

Façades et carbonatation

Faux problèmes, vraies solutions (fin)¹

Par Erik Langlo, ingénieur civil dipl. EPFZ/SIA-ASIC, Corinne van Cauwenbergh, ingénieur industriel en construction SIA, Perreten & Milleret SA, rue Jacques-Grasselin 21, 1227 Carouge

Pour certains bâtiments, le concept d'assainissement peut être élaboré dans le cadre d'une étude globale de réfection ou d'amélioration. C'est ainsi que la pose d'une isolation extérieure recouverte d'un crépi ou d'un bardage permettrait de pallier le trop faible recouvrement des armatures tout en améliorant la thermique du bâtiment. Ainsi, l'impact de l'assainissement sur le second œuvre doit faire l'objet d'une étude suffisamment approfondie. En effet, la pose d'une isolation modifiera l'architecture et l'esthétique du bâtiment, aura une incidence sur la régulation du chauffage, voire même sur la chaufferie et exigera l'étude soignée des risques de ponts thermiques ou de zones de condensation.

Ainsi, une quatrième solution d'assainissement-réfection envisageable est celle du remplacement des parapets de balcon par des panneaux fixes ou mobiles, vitrés, transformant les balcons en loggias, agrandissant du même coup la surface habitable des appartements et améliorant l'enveloppe thermique du bâtiment.

Dès lors, on comprend aisément qu'une telle étude d'assainissement ne peut être conçue sans recourir à une équipe pluridisciplinaire appropriée.

L'évaluation des avantages et inconvénients des produits proposés et le choix du concept d'assainissement le mieux adapté aboutissent à l'établissement d'un devis qui permettra au maître de l'ouvrage d'apprécier les conséquences financières du projet.

3. Etablissement d'une soumission et mise au concours

La dernière étape menant à la réalisation n'est certes pas moins importante que les deux premières.

Quel que soit le mode d'intervention choisi, l'exécution doit être soigneusement réalisée par une entreprise compétente. Il faut donc que les travaux soient au préalable clairement définis et que la qualité des produits à mettre en œuvre soit bien spécifiée. Il est encore possible qu'une entreprise propose une variante quant à la

méthode de réalisation ou quant aux produits à utiliser. L'ingénieur devra alors étudier l'influence de cette variante en tenant compte des critères définis par le maître de l'ouvrage lors de l'élaboration du concept d'assainissement.

La comparaison des offres peut faire apparaître des coûts suspects (trop faibles, surtout dans le contexte économique actuel) qui laisseraient présager d'une mauvaise réalisation ou de l'emploi de matériaux non conformes à ceux exigés dans la soumission. A l'inverse, le plus cher n'est pas nécessairement le meilleur. C'est pourquoi, le coût ne peut pas être le seul critère pour le choix d'une entreprise.

Si les travaux doivent se dérouler en plusieurs phases successives ou si certains d'entre eux ne peuvent être exécutés que sous certaines conditions climatiques, un planning sera élaboré en collaboration avec le maître de l'ouvrage et l'entrepreneur, afin d'assurer une bonne coordination des travaux. C'est presque une lapalissade, mais il n'est pas rare de voir des échafaudages attendant des jours meilleurs parce que les travaux ont débuté trop tard.

Prévention

Si la carbonatation a un effet positif sur le béton, il faut toutefois, pour éviter des dommages, faire en sorte que le front de carbonatation n'atteigne pas les armatures. La nouvelle norme SIA va dans ce sens en imposant un recouvrement minimal des armatures de 30 mm, voire plus. Mais ce n'est pas là le seul critère en jeu, et afin de protéger efficacement les armatures, on restera attentif aux impératifs énumérés ci-après.

