

Objekttyp: **AssociationNews**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **111 (1985)**

Heft 12

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Durabilité du béton armé

Journées d'étude SIA à Lausanne

par Dominique Andrey, Lausanne

Diverses informations relatives au mauvais état de certains ponts ont fait naître dans l'opinion publique la crainte que la durée de vie du béton soit très limitée. Il est connu que le béton n'est pas éternel, cependant de nombreux édifices qui nous sont légués par l'Histoire nous prouvent qu'il peut résister très longtemps; cette durée peut cependant être singulièrement raccourcie si des précautions ne sont pas prises, tant au niveau des matériaux que des choix constructifs. Ce sont ces aspects qui ont été mis en évidence dans les quatorze conférences présentées lors de deux journées d'étude qui ont eu lieu à Lausanne les 26 et 27 mars 1985 sur le thème «Durabilité du béton armé». Cette réunion, qui a intéressé plus de 150 personnes, avait été organisée par la SIA, et plus particulièrement par le groupe spécialisé de la construction industrialisée (GCI/FIB), en collaboration avec l'EPFL et diverses associations professionnelles.

1. Notions de base

Dans son exposé introductif *Structure et durabilité du béton*, M. F.H. Wittmann (professeur, Laboratoire des matériaux de construction, EPFL), organisateur des journées, précise la notion de *durabilité*. L'intérêt qu'on y porte depuis quelque temps est la conséquence des sommes importantes consacrées à l'entretien et aux réparations de structures, ainsi que de quelques accidents spectaculaires. Il est difficile de donner une définition de la durabilité. S'il est possible de décrire quelques paramètres qualitatifs, il est beaucoup plus difficile de le quantifier. Un des critères peut être l'insuffisance de capacité portante d'un élément à cause de la réduction de la section des armatures par suite de la corrosion. Un autre en est l'évolution de la résistance du béton. Pour pouvoir décrire les phénomènes avec précision et tenir compte de l'interaction de tous les éléments extérieurs, il est proposé de décomposer la structure en trois niveaux:

- le micro-niveau sert à décrire les propriétés caractéristiques de la pâte de ciment durci;
- le méso-niveau permet d'inclure l'influence des granulats, de la géométrie de l'élément de construction et des fissures;
- finalement, le macro-niveau permet de lier toutes les informations nécessaires à l'établissement des lois décrivant les propriétés des matériaux.

En appliquant à ces niveaux les effets extérieurs, il devient possible de quantifier des échéances telles que la durée de vie théorique, la destruction de la couverture ou la corrosion des armatures. Il faudra les mettre en relation avec les critères d'utilisation ou la durée de vie attendue pour déterminer si la durabilité est suffisante ou si elle doit être améliorée par des réparations.

Des essais paramétriques sur matériaux étant généralement longs et coûteux, ils peuvent être remplacés, dans certains cas, par une simulation par ordinateur d'un «béton numérique».

2. Origine des dégâts

En parlant de la *corrosion physico-chimique du béton*, M^{me} M. Regourd (Centre d'études et de recherches de l'industrie des liants hydrauliques CERILH, Paris) présente les différents mécanismes d'altération du béton. Ils peuvent être le fruit d'agents extérieurs (solutions acides, sols gypseux), agressifs vis-à-vis de la pâte de ciment, ou à des agents internes (alcali-réaction, solidification de l'eau sous l'action du gel). Les altérations sont de deux types: soit érosion, qui entraîne une partie du liant, soit gonflement et éventuellement fissuration, par formations de composés expansifs.

Le béton est un matériau durable. Quelques précautions simples sont suffisantes

dans la plupart des cas pour assurer cette durabilité:

- avant toute ouverture de chantier, le milieu dans lequel s'insérera la structure en béton doit être clairement défini: humidité, température, contact avec des solutions ou des sols agressifs;
- dans un milieu agressif, la porosité du béton doit être minimale;
- il faut prendre garde aux caractéristiques d'utilisation des différents ciments.

