



musée des arts et métiers

L E S C A R N E T S

EUGENE FREYSSINET



« Je ne sais pas s'il existe une joie plus grisante que celle du constructeur qui, étudiant sans complaisance son œuvre terminée, ne lui découvre aucun défaut. Quelle récompense à ses efforts ! Il est Dieu au septième jour. »

E. Freyssinet, lors de son jubilé scientifique le 21 mai 1954.

1879-1962

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

L E S H O M M E S

Eugène Freyssinet

■ De la naissance du béton armé au béton précontraint

Les débuts du béton armé

Bien que l'on connaisse depuis la haute antiquité des antécédents d'armatures primitives pour renforcer les constructions en maçonneries, le béton armé n'a été inventé que vers 1850 par Joseph Lambot qui a fabriqué une barque en ciment armé d'un quadrillage de fer. En 1852, François Coignet enrobe des profilés de fer dans du béton, mis en place par fines couches de 5cm et pilonnées énergiquement, et invente ainsi le béton dit « aggloméré ».

Joseph Monier : un jardinier inventif

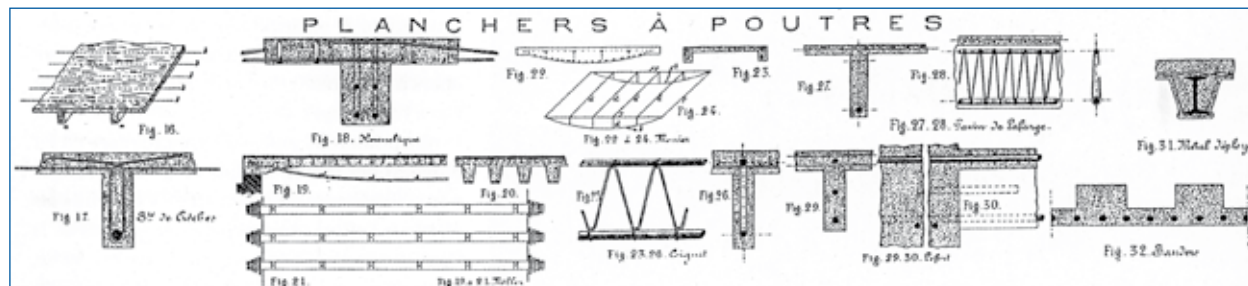
En 1865, Joseph Monier, jardinier à Versailles, fabrique puis brevète des caisses à fleurs en ciment armé de fers ronds. Il dépose ensuite de nombreux brevets pour des tuyaux, des ponts, des passerelles (1873) et des poutres (1878), dont les licences seront rapidement concédées.

Un développement industriel rapide

En 1898, François Hennebique, un ancien maçon, abandonne son entreprise de construction pour exploiter, au titre de consultant, la concession de ses brevets. Le premier, il crée un réseau d'agences (ancêtres des bureaux d'études) à l'échelle mondiale qui diffuse largement cette nouvelle méthode de construction qu'est le béton armé. Le domaine d'emploi privilégié du béton armé étant celui des ponts.

La circulaire de 1906

Le béton armé fut la cause de quelques accidents et parmi eux l'effondrement de la passerelle du globe céleste, lors de l'Exposition Universelle de 1900, qui fit neuf morts et de nombreux blessés. Des instructions furent ainsi publiées par la circulaire ministérielle du 20 octobre 1906. Elle comportait trois principes importants : la conservation des sections planes (selon le principe de Navier), le coefficient d'équivalence acier-béton $m=10$, la résistance du béton comptée pour nulle en traction. Mais elle présentait le grave défaut d'affirmer que « le module élastique du béton est, comme celui de l'acier, pratiquement constant » ; ce qui se révéla une erreur. Freyssinet s'en aperçut à ses dépens au printemps 1911, quand il découvrit que le niveau des arcs du pont qu'il avait construit au Veudre sur l'Allier, l'été précédent, s'était abaissé de 13 cm.



Comparaison de divers systèmes brevetés de béton armé, gravure reproduite en partie, 1902 (Annales des travaux publics de Belgique, Tome IV ; repris dans A. Picon, *L'art de l'ingénieur*, p. 224)

Eugène Freyssinet

■ Un ingénieur ordinaire... peu ordinaire !

Eugène Freyssinet naît le 13 juillet 1879 à Objat en Corrèze. Ses origines paysannes compteront toujours beaucoup à ses yeux. En 1899, il entre à l'École Polytechnique puis à l'École Nationale des Ponts et Chaussées où il se passionne pour les cours de béton armé professé par Charles Rabut.



Le pont de Boutiron sur l'Allier. Photo prise en 1994 : le béton y est comme au premier jour (B. Marrey, *Les ponts modernes, 20e siècle*, p. 51).

