

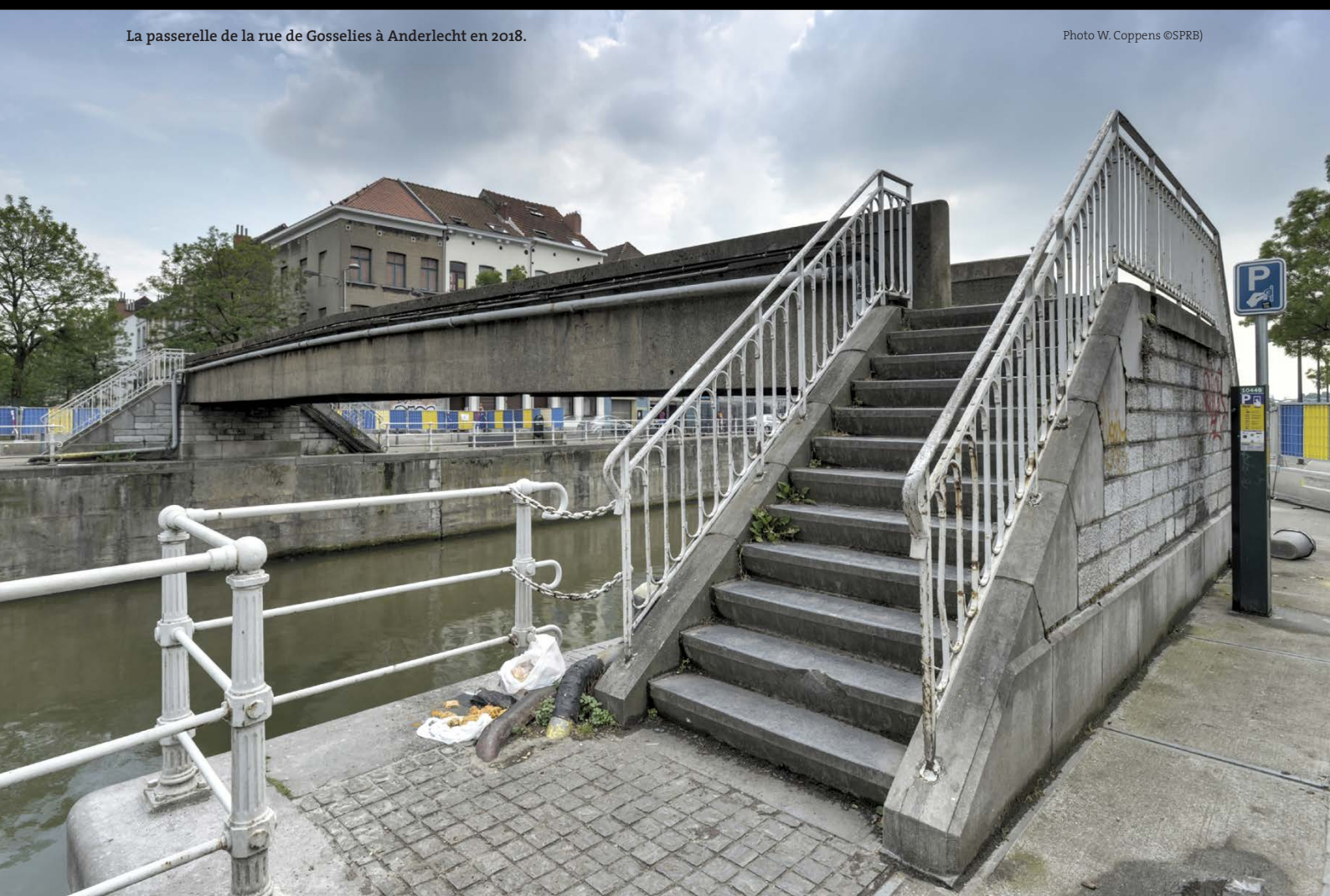
Regard sur le béton

DESTRUCTION EXPÉRIMENTALE DE LA PREMIÈRE PASSERELLE BELGE EN BÉTON PRÉCONTRAIT

La passerelle enjambant le canal Charleroi-Bruxelles, rue de Gosselies à Anderlecht, datant de 1944 a été remplacée en mars 2019, pour des raisons d'augmentation du tirant d'air du trafic fluvial et de mobilité des piétons et des cyclistes, par une nouvelle passerelle levante.