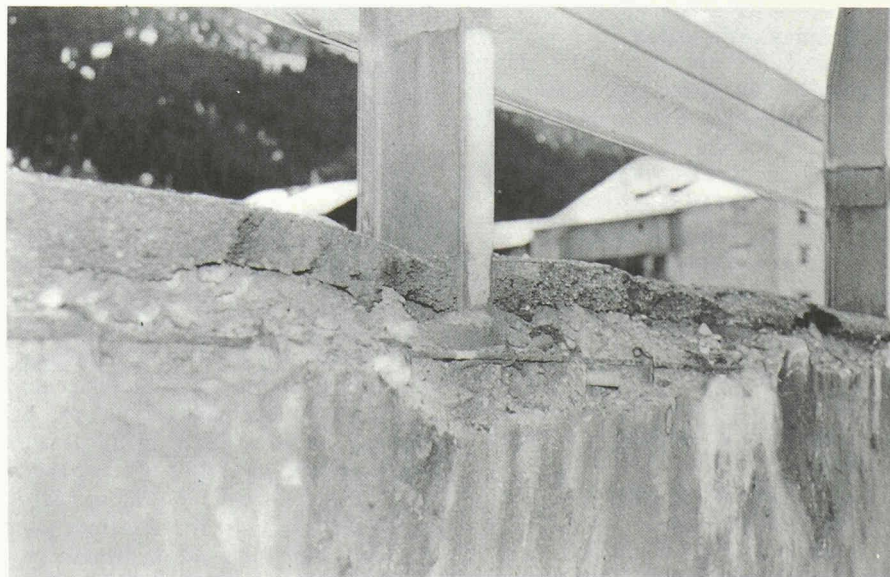
L'effet du gel est souvent invoqué comme cause de dégâts. Le problème est présenté en détail par M. C.-A. Roulet (Groupe de recherche en énergie solaire, EPFL). Dans un matériau poreux humide, le gel progresse toujours sous la forme d'un front de gel qui avance. En gelant, l'eau augmente de volume et fait migrer une partie du liquide dans des pores plus petits, faisant par là augmenter la pression et dépasser la résistance du béton. On peut augmenter la résistance au gel d'un matériau poreux en:

- diminuant la vitesse de refroidissement (éviter l'épandage d'antigel sur la glace);
- diminuant la longueur des capillaires (utiliser des entraîneurs d'air);
- augmentant la perméabilité du matériau;
- augmentant la résistance du matériau, au niveau microscopique.

Les dégradations à l'échelle macroscopique ne sont visibles qu'après plusieurs cycles de gel et dégel. Il existe plusieurs essais permettant de tester en laboratoire la résistance au gel des bétons. M. Roulet en présente les avantages et les inconvénients.

La *corrosion des armatures dans le béton* est un autre grand domaine de la durabilité des structures.

M. B. Elsener (Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion, EPFZ) rappelle que, dans une atmosphère humide, l'acier s'oxyde rapidement. Pris



Désagrégation du béton d'une bordure de pont.



Corrosion prononcée de l'armature d'une poutre.

dans le béton, il est naturellement protégé (formation d'une couche de passivation) par l'alcalinité du milieu ambiant (pH eau incluse du béton $> 12,5$). Deux phénomènes peuvent entraîner la corrosion des armatures: la baisse du pH du béton (< 10) par suite de la carbonatation ou la présence de substances agressives (ions chlorures essentiellement) pouvant détruire localement la couche passive.

Une méthode pour contrôler l'état de corrosion consiste à mesurer le potentiel électrochimique entre la barre d'armature et une électrode de référence placée à la surface du béton. Les différences de potentiel mesurées donnent une indication sur la probabilité de corrosion, la méthode est cependant purement qualitative.

Le conférencier propose une méthode de mesure de la résistance de polarisation (par mesure d'impédance). Des essais en laboratoire sont prometteurs et les mesures sur des ouvrages devraient permettre de donner des renseignements exacts sur l'état de corrosion des armatures.

