

L'apport d'Eugène Freyssinet au monde de la Construction.

Il y a maintenant 100 ans, en 1905, qu'Eugène Freyssinet commençait sa carrière comme « Ingénieur Ordinaire » des Ponts et Chaussées à Moulins.

En 1928, il déposait son premier brevet, définissant sans l'avoir encore ainsi nommé, le Béton Précontraint.

Ce brevet contenait quasiment tout ce qui régit le domaine de la précontrainte « à fils adhérents », énorme domaine, moins spectaculaire que celui ouvert ultérieurement, en 1939, via l'invention des premiers ancrages permettant la précontrainte par « post-tension ».

Aussi géniale soit-elle une invention n'acquiert une large diffusion que si elle permet des économies, sauf à concerner un produit totalement nouveau. C'est sous ce second aspect qu'Eugène Freyssinet a présenté en 1934 le béton précontraint « matériau nouveau », à bien séparer du « béton armé ».

La précontrainte judicieusement appliquée permet en effet de concevoir des structures en béton exemptes de fissuration sous des charges pouvant atteindre facilement plus de 70% des charges de rupture. Compte tenu des marges de sécurité prises par rapport à la rupture, la précontrainte permet alors de faire avec du béton ce qu'on ferait avec du bois, ou de l'acier : le béton étant devenu un matériau quasiment élastique et le restant tout au long de la vie escomptée de la structure.

Ceci n'est généralement pas possible en béton armé, dont la résistance avant fissuration, ne représente qu'un trop faible pourcentage de sa résistance ultime pour qu'un dimensionnement ayant pour but d'éviter cette fissuration soit économiquement intéressant.

C'est pourtant ce qu'on fait dans certains cas, par exemple pour des parois de réservoirs. C'est également très souvent le cas d'ossatures de bâtiments courants, parce que d'autres sujétions que leur seule résistance conduit à ce résultat.

C'est enfin le cas des arcs et des voûtes en béton, qui bénéficient via la pesanteur d'une précontrainte naturelle. Le béton en ces ouvrages remplace alors la maçonnerie d'antan.

Les titres de noblesses du béton armé ont été acquis grâce à des réalisations de cette nature.

Avec du recul on constate que les grands noms du béton armé – sauf à ses tous débuts – sont ceux des constructeurs qui comme Eugène Freyssinet ont conçus et réalisés des arcs et des voûtes de plus en plus hardis, en compétition permanente entre eux.

Classer Eugène Freyssinet dans les Grands constructeurs en béton armé, tel qu'il l'était avant de se consacrer entièrement à la précontrainte, est une erreur.

Il est l'héritier des « Séjourné » et autres grands constructeurs en maçonnerie. Le béton joue le rôle des pierres, on peut de surcroît lui donner de façon économique les formes voulues. Le ferrailage réduit compense la fragilité du béton, cela n'a rien à voir avec le ferrailage d'une poutre calculée en béton armé.

Eugène Freyssinet était très réticent vis-à-vis de ce premier matériau composite moderne qu'est le béton armé.

Ses tous premiers ouvrages sont des petits ponts ressemblant à des ponts en maçonnerie, ayant remplacé les appareillages de pierres par du béton.

Son premier ouvrage majeur, le Pont de Veudre sur l'Allier (1909), est un arc triangulé, très peu ferrillé. Ce pont a été détruit pendant la guerre, en 1944.

Mais le pont BOUTIRON, identique, construit en 1911, est toujours bien là, attestant de la maîtrise qu'Eugène Freyssinet avait du béton, et des meilleures formes à lui donner, avant d'avoir inventé la Précontrainte.

Avant, à peine, puisqu'il réalisait alors le premier tirant en béton précontraint, pour faire des essais sur le béton, et sans doute sans lui-même alors voir le potentiel de développement.