En 1903, il est envoyé comme ingénieur ordinaire à Moulins dans l'Allier pour s'occuper du service vicinal. Rapidement, il passe dans le secteur privé suite à sa rencontre avec l'entrepreneur François Mercier. Pour lui, il construit trois ouvrages importants en béton : le pont du Veudre (1911, détruit en 1944), lors de sa construction, Freyssinet s'aperçoit que le règlement de 1906 est faux : le module élastique du béton n'est pas constant ; le pont de Boutiron (1912, toujours en service) et le pont de Châtel-Neuvre (1912, dynamité en 1940) pour lequel il met au point la technique du décintrement par vérins.

Il s'associe ensuite avec un de ses camarade de promotion de l'École des Ponts et Chaussées, l'entrepreneur Claude Limousin. Il réalise alors toute une série de grands travaux propres à ceux d'une entreprise de construction. Ainsi, le pont de Villeneuve-sur-Lot (1914-1919) d'une seule arche de 96 m en béton non armé ; le pont de Tonneins (1922) comprenant cinq arches de 46 m ; les hangars pour dirigeables d'Orly (1921-1923), véritables cathédrales avec leurs 300m de long, 78m de large et 50m de haut ; le pont de Saint-Pierre en Vauvray (1923) sur la Seine, record du monde de portée en béton avec son arche de 131 m, lors de son achèvement. Ce record sera pulvérisé, en 1930, par la réalisation du pont Albert Louppe, encore appelé Pont de Plougastel sur l'Elorn. D'une grande audace technique, l'ouvrage emjambe 560m de l'estuaire de l'Elorn au moyen de trois arches de 188m.

Vue frontale d'un hangar pour dirigeables de l'aéroport d'Orly en 1921 (détruit par les bombardements) (250 ans de l'école des ponts en cent portraits, Ed. Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées)



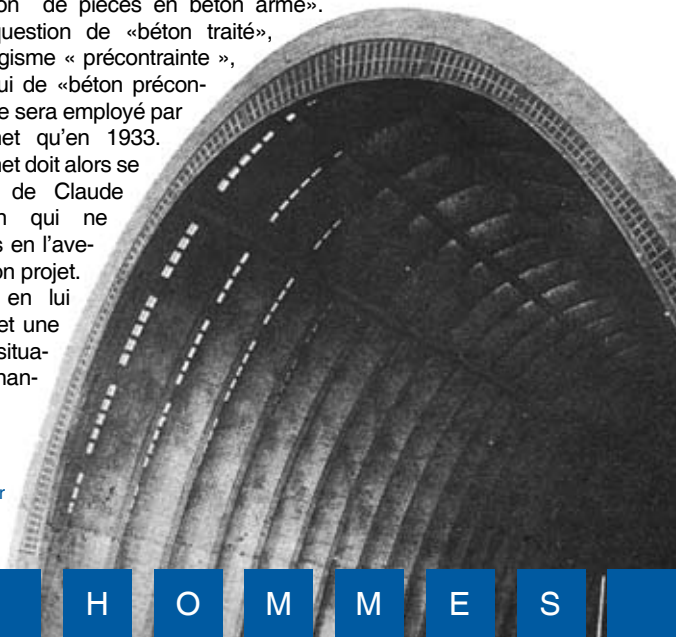
Le cintre de Saint-Pierre-du-Vauvray supportant le coffrage (B. Marrey, *Les ponts modernes, 20e siècle*, p. 58).

■ 1928 : l'invention de la précontrainte

À la fin des années 20, Freyssinet a acquis notoriété et richesse. Il pourrait continuer brillamment une carrière apparemment toute tracée, mais il mûrit depuis de longues années l'idée de précontrainte. En 25 années de pratique de la construction, il a acquis une connaissance approfondie des propriétés du béton, auquel il reproche sa résistance limitée aux efforts de traction qui oblige à recourir à la forme de l'arc sitôt que l'on veut franchir des portées importantes. Il décide alors de risquer tout ce qu'il a de «fortune, de réputation et de forces pour faire de l'idée de précontrainte une réalité industrielle». Il dépose ainsi une demande de brevet le 2 octobre 1928 avec son ami Jean Séailles, ingénieur-conseil et inventeur. Demande est faite «pour une fabrication de pièces en béton armé».

Il est question de «béton traité», le néologisme « précontrainte », puis celui de «béton précontraint» ne sera employé par Freyssinet qu'en 1933.

Freyssinet doit alors se séparer de Claude Limousin qui ne croit pas en l'avenir de son projet. Il perd en lui un ami et une grosse situation financière.



Eugène Freyssinet

■ La reconnaissance (1929-1947)

En 1929, le premier débouché industriel de la précontrainte est la réalisation de poteaux électriques, pour le compte de la Forclum. Même si les nombreuses difficultés techniques sont surmontées et que la production en série est un succès économique, la crise économique fait toutefois disparaître tous les clients ; Freyssinet est presque ruiné. Heureusement, en 1934, on lui propose d'appliquer ses nouveaux procédés pour stabiliser la gare maritime du Havre due à l'architecte Urbain Cassan qui vient d'être terminée à grands frais et qui s'enfonce de plusieurs centimètres par mois dans une couche de limon. Freyssinet réussit là où tous ont échoué. Il utilise tous les procédés qu'il a inventés (précontrainte, vérins, étuvage du béton...). Ce succès lui vaut d'un seul coup une renommée mondiale.