Lors de la conception de l'ouvrage:

- prévoir des épaisseurs de murs et de piliers suffisantes pour éviter une désagrégation du béton lors du coulage et pour assurer un compactage suffisant;
- tenir compte des éléments architecturaux placés en fond de coffrage comme des gouttes pendantes afin de maintenir en tous points le recouvrement minimal des armatures sous-jacentes;

- éviter les stagnations d'eau et favoriser des écoulements faciles d'accès et d'entretien;
- éviter les coulures d'eau sous les fenêtres et saillies;
- maîtriser les formations de filets d'eau de ruissellement et leur cheminement afin d'éviter des salissures excessives.

Lors de la réalisation et de la mise en œuvre:

- utiliser les adjuvants-fluidifiants pour augmenter la fluidité du béton tout en conservant un rapport E/C correct;
- choisir une teneur en ciment adéquate;
- assurer un traitement de cure du béton approprié aux conditions réunies lors de la fabrication;
- adapter la disposition et le diamètre des armatures afin de permettre une répartition homogène du béton;
- préconiser les écarteurs adaptés pour maintenir les armatures à la distance voulue du coffrage;
- tenir compte des éventuels traitements de surface des éléments en béton afin de toujours maintenir le recouvrement minimal des armatures.

L'emploi d'éléments préfabriqués se généralise et fait appel à des bétons particuliers de par le choix des granulats, du ciment et des pigments afin de répondre à des critères architecturaux spécifiques. Chaque mélange de ces composants mènera à des caractéristiques propres du béton, qui sont parfois modifiées en phase finale par des traitements de surface tels que le sablage ou le lavage à l'acide. Par des essais de carbonatation accélérée, le comportement du béton peut être étudié. Ces essais peuvent être utilisés afin de déterminer la composition du mélange en fonction de la qualité du béton et non pas seulement selon des critères esthétiques.

La figure 6 montre les résultats de la carbonatation sur des échantillons confectionnés avant la fabrication en série d'éléments de façade. De ces tests, il résulte que le béton élaboré a une excellente résistance à la carbonatation. De tels tests devraient être exigés et répétés sur des carottes pré-

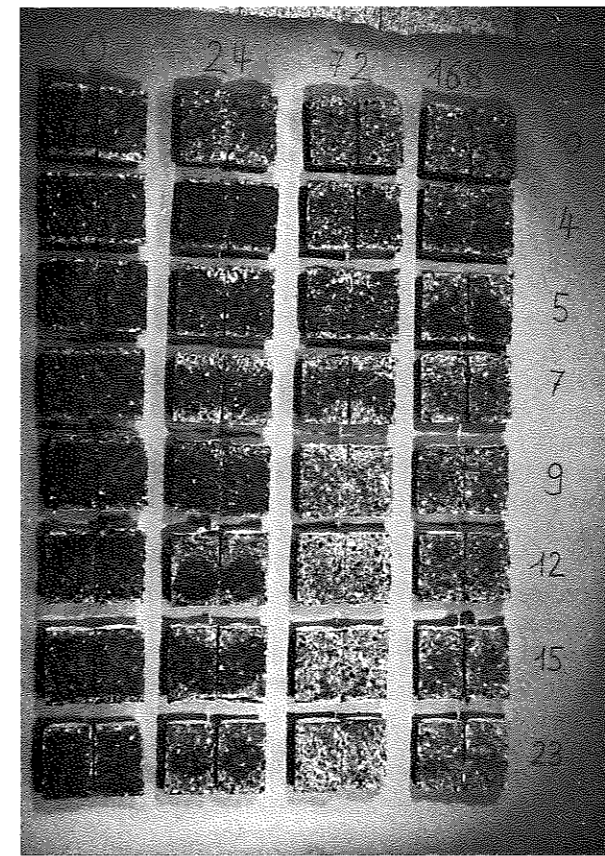


Fig. 6. - Profondeur de carbonatation déterminée à l'aide d'un indicateur d'alcalinité après 0, 24, 72 et 168 heures d'essais de carbonatation accélérée sur des carottes de béton enduites d'une protection en parties supérieure et inférieure (l'indicateur vire au rouge quand le pH du béton est supérieur à 9 et est donc alcalin)