La passerelle de la rue de Gosselies à Anderlecht en 2018.

Photo W. Coppens ©SPRB)



L'ouvrage original en béton jouissait de cette particularité d'avoir été le tout premier ouvrage de type « pont » ou « passerelle » en béton précontraint construite et mise en service en Belgique, et pour être précis en octobre 1944.

Avant la démolition de cet ouvrage il a été prévu de le soumettre à un programme d'investigations et de mise en charge afin d'augmenter les connaissances scientifiques relatives à la durabilité et à la pérennité des ouvrages en béton précontraint de première génération, et particulièrement ceux réalisés avec le système de précontrainte « Blaton-Magnel » dont l'utilisation a été très répandue en Belgique jusqu'au début des années 1960. A titre d'exemple, le dramatique et récent effondrement du pont de Gênes témoigne de l'importance de recherches scientifiques relatives à l'évaluation de la capacité portante réelle et résiduelle des ouvrages en béton précontraint construits il y a plus de 40 ans.

©AGR - Inventaire des archives du Ministère de Travaux publics; Service photographique, photos de Ponts 1934-1953



La passerelle de la rue de Gosselies à Anderlecht en 1945.

LES DÉBUTS DU BÉTON PRÉCONTRAIT

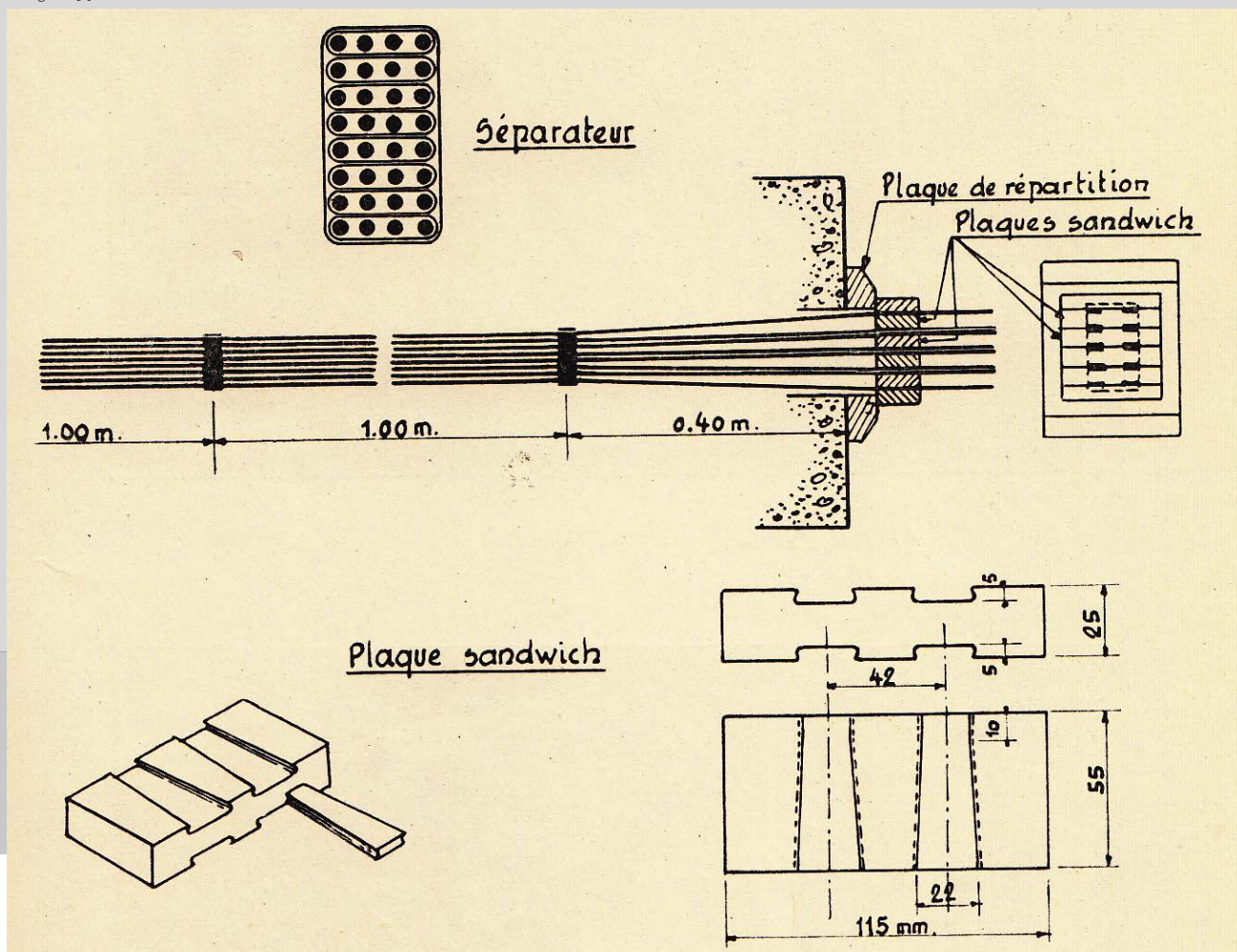
Les premières applications du béton précontraint datent des années 1930, mais sont restées assez expérimentales et exceptionnelles avant 1945. Ce n'est qu'en 1939, à la veille de la seconde guerre mondiale, que l'ingénieur français Eugène Freyssinet proposa le tout premier projet de pont (à Luzancy, sur la Marne) en béton précontraint par *post-tension* (voir page 11).

