

L'église Saint-Vincent, Robert Toussaint, Liège, 1930. © A. Gillard

LE BÉTON A POSTERIORI

FOCUS SUR LES ASPECTS DE CONSERVATION ET RESTAURATION D'UN MATÉRIAU QUI SE LIVRE ENCORE

VANTÉ POUR SES QUALITÉS MÉCANIQUES ET RECONNU POUR SON INTÉRÊT ESTHÉTIQUE, LE BÉTON N'A POURTANT PAS TOUJOURS UN COMPORTEMENT IRRÉPROCHABLE. AFIN DE PRÉSENTER AU MIEUX SES PRINCIPALES PATHOLOGIES – GÉNÉRALEMENT LIÉES À SA QUALITÉ OU À SA MISE EN ŒUVRE – AINSI QUE LES ASPECTS DE CONSERVATION ET DE RESTAURATION, LES « NOUVELLES DU PATRIMOINE » ONT LAISSÉ LA PAROLE À UN PROFESSIONNEL. LUC COURARD EST INGÉNIEUR ET DOCTEUR EN SCIENCES APPLIQUÉES, SPÉCIALISÉ DANS L'ÉTUDE DES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION. IL EST CHERCHEUR AU SEIN DU DÉPARTEMENT ARGENCO¹ DE LA FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES DE L'ULG, OÙ IL EST ÉGALEMENT PROFESSEUR.

Lorsque l'on évoque les pathologies dont souffre le béton, la carbonatation est régulièrement citée. En quoi consiste ce phénomène ?

Globalement, on peut estimer que le matériau béton est durable mais des pathologies spécifiques peuvent apparaître des années après sa mise en œuvre. C'est le cas du phénomène de carbonatation. Le principe de base du béton armé est d'allier les propriétés du béton et de l'acier, l'un résistant très bien à la compression et l'autre résistant mieux à la traction. Leur mariage est parfait car ils ont le même comportement face à la température, notamment. Par ailleurs, le béton apporte un effet dit de passivation pour les armatures en acier. Plongées dans le béton, elles sont protégées contre la corrosion. En termes chimiques, le pH est de 12 ou 13 à l'intérieur du béton, ce qui permet cette passivation. La réaction de carbonatation – entre la chaux présente dans le béton et le CO² de l'air – fait chuter ce pH, rendant l'environnement moins alcalin. À partir d'un pH de 9 ou 10, l'acier n'est plus protégé et le processus de rouille se remet en marche. En gonflant, la rouille provoque à terme l'éclatement du béton. C'est pourquoi on observe régulièrement des morceaux de béton détachés – des épaufrures – laissant les armatures apparentes et d'autant plus vulnérables.

1. Architecture, Géologie, Environnement et Constructions.

Comment peut-on remédier à ce problème ?

Une première série de mesures concerne les traitements préventifs. La plus simple consiste à placer l'armature suffisamment loin de la surface du béton –4 à 5 cm– pour que le temps nécessaire au front de carbonatation pour l'atteindre soit très long. Une deuxième mesure est l'utilisation d'un béton de bonne qualité. En effet, pour qu'il y ait carbonatation, le CO² présent dans l'air doit réagir avec la chaux du béton. Si le matériau est très compact, le CO² ne pénètre pas –ou du moins très lentement– ce qui ralentit considérablement le mécanisme. Enfin, un matériau faisant barrière au CO² –une peinture respirante– peut être placé à la surface du béton, en veillant à ne pas y enfermer l'humidité. Par ailleurs, d'autres techniques plus intrusives peuvent être utilisées lorsque le mal est déjà fait. Il s'agit alors de protéger l'armature à l'aide d'une peinture anticorrosion, qui empêche l'acier d'entrer en contact avec l'oxygène et l'humidité. Ensuite, ces armatures sont recouvertes d'un béton de bonne qualité, voire de mortiers qui contiennent des polymères –appelés liants hydrauliques modifiés– qui servent eux aussi à «fermer» au maximum le béton.

En dehors de ce phénomène important, quelles sont les autres pathologies dont souffre le béton ?

Un deuxième mécanisme de dégradation, fort semblable, est l'attaque par les chlorures –acides qui attaquent également les armatures– qui peuvent provenir de différents environnements. Le plus agressif est l'environnement marin car l'eau de mer et le brouillard salin contiennent des sels chargés en chlorures. On retrouve aussi le phénomène à l'intérieur des terres, où les chlorures proviennent des sels de déverglaçage. Les bâtiments touchés par des projections d'eau contenant ces sels peuvent présenter des problèmes de corrosion. Par ailleurs, à une époque où l'on ne connaissait pas les risques qu'ils représentaient, des chlorures de calcium étaient placés dans les bétons comme accélérateurs de prise. Cette technique était utilisée jusqu'il y a une vingtaine d'années. Ces altérations apparaissent aujourd'hui comme une série de bombes à retardement. Dès qu'il y a un contact avec l'humidité, l'eau peut remettre en solution les chlorures à l'intérieur du béton et provoquer l'attaque des armatures. Dans ce cas, aucun traitement n'est possible puisqu'ils sont déjà présents à l'intérieur du béton. Certains sables ou granulats de mer –qui entrent dans la composition du béton– peuvent également contaminer le matériau. Les désintégrations du béton, notamment sous l'effet du gel et du dégel, représentent une autre catégorie de dégradation. À nouveau, le phénomène est lié à la présence d'eau dans les bétons. En gelant, elle gonfle et provoque l'éclatement. Dans d'autres cas, la désintégration est provoquée par le contact avec les eaux usées ou les sols contenant des sulfates. Un dernier mécanisme important de désintégration provient des réactions alcali-granulats.