3. Mesures préventives

Le problème du rapport entre *technologie du béton et durabilité* est traité par M. F. Alou (Laboratoire des matériaux de construction, EPFL). Pour obtenir des bétons de qualité, il faut:

- choisir des granulats stables;
- obtenir un mélange compact;
- avoir un dosage en ciment suffisant;
- mettre une quantité d'eau optimale;
- effectuer un malaxage soigné (au moins 1 minute);
- avoir un transport court et limiter le temps entre le malaxage et la mise en place;
- soigner la mise en place;
- traiter les coffrages;
- protéger le béton jeune.

Les dégâts et les protections des *parapets de ponts* sont des aspects très visibles de la

dégradation des ouvrages d'art. M. A. Rösli (professeur, Institut für Materialwissenschaften, EPFZ) s'en préoccupe depuis plusieurs années. Le gel et les chocs thermiques dus aux fondants chimiques entraînent un décollement par plaques du béton d'enrobage, la désagrégation en profondeur, et la mise à nu des armatures. Celles-ci sont également agressées par les ions chlorures rapportés par les sels de déverglaçage.

Pour lutter contre ces phénomènes, il faut que le béton contienne aussi peu d'eau que possible, que son aération soit suffisante, que l'enrobage des armatures soit important, que l'utilisation des fondants chimiques soit limitée, que les enduits de neige soient débarrassés et que, le cas échéant, les surfaces de béton menacées soient recouvertes de couches de protection.

L'application de ces couches de protection est complexe et exige des produits de bonnes qualités, notamment en ce qui concerne le vieillissement, l'adhésion, la capacité de pontage des fissures, la mise en œuvre sur le chantier.

Le but à atteindre n'est pas tant un aspect esthétique que la protection des armatures.

De nombreux problèmes peuvent être évités si l'on prend garde à certains aspects lors de la construction. En parlant des *mesures constructives pour assurer la durabilité du béton*, M. R. Favre (professeur, Institut de statique et structures, EPFL) met en évidence les critères dont doit disposer l'ingénieur projeteur lorsqu'il aborde la conception d'un ouvrage. Les critères concernant la résistance sont en général clairement définis par les normes. Il n'en va pas de même de ceux régissant les états limites de service et en particulier la durabilité. Par soucis de simplification, il est recommandé, pour les cas courants et conformément au projet de norme SIA 162, d'adopter les deux critères suivants:

- l'ouvrage doit être conçu de telle sorte qu'à l'état permanent les déformations et la fissuration soient modérées;
- pendant toute la durée de vie d'une structure, l'armature ne doit jamais atteindre sa limite d'écoulement.

Cela implique pour l'ingénieur la prise en compte du comportement à long terme de l'ouvrage qu'il projette, en introduisant l'influence des effets différés des matériaux (fluage, relaxation, retrait).

Un autre aspect pouvant diminuer la durabilité d'une structure est la mauvaise conception ou la mauvaise réalisation de détails de construction. Bien des désordres proviennent de l'introduction de forces concentrées dans une structure (introduction de précontrainte, appuis, poussée au vide, aux changements de section...). Afin de procéder à un bon choix constructif et à un dimensionnement adéquat au voisinage de telles forces concentrées, il est bon de faire appel à un modèle rationnel permettant de respecter scrupuleusement les lois de l'équilibre. Un tel modèle peut être basé sur le flux des trajectoires des contraintes principales obtenue à partir de la théorie de l'élasticité. Le fait d'adopter au départ cette théorie a le grand avantage de conduire à des choix favorables pour l'aptitude au service et la durabilité.

4. Diagnostic

L'examen des caractéristiques mécaniques du béton aide à poser un diagnostic. M. F. Bapst (professeur, Ecole d'ingénieurs de Genève) présente les différentes méthodes d'essai non destructif in situ (scléromètres, appareil à ultra-sons, pachomètre, nucléodensimètre) et d'essai destructif en laboratoire. Il rend attentif aux différentes causes pouvant créer une dispersion des résultats.