Le béton précontraint apporte de nombreux avantages par rapport au béton armé dont des gains importants dans l'utilisation tant de l'acier que du béton, donc aussi du ciment,... toutes matières dont l'usage était

très contingenté pendant la guerre, et dont l'économie était aussi particulièrement recherchée en période de « Reconstruction ».

Dès 1941, l'entreprise de construction bruxelloise Blaton-Aubert a commencé à explorer, à l'initiative et avec la collaboration intense du professeur gantois Gustave Magnel, les possibilités d'introduire le béton précontraint par *post-tension* en Belgique. Ils développèrent durant les années 1942-1944 une technologie spécifiquement belge de précontrainte par *post-tension* qui sera connue sous le nom « Sandwich » ou « Blaton-Magnel ».

©Magnel, 1948



Le système « Sandwich » de précontrainte par post-tension.

LE CONTEXTE DE LA CONSTRUCTION DE LA PASSERELLE

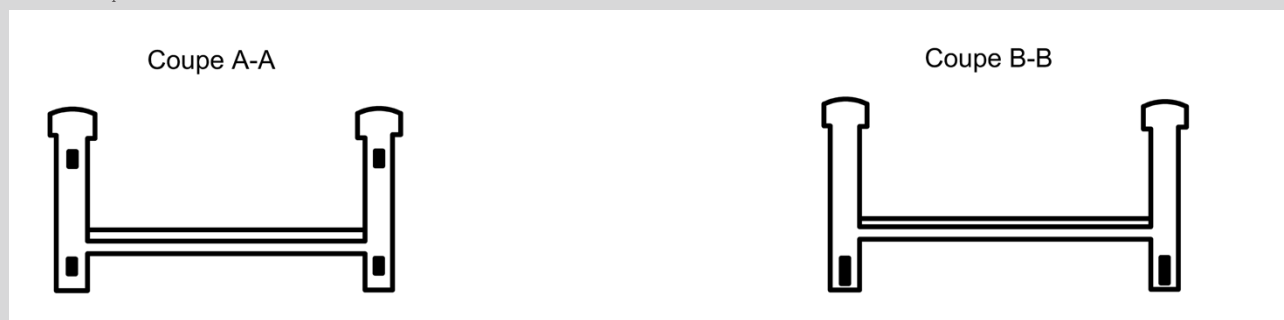
A l'endroit de la construction de la passerelle en béton précontraint se trouvait une passerelle en béton armé, construite en 1930 et détruite en 1940. Initialement, il fut envisagé de la reconstruire en béton armé suivant le modèle initial, mais l'entreprise Blaton-Aubert et le professeur Magnel proposèrent dès début septembre 1943 un projet alternatif complet en béton précontraint qui fut accepté.