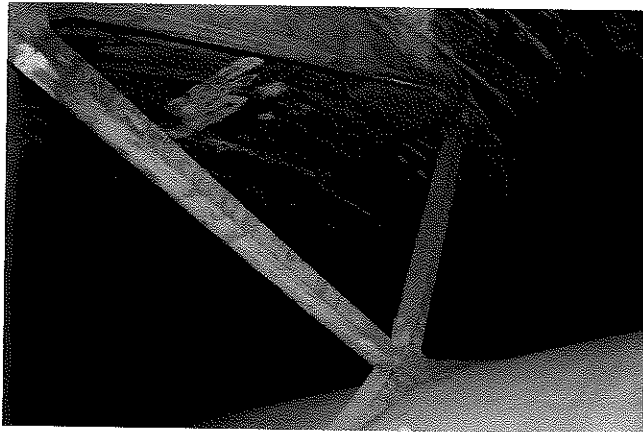
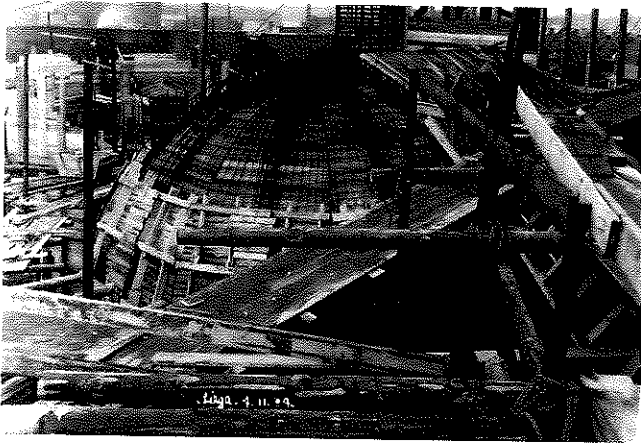
Celles-ci résultent, en présence d'humidité, des réactions chimiques entre les alcalins du ciment et certaines formes de silices réactives des granulats, provoquant également un gonflement du béton.

Les constructions en béton apparaissent comme des terrains d'expérimentations permanents, puisque le comportement physico-chimique du matériau n'est pas prévisible. Avec le recul par rapport aux premiers bétons, quelles leçons ont été tirées ?

Il n'est absolument pas question d'associer béton ancien et béton de mauvaise qualité. Certaines constructions résistent encore très bien aujourd'hui. C'est particulièrement le cas de celles en béton plus massif, utilisant des granulats de grandes dimensions et un béton bien compacté. Les investigations en laboratoire démontrent que de nombreux bétons réalisés au début du XX^e siècle sont d'excellente qualité. Les premières constructions ne comptaient pas trop sur le renfort des armatures. Les sections de béton étaient suffisamment épaisses pour résister. Par la suite, de grandes figures comme Hennebique, ont permis le développement du béton armé et précontraint. Dès lors, la section des éléments en béton a pu être diminuée, de façon à réduire le poids. À l'origine de l'utilisation des armatures, les problèmes liés à la corrosion, à la carbonatation et à l'utilisation d'adjuvants chlorés n'étaient pas encore connus. Il en a résulté une série de déboires, que l'on découvre encore aujourd'hui puisque la durée de vie d'une construction en béton avoisine les 50 à 60 ans. Par ailleurs, on a énormément (re)construit en béton après la Seconde Guerre mondiale –parfois très (trop) vite– et la mise en œuvre a été certainement moins soignée. En effet, contrairement à d'autres matériaux, le béton est coulé sur chantier, ce qui constitue justement l'une de ses qualités mais aussi l'un de ses défauts. De nombreuses formes sont réalisables mais la qualité dépend fortement des conditions de mise en œuvre –qualité de la main-d'œuvre, du coffrage, de l'environnement. Beaucoup de paramètres extérieurs peuvent amoindrir la qualité d'un matériau.

Face à ces constats, dans quelle direction les recherches et les évolutions techniques actuelles s'orientent-elles ?

