**Corsetage des ponts métalliques patrimoniaux**

**Une équipe de l'Empa sauve des ponts ferroviaires du XIXe siècle menacés par la ruine en les consolidant par des plaques de "fibres de carbone". Un pont ferroviaire suisse et un pont routier australien ont déjà été renforcés de la sorte. Beaucoup d'autres pourraient suivre. L'un des partenaires de l'équipe est spécialiste de la fatigue de l'acier à l'EPFL.**

Texte: Rainer Klose

Faire durer plutôt que s'en débarrasser! Cela ne vaut pas que pour les villas Art nouveau, les voitures d'avant-guerre ou les orgues Hammond des années 50. Faire durer plutôt que jeter à la ferraille est aussi une bonne idée pour les anciens ponts ferroviaires ou routiers. Les monuments industriels, souvent conçus et calculés par des ingénieurs en constructions métalliques du XIXe siècle, se font doucement manger par la rouille ou craquent des articulations sous les convois Intercity et les poids lourds.

La bonne nouvelle est qu'on peut les sauver en les corsetant de plaques de polymères renforcés de fibres de carbone (PRFC), une technique respectant les exigences de la protection des monuments et parfaitement réversible. Ainsi consolidés, ces ouvrages retrouvent toute leur résistance et assurent jour après jour leur fonction.

Masoud Motavalli et Elyas Ghafoori ont déjà consolidé deux anciens ponts par cette méthode comparativement douce: le pont ferroviaire de Münchenstein près de Bâle, datant de 1892, et le pont routier de Diamond-Creek en Australie, datant de 1896. Si leur système reçoit un bon accueil au niveau mondial, le travail ne manquera pas: en Europe, près de 30% des ponts ont plus de 100 ans. De même aux États-Unis, en Australie et au Japon. Partout, les autorités et les compagnies de chemins de fer cherchent à les maintenir opérationnels. La solution se trouve peut-être à l'Empa. Le laboratoire a pour partenaire de recherche Alain Nussbaumer qui, à l'EPFL, étudie la fatigue et la rupture des structures en acier. Nussbaumer dirige également plusieurs travaux de doctorat en cours sur cette question à l'Empa.

Les PRFC s'imposent souvent comme la solution idoine à ce type de problèmes. Ils résistent à la corrosion et ne sont pas sujets à la fatigue; d'autre part, étant légers, ils ne surchargent pas l'ouvrage comme le font les pièces de renforcements en acier. Dans les années 1990, sous la direction de son ancien directeur Urs Meier, l'Empa a acquis une riche expérience dans le renforcement des constructions de bois et de béton par PRFC.

Cependant, alors qu'il est simple de coller des plaques de PRFC sur les structures de bois ou de béton, tout est moins simple avec des porteurs en acier. Il sont fréquemment rouillés ou couverts d'épaisses couches de peinture, sans compter les rivets qui viennent compliquer la tâche. Ghafoori contourne le problème en ne cherchant pas à coller les plaques sur les éléments de l'ouvrage mais en les y ancrant. Ce qui économise le ponçage (jusqu'au métal) d'importantes surfaces. En outre, l'ouvrage peut rester en service durant les travaux. Il n'est pas besoin de l'envelopper d'une feuille anti-poussière, comme c'est souvent le cas pour les ponts franchissant un cours d'eau en raison des écailles de peinture aux métaux lourds qui y tomberaient immanquablement.

La pose des pièces d'ancrage des plaques de Ghafoori s'avère délicate. «Il est essentiel que, lors de leur fixation, les fibres de carbone ne soient pas rompues», remarque-t-il. L'Empa étudie cette technique depuis plus de dix ans et effectue ses essais avec les lourdes presses hydrauliques de la grande halle. Le bureau dans lequel Ghafoori rédige ses publications se trouve un étage plus haut. «Au début, cela n'a pas été facile, se souvient-il. En 2009, lorsque, dans le cadre de mon travail de thèse, j'ai soumis mes ancrages à un essai en traction, ils ont lâché pendant la nuit. Ce qui ne m'a pas vraiment valu le respect de mes collègues. On m'a même interdit quelques jours de fréquenter le laboratoire, mon travail semblait trop dangereux.»

Le système d'ancrage développé à l'Empa est maintenant protégé par un brevet et a largement fait se preuves: le pont de Münchenstein est consolidé depuis 2015 aux PRFC à fibres précontraintes. Jour après jour, plusieurs douzaines de trains de voyageurs ou de marchandises empruntent l'ouvrage historique. Un système de surveillance à long terme composé d'un réseau de capteurs sans fil mesure la charge et les mouvements des différentes parties du pont et envoie ces données à l'Empa en temps réel.

Le projet, également sujet de la thèse de doctorat de Ghafoori, a rapidement fait le tour des spécialistes. En 2018, un pont australien du même type et vieux de 122 ans, le pont de Diamond-Creek près de Melbourne, a été consolidé par la même technique. «Depuis Münchenstein, nous avons fait des progrès», remarque Ghafoori. La forme des ancrages a été améliorée et tout le dispositif a gagné en finesse. C'est important par exemple lorsque des poids lourds circulent sous le pont. Si le dispositif réduit trop le gabarit de passage, il pourrait être heurté par un chargement. L'équipe a en outre intégré à ses calculs les fluctuations de températures été-hiver, les mesures faites à Münchenstein ayant montré que le raidissement du pont par les plaques était sensiblement plus important les chaudes journées d'été qu'en hiver. La raison: la chaleur dilate l'ouvrage alors que les plaques de fibres de carbone n'y sont que peu sensibles. Le corset se fait plus contraignant qu'en hiver.

Renforcé en janvier 2018, le pont de Diamond-Creek est également équipé de capteurs de charge dont les mesures seront transmises en ligne à l'Empa au moins une année et demi. Pour contrôler l'effet du dispositif, les chercheurs ont fait rouler un tracteur à remorque de 42 tonnes sur le pont avant et après l'intervention. «Les premières données montrent que les forces exercées sur l'ancienne structure sont réduites de moitié, confirme Ghafoori. On peut en déduire que le pont restera encore en service deux fois plus longtemps que sans le dispositif.»

Ghafoori et Motavalli reçoivent un nombre toujours croissant de visiteurs étrangers. L'institut français de recherche sur les transports IFSTTAR, le centre français d'étude de la mobilité CEREMA et une délégation chinoise se sont annoncés, alors qu'une délégation étatsunienne s'est déjà rendue à l'Empa. La technique est applicable sans grands frais dans toutes les régions du globe. «Pour le pont australien, nous avons prémonté les agrafes et les plaques de PRFC chez nous, à l'Empa, nous les avons testées puis envoyées en Australie par colis postal, raconte Ghafoori. Il ne nous est plus resté qu'à prendre l'avion et monter le tout sur place.»

Les chercheurs n'ont pas l'intention d'en rester là. Après avoir renforcé des porteurs métalliques en poutres droites, ils étudient actuellement le renforcement des éléments de liaison en X entre porteurs. C'est là, entre cordons de soudure et joints de liaison que la rouille aime se loger et que l'on observe des fissures de fatigue menaçant l'ouvrage. Un nouveau système de bandes de PRFC pourrait bientôt résoudre le problème. Bien des ponts métalliques du XIXe siècle pourraient ainsi bénéficier d'une nouvelle vie et, finalement, survivre à bien des ouvrages plus jeunes en béton armé.