DESCRIPTION ET ÉTAT DE L'OUVRAGE

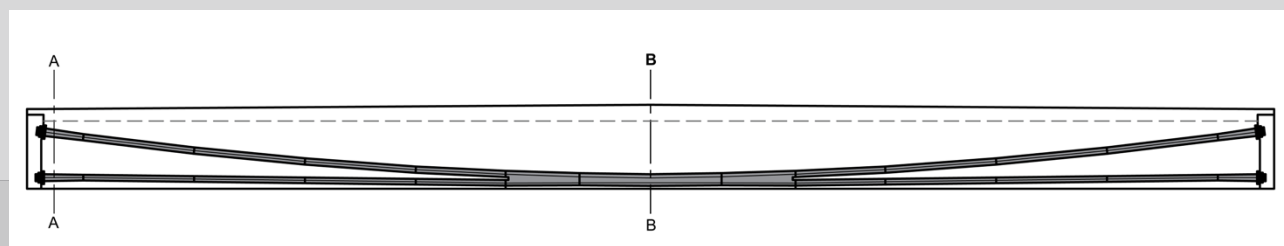
Le projet qui sera réalisé se composait de deux poutres maîtresses de 20,94 m de portée en béton précontraint supportant un tablier en béton armé. La hauteur des poutres à mi-portée est de 1,5 m, ce qui n'est pas justifié pour une telle portée en termes de capacité portante ou de rigidité, mais par leur rôle de garde-corps. Chacune des poutres est précontrainte par *post-tension* au moyen de deux câbles comportant chacun 40 fils en acier de 5 mm de diamètre : l'un des câbles est rectiligne et l'autre à concavité parabolique vers le haut ; les deux câbles se rejoignent dans la partie centrale pour ne plus former qu'un seul câble de 80 fils. Les fils des câbles des poutres ont été mis en tension fin octobre 1944. Les fils passent dans des gaines rectangulaires en tôle d'acier de 0,6 mm d'épaisseur : ces gaines sont injectées après mise en tension des fils par un coulis très alcalin à base de ciment pour protéger l'acier des fils de la corrosion.

Un examen visuel de la passerelle encore en place a permis de constater que la passerelle était en très bon état et ne présentait ni dégradations du béton ni corrosion visible des armatures. Son remplacement, prévu déjà depuis quelques années, était lié non pas à des problèmes de vétusté mais à des objectifs de gabarit fluvial et de facilité du trafic piétons et cyclistes.

©B.Delsaute d'après des documents des Archives Blaton



Coupes transversales de la passerelle à l'appui (A-A) et à mi-portée (B-B).



Elévation de la passerelle indiquant le tracé des câbles dans les poutres.

LES ESSAIS

Les essais et la destruction de la passerelle ne pouvant être réalisés au-dessus du canal, elle fut déplacée de nuit vers un site d'essais et déposée sur des semelles d'appui réalisées à cet effet. Elle fut d'abord soumise à un nettoyage méticuleux par eau à haute pression.