Poser un *diagnostic sur l'état du béton* est souvent chose complexe. M. Ch. Mermind (SA Conrad Zschokke, Genève) s'attache à un examen de la carbonatation du béton. L'examen d'échantillons est probant, mais long et complexe. L'examen in situ d'échantillons avec indicateur permet de déterminer le pH du béton et de mesurer la profondeur de carbonatation. L'emplacement des échantillons est cependant primordial, le béton étant souvent de plus mauvaise qualité au voisinage des armatures. Il faut ensuite procéder à une interprétation des mesures et pouvoir extrapoler sur la durée de protection des barres et, partant, sur la nécessité ou non d'une action préventive.

L'analyse de la structure du béton par la microscopie de coupes minces spécialement traitées, est abordée par MM. A. Pignet et M. Brianza (Service de recherches et conseils techniques de l'industrie suisse du ciment, Vernier/Wildegge). Elle permet d'obtenir des renseignements sur la morphologie (forme et grandeur des

agrégats, vides, fissures, volume occupé par la pâte de ciment...) et sur la texture du béton (porosité, degré d'hydratation, concentration des particules de ciment, distribution des agrégats). Elle donnera des valeurs quantitatives et qualitatives. On pourra ainsi déterminer des paramètres tels que la profondeur de carbonatation, le type de ciment utilisé, l'oxygène de certaines fissures...

5. Mesures d'assainissement

M. A. Hentsch (professeur, Ecole d'ingénieurs de l'Etat de Vaud, Yverdon) a exposé sur le revêtement de mortiers et bétons. Il s'agit soit de remplacer du béton défectueux, soit d'augmenter l'épaisseur de l'ouvrage (renforcement). De nombreux problèmes relatifs à l'adhérence, à la préparation du support, à l'accrochage de revêtements doivent être pris en considération si l'on ne veut pas que la réparation aboutisse à un échec.

Parmi les produits à utiliser, on peut citer :

- les mortiers et bétons hydrauliques, à utiliser en épaisseurs relativement grandes (> 2 à 4 cm);
- les mortiers et bétons mixtes, bétons de ciment contenant un certain pourcentage de polymères ou de résines thermomodurcissables;
- les mortiers et bétons de polymères, utilisant comme liant des époxydes ou des polyuréthanes.

Dans tous les cas, les revêtements de mortiers et bétons, correctement mis en œuvre, constituent une amélioration sensible des qualités extérieures des ouvrages en béton.

L'utilisation de *béton projeté pour l'assainissement de constructions en béton* est présentée par M. P. Teichert (E. Laich SA, Avegno). Il peut être utilisé pour réparer, pour protéger ou pour renforcer des ouvrages. Il possède les propriétés importantes lors de la remise en état d'ouvrages en béton :

- il a à peu près les mêmes caractéristiques que le béton à assainir;
- il adhère solidement à sa surface d'application;
- il est étanche;
- il offre une bonne résistance au gel;
- il forme avec l'ancien béton un ensemble monolithique.

Si le béton projeté est mis en œuvre selon les règles de l'art, il correspond à un béton à haute résistance (BH).

Dans sa contribution écrite, M. R.P. Schmid (Renesco Bautechnik AG, Oteltingen) traite le problème de l'injection dans les fissures. L'auteur a malheureusement été empêché de participer à ces journées.

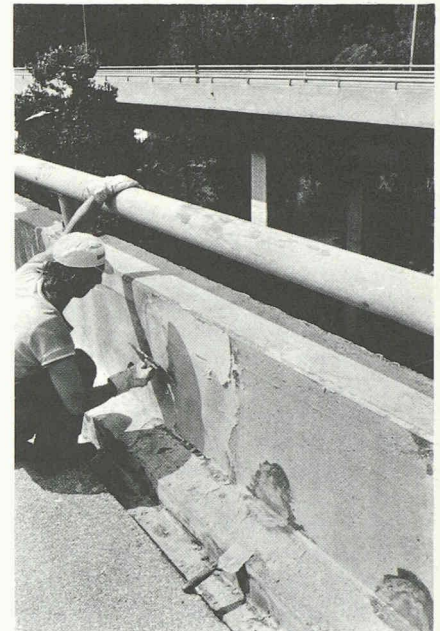
6. Etude de cas

Les dégâts dans les ponts sont les conséquences de faute de conception, de défauts d'exécution, de sollicitations extérieures non prévues ou d'un manque de surveillance et d'entretien. Ils ont pour conséquence une baisse de la sécurité, une baisse de la qualité ou, pour le moins, une altération de l'aspect extérieur.