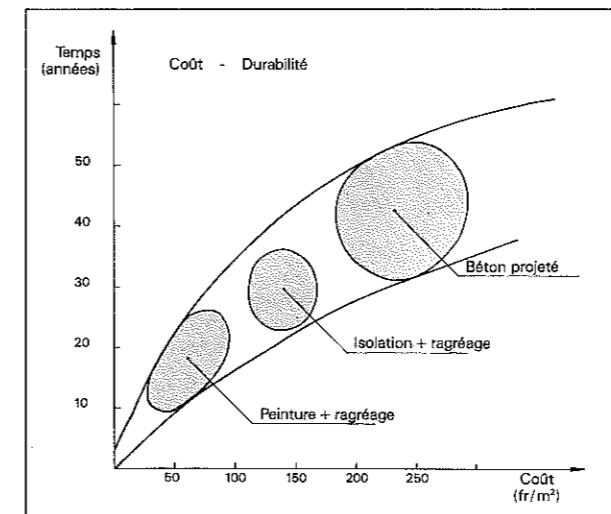


Fig. 7. - Relation coût-durabilité de l'assainissement

levées ou sur des échantillons coulés avec les éléments préfabriqués afin de confirmer la bonne qualité du béton en cours de préfabrication. On peut même aller plus loin dans le contrôle de l'exécution en prévoyant des essais de carbonatation accélérée pour les éléments de façade comme on exige des essais de compression sur cube pour les dalles. Lorsque les résultats de tels tests montrent une profondeur de carbonatation élevée, le risque de dégrada-

tion peut être minimisé par l'application d'un enduit incolore réduisant la perméabilité du béton. Une telle mesure préventive est nécessaire dès qu'un risque d'altération prématurée est reconnu. Ce risque existe du moment qu'il y a des dérogations par rapport à la norme (défaut de recouvrement) ou des écarts de l'état de consigne relatifs à la durabilité, la qualité ou autres propriétés laissant présumer le développement de dommages.

Se pose alors le problème de l'entretien des façades. De plus en plus, le caractère esthétique des façades est valorisé. Différents pigments viennent au secours des architectes qui veulent s'écarter des façades en béton gris brut de décoffrage. Certaines réalisations genevoises de ces dernières années se trouvent dans des zones urbaines à haute densité de trafic. En plus des problèmes liés à la pollution atmosphérique (teneurs en CO₂, SO₂, ...), ces façades vont vieillir et se salir. Cet aspect de l'entretien doit être pris en considération dès la phase d'étude de l'ouvrage. La bonne conception de certains détails et l'application d'enduit de surface réduisant la porosité du béton tout en sauvegardant sa perméabilité à la vapeur d'eau permettent certainement de réduire le coût de la maintenance et de l'entretien de la façade.

Coût et durabilité

Jusqu'ici la question du coût n'a pas été abordée alors que c'est certainement un facteur important dans le choix d'une solution d'assainissement. La vraie question n'est en réalité pas «combien?» mais «combien de francs pour combien de temps?». Dans la plupart des cas d'assainissement, la mise en place d'échafaudages représente une part importante du coût des travaux à entreprendre. Il est donc évident que l'on aura intérêt à coordonner des travaux d'assainissement pour cause de carbonatation à d'autres travaux de rénovation ou d'entretien de façade afin de répartir l'impact des frais d'échafaudage. Sans tenir compte de ces frais, on peut essayer de tracer une courbe du coût de l'assainissement propre à la

carbonatation par rapport à la durabilité (fig. 7). Selon l'expérience des chantiers et les estimations des travaux que nous avons réalisés, nous discernons trois nuages de points.

Le premier concerne l'assainissement par dégagement et traitement des armatures, ragréage au mortier et application d'une peinture anticarbonatation. Le coût de cet assainissement que l'on peut qualifier de ponctuel, dépend bien sûr de la quantité d'armatures qu'il faut traiter mais aussi de l'objet à traiter. La présence de trous dans les parapets de balcons des tours de Carouge rend cette solution plus difficile à exécuter et donc plus onéreuse.