On remarqua que chacune des poutres était déjà traversée sur une belle hauteur, rien que sous le poids propre de la passerelle, par une fissure située à mi-portée. L'ouverture de ces fissures à ce stade était de 0,8mm. L'existence de ces fissures traduit le fait que le principe même du dimensionnement des poutres n'a pas conduit aux résultats escomptés, à savoir leur non fissuration en service. Ceci ne nous a pas étonnés car depuis un certain temps, de nombreuses études montrent que les concepts de dimensionnement du béton précontraint utilisés pendant longtemps, probablement jusque dans les années 1980, sous-estimaient fortement les « pertes » de précontrainte liées au retrait et au fluage du béton ainsi qu'à la relaxation des armatures de précontrainte.

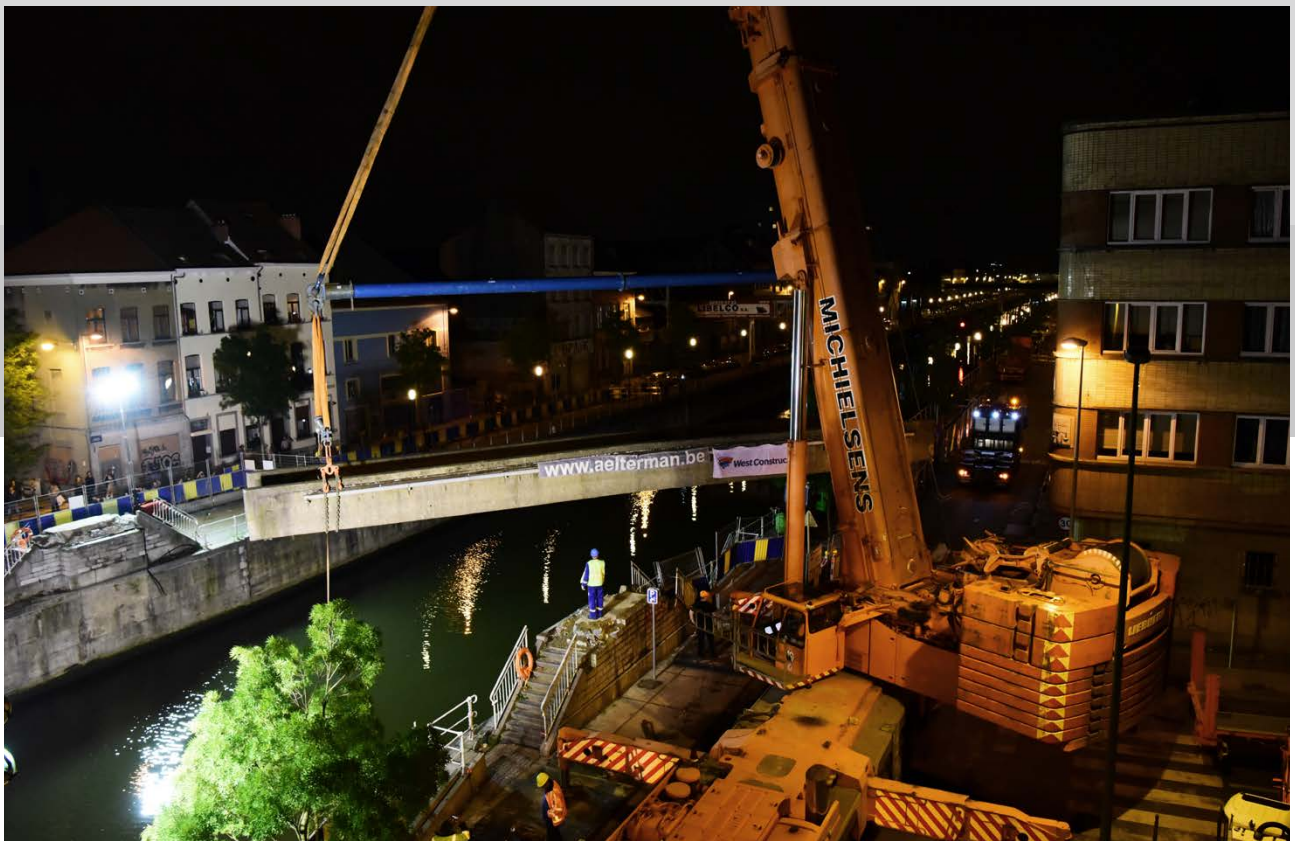
Cette « erreur » de calcul ne pose en général pas de problème de capacité portante, mais peut affecter le comportement en service des ouvrages d'art conduisant, dans les cas graves, à devoir les remplacer.