Les soupçons justifiés qu'il avait quant au fluage du béton, la nuance d'acier qui lui servait à comprimer préventivement le tirant en béton, ne permettaient pas d'augurer d'une permanence suffisante de la « précontrainte » alors faite.

La première guerre mondiale, les succès au sein de l'entreprise LIMOUSIN au lendemain de celle-ci, avec des réalisations telles que les hangars à dirigeables d'Orly, le pont de Plougastel, lui donnèrent la notoriété et des certitudes techniques, concrétisées par la prise de son brevet sur la précontrainte en 1928.

Ce qui suit n'a pas pour but de rouvrir le débat académique vieux de plus de 50 ans entre précontrainte totale alors prônée par Eugène Freyssinet. et la précontrainte partielle.

Le but est d'éclairer les générations présentes sur ce qui reste actuel du plaidoyer d'Eugène Freyssinet.

Lorsqu'on tend des armatures dans le béton, le coût de cette opération ne dépend pas de la tension, dès lors que la section du béton, avec sa qualité, et celle des armatures, permettent de faire cette mise en tension sans casser quoique ce soit.

Le comportement de la poutre est d'autant meilleur vis-à-vis de la fissuration, de la fatigue, que la tension d'une section donnée d'armatures a été plus forte.

Eugène Freyssinet plaidait donc en faveur de cette utilisation optimale des matériaux. Il s'opposait à la mauvaise utilisation correspondant à soustraire les armatures de précontrainte, puis ayant permis la fissuration, à mettre des armatures « passives ».

Lors du second congrès international de la FIP en 1955, j'avais présenté des essais de poutres isostatiques identiques, sauf pour la tension initiales des armatures. Les résultats confirmaient parfaitement la thèse d'Eugène Freyssinet, qui dans sa préface aux dits essais a écrit : « j'avoue que je n'aurais jamais songé, quant à moi, à vérifier expérimentalement un point qui me semble évident. »

Je viens encore de constater que la transposition des notions de sécurité des structures classiques aux structures précontraintes est encore mal comprise, exemple suivant à l'appui.

Pour réaliser une précontrainte initiale F avec une section d'acier A , d'où une contrainte σ , on a prescrit un acier de limite élastique minimale 1.5σ .

Dans les trois années suivant la construction, on a constaté des ruptures fragiles, en hiver, par manque de résilience.

Et il est difficile de faire comprendre qu'une moindre performance en résistance était bien suffisante, qu'il ne fallait pas oublier la ductilité, et que ce faisant il n'y aurait pas eu d'accident.

Le recours à des tensions initiales aussi grandes que possibles a contribué au progrès des aciers, avec une un peu lente disparition des produits les moins surs ... rendant ainsi grâce à Eugène Freyssinet.

Mais pourquoi ne pas tirer la meilleur part possible des armatures actives, et d'y ajouter la contribution complémentaire d'armatures passives, en admettant la fissuration du béton ?

Plus d'un siècle de béton armé, et quelques décennies de béton plus ou moins précontraint montrent qu'il n'y a pas a priori de frontière entre B.A et B.P.

Sur le long terme B.A, B.P. à précontrainte totale ou B.P. en précontrainte partielle ont leur domaine d'optimum économique, également en concurrence avec les structures métalliques et mixtes.

Pour rester proche d'Eugène Freyssinet quant à la précontrainte du béton, deux champs d'application dérivent très directement de ses conceptions des années 30 à 40.

Les produits à fils adhérents ne comportent des armatures passives complémentaires, dans la direction où il y a précontrainte, que lorsqu'on a épuisé la résistance possible avec la seule précontrainte : conséquence du moindre coût relatif de la tonne d'effort utile avec des aciers de précontrainte, comparativement aux aciers de béton armé.

L'épuisement de la résistance concerne essentiellement des gros produits (poutres de pont).

La précontrainte constitue un excellent outil d'assemblage d'éléments préfabriqués.