Si l'exécution des travaux est soignée, la durabilité peut être estimée à une quinzaine d'années pour une «bonne» peinture. Au-delà, il est possible que de nouveaux défauts se manifestent, vu que l'armature reste proche de la surface et que la peinture ne peut pas être complètement étanche.

Le second nuage de points concerne le même type d'assainissement mais au lieu d'appliquer une peinture, on applique une isolation thermique recouverte d'un crépi.

Cet assainissement est plus onéreux, car d'une part, la pose d'isolation est plus chère que l'application d'une peinture, et d'autre part, elle nécessite souvent la modification de ferblanterie voire même de cadres de fenêtres ou de portes. La durabilité de l'assainissement est celle de l'isolation et de son crépi, elle peut être estimée à vingt-vingt-cinq ans après quoi le crépi devra être restauré. En revanche, le risque de nouvelles dégradations par carbonatation est pratiquement nul.

Le troisième nuage concerne l'assainissement par béton projeté qui permet de reconstituer un recouvrement général des armatures de bonne qualité d'au moins 20 à 30 mm. Cet assainissement nécessite une installation de chantier plus importante et la réalisation est plus difficile. Toutefois, l'investissement de départ est à amortir sur environ cinquante ans. Cette solution offre certainement la plus grande garantie à long terme vu que l'enrobage suffisant des armatures est

¹ Voir IAS N° 12/92, p. 242

reconstitué. Du point de vue de l'entretien et de l'esthétique, l'on retrouve la longévité d'une peinture ou d'un crépi traditionnel.

Pour la quatrième méthode d'assainissement évoquée plus haut qui consiste à démolir et reconstruire, la relation coût-durabilité doit être déterminée cas par cas car elle dépend des considérations et techniques propres à chaque bâtiment.

Quel que soit le mode d'assainissement préconisé, la durabilité dépend fortement de la qualité des matériaux et de leur mise en œuvre, mais aussi de la qualité d'un travail qui pousse suffisamment loin le dégagement et le traitement des armatures, afin d'éviter l'apparition d'autres points de corrosion après quelques années.

Maintenance

Les propriétaires ou les responsables de la gérance d'ouvrages sont de plus en plus confrontés aux problèmes de maintenance et d'entretien. Ils se trouvent bien souvent démunis devant la variété des propositions demandées directement aux entreprises.

Dans le meilleur des cas, le bureau d'ingénieur qui a construit le bâtiment existe encore et peut ressortir les plans de la structure. Mais bien souvent, tous les documents ont disparu ou des transformations ultérieures ont rendu les plans de construction complètement caducs. Il devient alors plus délicat de déterminer quand et comment il faut agir pour maintenir le bâtiment dans un état satisfaisant.

La nouvelle norme SIA 160 exige la rédaction d'un plan d'utilisation et de sécurité du bâtiment. Ces documents «d'assurance qualité», accompagnés des plans d'exécution, permettront facilement d'apprécier la statique du bâtiment.

C'est un premier outil pour le propriétaire qui sera utile dans les cas de réfection ou de transformation.

Un autre outil serait un plan de maintenance. En effet, les matériaux vieillissent et il s'avère nécessaire de rendre le propriétaire attentif à l'entretien de son bâtiment.

On sait que les joints de dilatation ont une durée de vie d'environ dix ans, que l'étanchéité peut se dégrader, que

les peintures vieillissent sous l'action des rayons ultra-violet et que des parapets ou barrières métalliques peuvent se corroder, sans compter les dégradations accidentelles dues à des chocs, des mises en charge excessives ou des conditions climatiques exceptionnelles. Sans trop vouloir caricaturer, il arrive parfois qu'une étanchéité soit refaite et qu'un an après, la réfection du bâtiment nécessite la reprise de cette même étanchéité ou encore qu'une réfection de crépi soit exécutée, sans éliminer la cause des dégradations qui est le décollement d'un joint de dilatation.