Photo des auteurs, 2018



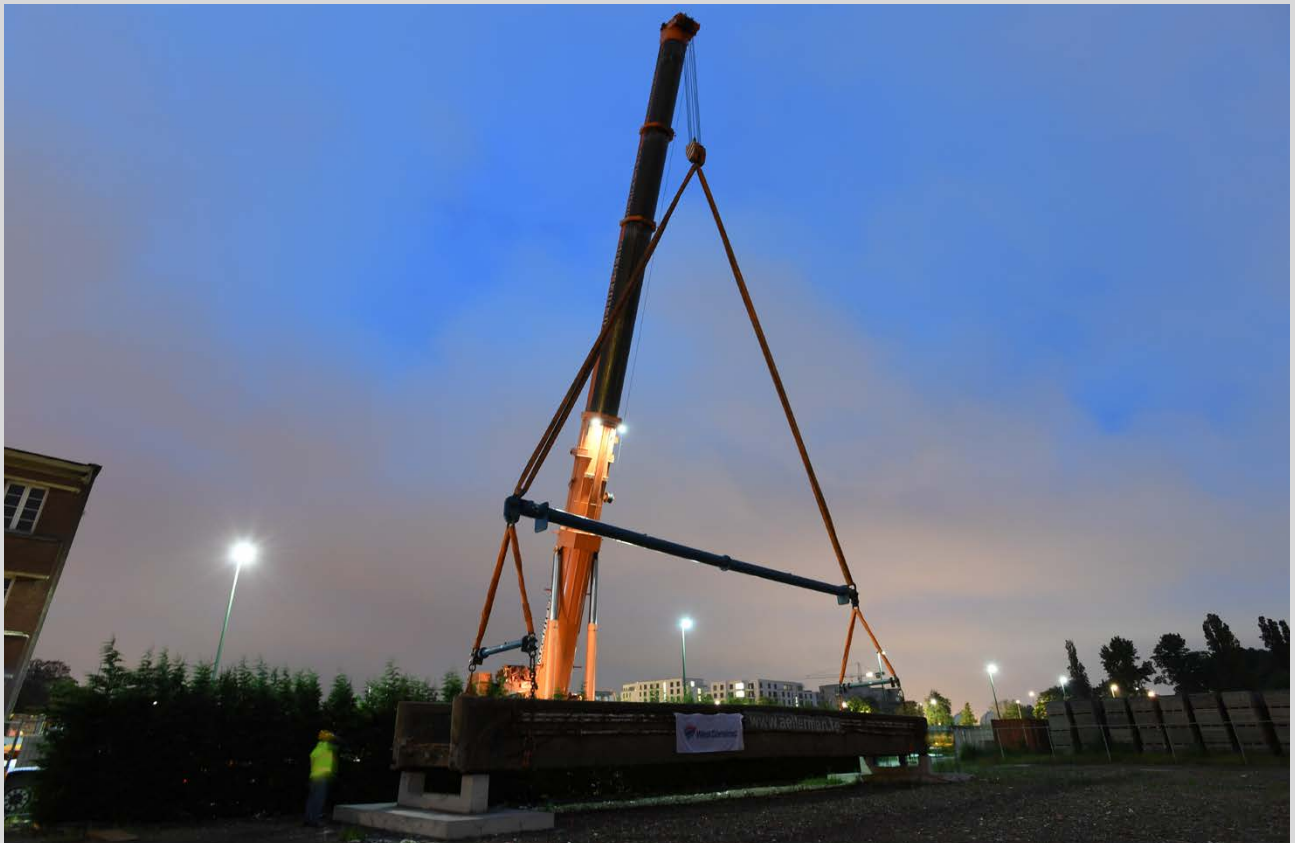
Fissure dans le béton à la partie inférieure d'une poutre de la passerelle, à mi-portée sous poids propre. Son ouverture (0,8 mm) est appréciée au moyen d'une jauge de comparaison.