Dès l'immédiat après-guerre, le pont de LUZANCY (1946) et 5 autres ponts sur la même rivière Marne construits de 1947 à 1951, comportent des trésors d'ingéniosité, ayant permis leur réalisation en précontrainte tri - dimensionnelle.

Cette conception trop complexe n'a pas eu de suite, tandis que la préfabrication de voussoirs en béton armé, ultérieurement assemblés par précontrainte longitudinale sur joints minces obtenus par « conjugaison » des voussoirs, est devenue une des principales méthodes de construction de viaducs au km. La présence des joints de construction impose une « précontrainte totale », puisqu'il n'y a pas d'armatures passives eu droit des joints. Par contre, les efforts transversaux et verticaux sont en général traités en béton armé.

Un des domaines très spectaculaire de développement du béton partiellement précontraint concerne les plateformes off-shore, la 1ère mise en place sur le site d'Ekofisk – en mer du nord, en 1973.

Pour Eugène Freyssinet, la protection des armatures vis-à-vis de la corrosion devait être obtenue de façon durable grâce à la qualité du béton, et l'absence de fissures. D'où la nécessité de la précontrainte totale, dès que les sollicitations en traction sont significatives.

Il fallu à ceux de ma génération plus de 20ans pour découvrir que la relation entre corrosion des armatures et fissuration « calculée » du béton était plus complexe que cela ; il ne suffit pas d'éviter les tractions calculées pour ne pas avoir de fissures, cette absence ne garantit pas à elle seule l'étanchéité du béton, mais heureusement, la protection des armatures peut rester correcte à l'échelle du temps qui nous intéresse, moyennant de bonnes dispositions constructives.

A cet égard Eugène Freyssinet était orfèvre en la matière, à en juger par l'excellent état de conservation de ses premiers ouvrages.

Certes, ceux-ci étaient peu ferrailés, avec des aciers doux peut être moins sensibles à la corrosion, ils étaient construits en des sites ruraux peu pollués, loin de la mer, on n'utilisait pas de sels de déverglaçage ...

Et les bétons qu'il faisait avec des ciments beaucoup moins rapides que maintenant étaient excellents, ils ont très bien vieilli.

Dès qu'on n'est pas dans des conditions aussi favorables, l'expérience est là pour rappeler que la corrosion guette les armatures d'autant plus rapidement qu'il y a des cycles d'humidification et d'assèchement, situation courante des ouvrages de Génie Civil. L'immersion permanente en eau douce est au contraire favorable.

En France la conception « Précontrainte Partielle » a encore mauvaise réputation. Peut-être parce qu'on l'a confondu avec l'insuffisance de précontrainte venant d'erreurs commises dès la construction.

Des ponts construits en encorbellement ont présenté des flèches continuant à progresser anormalement, une fissuration permanente en membrure inférieure, en travée, au droit de quelques joints.

Ouvrages conçus en précontrainte totale, et donc sans armatures longitudinales, ou avec des sections très faibles, inférieures à celles qui seraient requises en béton armé à titre de « pourcentage minimal de non fragilité ».

On peut plaider en faveur de la précontrainte partielle que le fait de disposer systématiquement en toute zone pouvant être tendue un ferrailage convenable est une garantie supplémentaire.

Eugène Freyssinet avait une rigueur dans ses réalisations ne laissant pas la place au doute, qui aurait imposé de telles garanties « pour le cas où ... »

La Précontrainte permet des réalisations que le seul Béton Armé ne permet pas, mais conception et réalisation exigent une rigueur d'autant plus grande si on se prive de la souplesse accommodante du béton armé.

Il ne faudrait toutefois pas oublier que cette souplesse a également ses limites.

Une bonne conception doit dès l'origine intégrer les données fondamentales des matériaux sur le long terme, dans les conditions où ils seront effectivement mis en œuvre.

En cela, le message d'Eugène Freyssinet est éternel.

P. XERCAVINS

26 Juillet 2005