion can lead to degradation of the concrete.

This article first provides a general overview of the main pathologies and their causes, before detailing possible remedies. Given that degradation of reinforced concrete is primarily connected with corrosion of reinforcing bars, the main objective is to protect these in order to prevent corrosion. This protection can be applied either directly to the reinforcing bars themselves or achieved by restoring the capacity of the concrete to provide such protection.

COLOPHON

COMITÉ DE RÉDACTION

Jean-Marc Basyn, Françoise Cordier, Stéphane Demeter, Paula Dumont, Murielle Leseqque, Griet Meyfroots, Valérie Orban, Cecilia Paredes, Brigitte Vander Bruggen

RÉDACTION FINALE EN FRANÇAIS

Stéphane Demeter

RÉDACTION FINALE EN NÉERLANDAIS

Griet Meyfroots

SECRÉTARIAT DE RÉDACTION

Stéphane Demeter et Murielle Leseqque

COORDINATION DU DOSSIER

Jean-Marc Basyn

COORDINATION DE L'ICONOGRAPHIE

Julie Coppens et Jean-Marc Basyn

AUTEURS/COLLABORATION

RÉDACTIONNELLE

Jean-Marc Basyn, Brigitte De Groof, Rika Devos, Bernard Espion, Jean-Paul Heerbrant, Isabelle Lecocq, Marc Meganck, Griet Meyfroots, Cecilia Paredes, Michel Provost, Benoît Schoonbroodt, Christian Spapens, Anne Totelin, Brigitte Vander Bruggen, Céline Vandewynckel, Aurélie Vermijlen

RELECTURE

Martine Maillard, Cate Chapman-Skylark Academic & Book Editing et le comité de rédaction

TRADUCTION

Gitracom, Ubiqu Belgium NV/SA

GRAPHISME

Polygraph'

CRÉATION DE LA MAQUETTE

The Crew communication sa

IMPRESSION

Graphius Brussels

DIFFUSION ET GESTION DES ABONNEMENTS

Cindy De Brandt, Brigitte Vander Bruggen
bpeb@urban.brussels

REMERCIEMENTS

Philippe Charlier, Alfred de Ville de Goyet, Bernard Espion, Armande Hellebois, Wim Kenis, Pierre-Yves Lamy, Michel Provost, Guido Stegen

ÉDITEUR RESPONSABLE

Bety Waknine, directrice générale, Urban.brussels (Service public régional Bruxelles Urbanisme & Patrimoine) Mont des Arts 10-13, 1000 Bruxelles

Les articles sont publiés sous la responsabilité de leur auteur. Tout droit de reproduction, traduction et adaptation réservé.

CONTACT

Direction Patrimoine culturel
Mont des Arts 10-13, 1000 Bruxelles
www.patrimoine.brussels
bpeb@urban.brussels

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

Malgré tout le soin apporté à la recherche des ayants droit, les éventuels bénéficiaires n'ayant pas été contactés sont priés de se manifester auprès de la Direction Patrimoine culturel de la Région de Bruxelles-Capitale.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ACSJ - Archives communales de Saint-Josse-ten-Noode
ACWSP - Archives communales de Woluwe-Saint-Pierre
AGR - Archives générales du Royaume
AUCL - Archives de l'université catholique de Louvain-la-Neuve
AVB - Archives de la Ville de Bruxelles
CIDEP - Centre d'Information, de Documentation et d'Etude du Patrimoine
KIK-IRPA - Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium / Institut royal du Patrimoine artistique
KUL - Katholieke Universiteit Leuven
MRBAB - Musées royaux des Beaux-Arts de Belgique
SPRB - Service public régional de Bruxelles
ULB - Université libre de Bruxelles
VUB - Vrije Universiteit Brussel

ISSN

2034-578X

DÉPÔT LÉGAL

D/2019/6860/011

Dit tijdschrift verschijnt ook in het Nederlands onder de titel "Ertgoed Brussel".

Déjà paru dans Bruxelles Patrimoines

001 - Novembre 2011
Rentrée des classes

002 - Juin 2012
Porte de Hal

003-004 - Septembre 2012
L'art de construire

005 - Décembre 2012
L'hôtel Dewez

Hors série 2013
Le patrimoine écrit notre histoire

006-007 - Septembre 2013
Bruxelles, m'as-tu vu ?

008 - Novembre 2013
Architectures industrielles

009 - Décembre 2013
Parcs et jardins

010 - Avril 2014
Jean-Baptiste Dewin

011-012 - Septembre 2014
Histoire et mémoire

013 - Décembre 2014
Lieux de culte

014 - Avril 2015
La forêt de Soignes

015-016 - Septembre 2015
Ateliers, usines et bureaux

017 - Décembre 2015
Archéologie urbaine

018 - Avril 2016
Les hôtels communaux

019-020 - Septembre 2016
Recyclage des styles

021 - Décembre 2016
Victor Besme

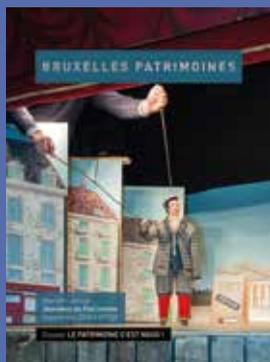
022 - Avril 2017
Art nouveau

023-024 - Septembre 2017
Nature en ville

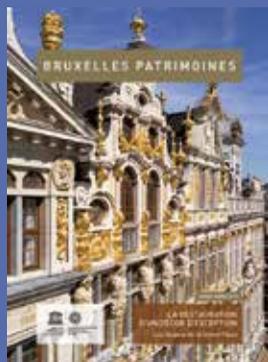
025 - Décembre 2017
Conservation en chantier

026-027 - Avril 2018
Les ateliers d'artistes

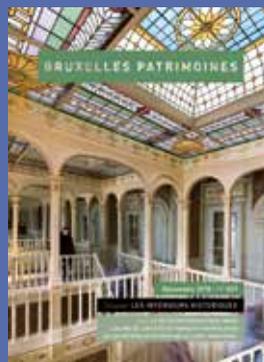
Derniers numéros



028 - Septembre 2018
Le Patrimoine c'est nous !



Hors-série - 2018
La restauration
d'un décor d'exception



029 - Décembre 2018
Les intérieurs historiques



urban
.brussels

BUP BRUXELLES URBANISME ET PATRIMOINE
BSE BRUSSEL STEDENBOUW EN ERFGOED

15 €



ISBN 978-2-87584-179-7