Photo W. Coppens ©SPRB



Déplacement de la passerelle de nuit en juin 2018.

Photo W. Coppens ©SPRB



Placement de la passerelle sur le site d'essais.

Photo des auteurs, 2018



Nettoyage de la passerelle par eau à haute pression.

La mise en charge de la passerelle, en octobre 2018, fut réalisée au moyen de sacs d'une tonne et demie de granulats. Le chargement fut progressivement augmenté jusqu'à atteindre, avec 54 sacs, cinq fois la charge de service utile, en mesurant la flèche de la poutre à mi-portée et en notant particulièrement l'apparition des fissures et leur ouverture. Sans pouvoir entrer ici dans le détail de la présentation de ces résultats, disons simplement que le comportement cette passerelle pionnière en béton précontraint s'est avéré tout à fait satisfaisant après 74 années de service et conforme aux exigences actuelles de capacité portante et relatives au comportement en service.

La destruction finale de la passerelle s'est révélée elle aussi très instructive : les armatures de précontrainte, dont la corrosion est souvent redoutée, se présentaient dans un parfait état, n'ayant rien perdu de leurs performances mécaniques.

Photos W. Coppens ©SPRB



Mise en charge de la passerelle par des sacs d'environ 1,5 tonnes de gravier.



La passerelle totalement chargée, soit à environ cinq fois sa charge de service utile.

Photo W. Coppens ©SPRB



Mesure de l'ouverture des fissures sur la face latérale d'une des poutres.

Photo W. Coppens ©SPRB



Tracé à la craie des fissures sur la face latérale d'une des poutres.

Photo des auteurs, 2018



Ancrage d'extrémité d'un câble dégagé lors de la démolition de la passerelle.

Photo des auteurs, 2018



Après démolition du béton d'enrobage, découpe de la gaine métallique de protection des fils de précontrainte dans la partie centrale d'une des poutres.

Photo des auteurs, 2018



Les fils de précontrainte dans la partie centrale d'une des poutres après enlèvement de la gaine métallique de protection. Le coulis de ciment protège les fils.

Photo des auteurs, 2018



Les fils de précontrainte coupés dans la partie centrale d'une des poutres. A noter le coulis de ciment de protection des fils et le parfait état de conservation de ceux-ci.

CONCLUSIONS

De nos jours, l'état des infrastructures en béton est souvent critiqué. Parfois, ceci est justifié compte tenu de la faible qualité initiale de la construction ou de son manque d'entretien. Parfois, le principe de précaution ou des options politiques conduisent à détruire des ouvrages qui, fondamentalement, sont loin d'avoir atteint leur durée de vie. L'examen approfondi de la passerelle de la rue de Gosselies

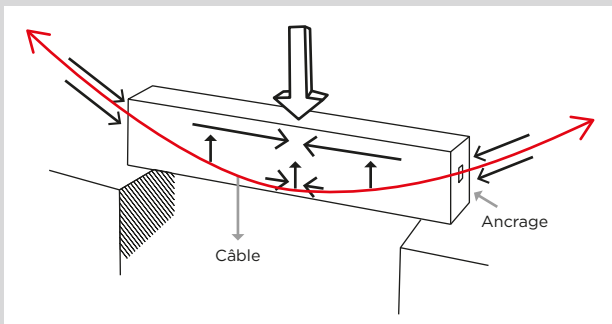
a montré qu'un ouvrage en béton précontraint très ancien – et quel ouvrage plus ancien de ce type aurait-on pu trouver ? – peut toujours s'avérer très performant. La prolongation de la durée de vie des anciens ouvrages d'art en béton constitue une contribution positive en termes de bilan carbone à la construction durable.