En traitant l'*assainissement de ponts*, MM. R. Suter et D. Andrey (Institut de statique et structures, EPFL) présentent un certain nombre de cas d'assainissement nécessités soit par des désordres structuraux, soit par une altération des matériaux. Cependant, les structures porteuses des ponts en service en Suisse sont en général saines et de bonne qualité. Les dégâts touchent essentiellement des éléments secondaires (parapets, joints de chaussée, revêtement et étanchéité). Il faut éviter que la défaillance de ces parties d'ouvrage se répercute sur la structure porteuse, mettant par là en péril la sécurité de l'ouvrage. On s'y emploiera en :

- concevant des dispositions constructives efficaces;
- assurant une maintenance efficace des ouvrages construits par une surveillance régulière et un entretien courant adapté.

En guise de synthèse, M. P. Lüthi (président GCI, CPK Bautechnik AG, Berne) présente quelques *exemples et répercussions économiques*. Si les dégâts sont devenus importants ces dernières années, la proportion des travaux d'assainissement par rapport au volume total de la construction est et restera faible. Les entreprises et les bureaux d'ingénieurs ne doivent donc pas attendre des assainissements d'ouvrages la panacée à leurs problèmes de marché de travail; la construction doit chercher une impulsion ailleurs.



Travaux d'assainissement.

7. Documentation

Lors de ces journées d'étude, on a pu assister à la première projection d'un film vidéo produit par le Laboratoire des matériaux de construction de l'EPFL «Durabilité du béton armé». Il possède d'indéniables qualités didactiques et mérite une large diffusion.

Présentation en première également : le groupe scientifique et technique pour la restauration des monuments et des constructions, section suisse (WTA-CH) a établi la version française d'une fiche technique «Entretien des ouvrages en béton — protection et réparation». Déjà publiée en allemand (Schweizer Baublatt 19/mars 85) elle le sera prochainement en français par la SIA.

L'ensemble des exposés présentés est regroupé dans le volume 89 «Durabilité du béton armé» de la série Documentation SIA. Il peut être commandé auprès du secrétariat de la SVIA, case postale 944, 1001 Lausanne.

Adresse de l'auteur :

Dominique Andrey, ing. civil
EPFL/SIA
Institut de statique et structures —
Béton armé et précontraint (IBAP)
Génie civil (Ecublens) — EPFL
1015 Lausanne

Bibliographie

L'étanchéité des toitures

par Cl. Joseph. — Un vol. 14,5 × 21,5 cm, 182 pages. Editions Eyrolles, Paris 1985. Prix broché : FF. 172. —.

L'étanchéité des toitures représente peu dans le coût d'un bâtiment; elle a cependant permis le

développement de l'architecture moderne, qui multiplie les terrasses accessibles, jardins ou parkings. Cette liberté de conception est l'aboutissement d'une évolution technique remarquable, qui place les fabricants et les entreprises d'étanchéité français parmi les premiers du monde.

Cet ouvrage constitue une introduction à l'étanchéité des toitures et une préparation à l'usage

des textes normatifs. Il souhaite apporter une meilleure compréhension de principes et de la technologie de cette spécialité en traitant simplement des éléments de base.

Sommaire

1. Les revêtements d'étanchéité : l'asphalte. — 2. Les revêtements d'étanchéité : l'étanchéité multicouche. — 3. Les revêtements d'étanchéité : les revêtements

élastomères. — 4. Les revêtements d'étanchéité : les bitumes modifiés. — 5. Les revêtements d'étanchéité : les feuilles plastiques et autres procédés. — 6. Les toitures terrasses en maçonnerie. — 7. Les toitures métalliques avec étanchéité. — 8. Les toitures avec étanchéité sur bois. — 9. L'étanchéité en montagne. — 10. La réalisation des travaux. — 11. Les règles de qualité. — 12. Rappel d'hygrothermique.