Un contrôle périodique permet de dresser un bilan complet de l'état et du comportement de l'ouvrage afin de déceler et de mettre en évidence, à temps, toute dégradation et tout défaut pouvant entraîner des dégâts importants. Ce contrôle doit faire l'objet d'un rapport sur l'état du bâtiment et être incorporé au dossier de maintenance. Le résultat de cette surveillance dictera la nature et l'ampleur de l'entretien.

Tous les travaux d'entretien du bâtiment doivent également être consignés dans un rapport qui sera incorporé au dossier de maintenance. Ce rapport comporte tous les éléments caractéristiques sur la nature et l'ampleur des travaux exécutés.

Ce type de dossier de maintenance existe déjà pour les ouvrages d'art selon la norme SIA 169. Pourquoi ne pas en créer un similaire pour les bâtiments?

En conclusion

Nous avons évoqué quelques solutions d'assainissement et vu qu'il importe de procéder avec méthode, pour aboutir à la solution qui satisfasse au mieux tant les critères financiers et économiques, que techniques et esthétiques.

Pour un projet d'assainissement, il n'est pas raisonnable de se contenter de laisser aux seuls entrepreneurs le choix d'un procédé, choix dicté la plupart du temps par des accords passés avec les fournisseurs de peinture ou d'enduits.

Le recours à un architecte-conseil est indispensable dans tous les cas où

un procédé d'assainissement implique une modification importante de l'esthétique d'une façade. L'architecte ne dispose néanmoins généralement pas de connaissances techniques suffisantes pour évaluer seul les avantages et les inconvénients de différents produits ou différentes solutions.

Nous préconisons donc le recours à une équipe pluridisciplinaire pilotée par un bureau d'ingénierie spécialisé. Dès le début de l'étude d'assainissement, un dialogue permanent entre le mandataire et le maître d'ouvrage devra s'instaurer afin que ce dernier puisse prendre les décisions nécessaires à l'avancement des études, avant et pendant la réalisation de l'assainissement.

Par ailleurs, il ne faut pas négliger le fait que les travaux d'assainissement sont bien souvent réalisés sur un bâtiment en exploitation. Ce fait peut déterminer le choix de la solution et le déroulement des travaux.

Nous ne sommes bien sûr pas à l'abri de certaines surprises en cours d'exécution, mais celles-ci seront minimisées, si tant l'étude que les sondages ou analyses auxquels elle recourt, ont été réalisés de façon rigoureuse et systématique.

Bibliographie

- MERMINOD Ch.: «Les méfaits de la carbonatation du béton et ses remèdes», *Chantier* N° 2, 1981
- MERMINOD Ch.: «Un risque méconnu: la détérioration du béton armé par la carbonatation», *Ingénieurs et architectes suisses* N° 7/80
- KLOPFER H.: «Die Carbonatisierung von Sichtbeton und ihre Bekämpfung», *Bautenschutz + Bausanierung*, 1/1978
- RUFFERT G.: «Unterhaltung von Fassaden aus Stahlbeton», *Bautenschutz + Bausanierung*, 2/1982
- VENUAT M.: «Relation entre la carbonatation du béton et les phénomènes de corrosion des armatures du béton», *ITBTP*, 9/1978
- OCHSNER W., HARRIS J., SEMET W., STÖCKLI F.: «Das Wesen des Betons und sein Schutz gegen Umwelteinflüsse», *Bautenschutz + Bausanierung*, 3/1985
- «Durabilité du béton armé» *Documentation SIA 89* - 3.1985
- LACHAUD R., SALOMON M.: «Les altérations des bétons», *ITBTP*, 10/1984
- WOOD J.: «Désordres provoqués par la réaction alcali-granulats dans les ouvrages en béton armé», *ITBTP*, 11/1988