LES POUTRES EN BÉTON PRÉCONTRAIT

Le béton ne résistant pas à la traction, l'idée est de pré-solliciter les poutres pour y induire de la compression dans les zones qui seront mises en traction lors de leur mise en charge. Si cette compression est suffisante, toute mise en traction du béton est éliminée et la résistance de la poutre est assurée. Deux techniques de précontrainte sont utilisées; elles se différencient par le moment de la mise en tension du câble qui pré-sollicitera la poutre :

- la précontrainte par *pré-tension*, dans laquelle la poutre est bétonnée autour d'une armature (fils ou torons) prétendue entre des massifs d'ancrage indépendants de la poutre à construire. Lorsque le béton durci a acquis une résistance suffisante, les forces d'ancrage de cette armature tendue sont relâchées et les efforts de tension initiale de celle-ci sont, par adhérence, reportés sur le béton et le mettent en compression.
- la précontrainte par *post-tension* : dans ce cas les armatures de précontrainte (câbles composés de fils ou de torons) sont placées dans une gaine disposée dans le coffrage avant bétonnage. Après le coulage et le durcissement du béton, les câbles sont tendus en prenant appui sur les extrémités de la poutre où ils sont alors ancrés. Les efforts de tension initiale du câble sont ainsi reportés sur le béton et le mettent en compression.

Le plus souvent en cas de précontrainte par *post-tension*, le tracé des câbles est à concavité tournée vers le haut. Lors de sa mise en tension, le câble a tendance à se mettre à l'horizontale, ce qui sollicite la poutre vers le haut et compense une partie de la charge à laquelle elle est soumise.



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Santilman, H.N.F., 1948: Note sur l'emploi du béton précontraint dans la construction des passerelles de la rue de Gosselies et de Malheide sur le Canal de Charleroi à Bruxelles. *Annales des Travaux Publics de Belgique*, pp. 127-141, 309-340.

Magnel, G., 1948: *Le Béton précontraint*. Gand: Fechey.

Culot, M., Devos, R., Espion, B., et al., 2017 : *Blaton, Une dynastie de constructeurs, Een dynastie van bouwers*. Bruxelles : Editions AAM et CIVA.

La précontrainte a donc alors un double effet: d'une part la réduction des actions sur la poutre et d'autre part la mise en compression des zones qui seraient mises en traction lors de sa mise en charge. Les poutres en béton précontraint sont donc plus performantes que celles en béton armé.

La précontrainte s'utilise aujourd'hui dans de nombreux ouvrages, tant des ouvrages d'art que des bâtiments. Initiée juste avant la Seconde Guerre mondiale, cette technique n'a depuis cessé d'évoluer.

Les éléments structuraux précontraints par pré-tension sont largement répandus dans les applications telles :

- les dalles alvéolées connues aussi sous le nom de hourdis ;
- les linteaux précontraints de la hauteur d'un bloc de béton ;
- les prélinteaux précontraints et les poutres précontraints dans les systèmes poutres-claveaux particulièrement adaptés à la rénovation de par leur légèreté ;
- les poutres précontraintes en I ou en U renversé ...

Les ouvrages plus conséquents contiennent souvent des éléments structuraux précontraints par post-tension comme :

- les poutres à grande portée ;
- les éléments successifs préfabriqués ou non des ponts à poutres-caisson « serrés » les uns contre les autres à l'aide de câbles de post-tension.
- les planchers coulés en place de grande portée...



Linogravure originale créée par Eric Schelstraete, sur base de photos prises sur chantier.

Textes :

Bernard Espion
Pr Dr Ir Ecole Polytechnique
Université Libre de Bruxelles
Joint Research Group ULB-VUB
« *Construction histories Brussels* »

Michel Provost
Pr de l'Université Libre de Bruxelles
Joint Research Group ULB-VUB
« *Construction histories Brussels* »
Associé Origin Architecture & Engineering