Cela fait plusieurs années que le béton n'est plus seulement constitué des 4 éléments principaux –eau, ciment, sable et granulats– mais aussi d'adjuvants et d'additions minérales, afin d'en améliorer les qualités. L'objectif est d'avoir un béton durable donc très compact. Cependant, l'écoulement d'un béton très serré est difficile. La résolution de ce problème est délicate. En effet, il s'agit de trouver l'équilibre entre fluidité –permettant l'écoulement dans le coffrage– tout en évitant un excès d'eau –qui nuit à la durabilité et à la résistance du béton. Quelques tendances se dessinent donc. La préfabrication en usine permet de ne plus dépendre des conditions de chantier. Les techniques de mise en œuvre sont mieux maîtrisées, comme pour le coffrage vibrant. Le principe général est la



Église Saint-Vincent, Liège, le dôme en construction (1929) et vue des deux voûtes reliées par un treillis triangulé © A. Gillard

vibration de l'entièreté de la structure, ce qui entraîne une mise en place plus rapide et plus efficace du béton. On peut dès lors fabriquer des bétons contenant moins d'eau. Par ailleurs, la préfabrication a les effets positifs que l'on peut imaginer sur l'environnement. Une autre tendance est le béton autocompactant, qui est mis en œuvre sans vibration ; il s'écoule comme un liquide. Ces bétons utilisent des adjuvants de la famille des super-plastifiants, produits chimiques qui jouent le rôle fluidifiant de l'eau. Ils ne la remplacent pas entièrement mais ils en réduisent l'excédent. La plupart des grands ouvrages actuels sont réalisés avec ce type de béton.

Dans le cas du patrimoine, la façon d'aborder un bâtiment est-elle particulière ? Y a-t-il un impact sur la philosophie de restauration ?

Pour ma part, j'aborde les bâtiments en tant que spécialiste du matériau. Pour tout ouvrage, la première étape est l'établissement d'un état des lieux, comprenant une inspection visuelle de l'ensemble du bâtiment. Celle-ci permet de définir diverses techniques –plus ou moins destructives– à mettre en œuvre pour analyser plus en profondeur l'état sanitaire et la capacité résiduelle de

résistance d'un béton. Dans le cas d'un ouvrage patrimonial, on tente forcément d'être le moins invasif possible. Il n'est pas permis de prélever trop d'échantillons. Il s'agit donc d'être le plus attentif possible à la définition des zones de prélèvement, qui altèreront au minimum l'aspect esthétique du monument. Les techniques non destructives permettent d'avoir une idée d'ensemble de la qualité des bétons mais elles ne remplaceront jamais les techniques d'analyse chimique. Il est primordial de bien connaître la composition et les proportions du béton d'origine, afin de travailler avec des matériaux possédant des propriétés semblables. Les comportements mécaniques et physiques des bétons doivent être comparables afin d'éviter fissurations et déformations diverses. Pour le reste, le choix d'une philosophie de restauration –à l'identique ou témoignant des stigmates du temps– appartient à l'architecte qui est le seul maître d'œuvre. Le travail du spécialiste des matériaux se cantonne à l'étude et à l'analyse. Quelque part, cette situation est regrettable car le travail d'équipe est essentiel à la bonne conduite d'un projet de restauration. Les mentalités devraient évoluer dans ce sens, notamment grâce à la mise en place de formations interdisciplinaires.

Pour conclure, pourriez-vous nous présenter un cas d'étude qui vous a particulièrement marqué ?

En 2010, avec une étudiante, Anne Gillard, nous avons réalisé des investigations sur le patrimoine religieux en béton dans l'arrondissement de Liège, sur base d'un petit inventaire. Dans ce cadre, nous nous sommes attachés à l'étude de l'église Saint-Vincent, monument emblématique situé au confluent de l'Ourthe et de la Meuse. Cet ouvrage datant de 1930 a été conçu et réalisé par Robert Toussaint, dont il s'agissait de l'un des premiers bâtiments. Il a retenu notre attention car sa structure double est tout à fait particulière. Une première voûte est recouverte d'une seconde, qui constitue le toit, les deux étant reliées par un treillis triangulé en béton armé. C'est une technique innovante et remarquable, tant au niveau de la conception que de la rapidité d'exécution d'environ 3 ans. En analysant les prélèvements de béton et en consultant les archives du GAR asbl², il est apparu que le mortier utilisé est très particulier. Il s'agit de pierre armée Pauchot, un mortier renforcé par un treillis spécifique en acier. Aujourd'hui, à l'endroit des épaufrures, ce treillis est apparent. Le mortier est de bonne qualité mais l'ouvrage est touché par le phénomène de carbonatation expliqué précédemment. Le bâtiment ne risque pas de s'écrouler mais la menace physique est réelle puisque des morceaux de bétons sont toujours susceptibles de se détacher et de tomber. Cet ouvrage constitue en quelque sorte un coup de cœur car il est symbolique d'une époque, il est original par son style néo-byzantin et il exploite avec charme les propriétés du béton armé³.

Propos recueillis par Florence Mercier

2. Groupe d'Ateliers de Recherche.

3. Voir Courard L., Gillard A., Paquet P., *Churches and concrete in Liège district ; history, architecture and pathologies*, in *Restoration of Buildings and Monuments*, vol. 17, n° 1, 2011, p. 3-13.