Au début de l'Occupation, il entreprend la reconstruction du pont de Luzancy (1939-1946) sur la Marne, près de Meaux. La pénurie de matériau incite Freyssinet à construire les voûtes par éléments moulés d'avance, puis à les mettre en place au moyen de câbles supportés par des mâts en bois. Ce pont a ouvert la voie à la construction des ponts par encoffrement successif.

■ La précontrainte à la conquête du monde (1947-1962)

Au cours de la seconde guerre mondiale, il met en place avec Edme Campenon la Société Technique pour l'Utilisation de la Précontrainte (STUP). Entouré de nombreux ingénieurs, Freyssinet consacre les dernières années de sa vie à faire de son invention une réalité mondiale. Le ministère lui commande cinq ponts à construire sur la Marne à Esbly, Ussy, Changis, Trilbardou et Annet. D'une portée de 75m, ils sont construits sur le modèle du pont de Luzancy. Suivront ensuite les fameux viaducs reliant

Le pont de Luzancy sur la Marne, mise en place de l'élément central de l'une des poutres (B. Marrey, *Les ponts modernes, 20e siècle*, p. 58).

Caracas à La Guaira, au Venezuela, en 1953 ; la basilique souterraine de Lourdes sur le projet des architectes Vago, Pinsard et Le Donné ; et, enfin, son dernier ouvrage le magnifique pont Saint-Michel à Toulouse en 1959.

Il meurt à 82 ans, le 8 juin 1962, dans sa maison de Saint-Martin-de-Vésubie.



Montage de la partie centrale du cintre de l'un des viaducs de Caracas (E. Freyssinet, *Un amour sans limite*, p. 123).

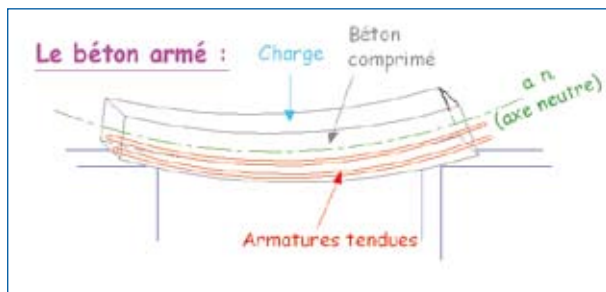


Eugène Freyssinet

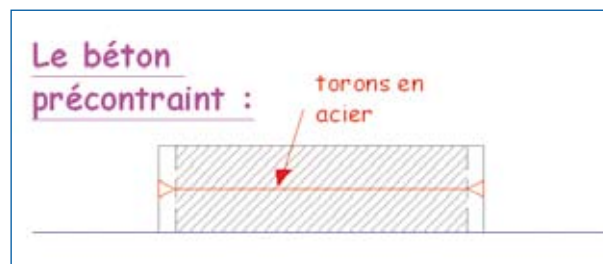
■ L'invention du béton précontraint

Définitions du béton armé et du béton précontraint

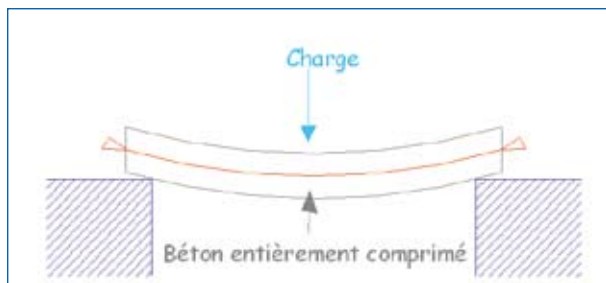
Le béton est un mélange de ciment et de granulats qui, mélangé à l'eau, devient malléable et facile à verser dans des coffrages. Il se solidifie au bout de quelques heures. Le béton résiste bien à la compression, mais il se fissure et se rompt quand il est mis en traction.



Le béton précontraint : il consiste à exercer sur le béton une compression préalable à l'application de toute charge. Ainsi, sur une poutre en béton, par exemple, on applique une force axiale comme si l'on voulait raccourcir cette poutre au moyen de torons en acier tendus. Si et seulement si la compression exercée est plus importante que la traction due à l'application d'une charge, la poutre précontrainte fléchit, mais ne subit pas de traction. Une poutre précontrainte est par conséquent plus performante qu'une poutre en béton armé.



L'invention de 1928



Au début de la carrière de Freyssinet, en 1905, les ouvrages importants étaient réalisés en maçonnerie ou en métal ; le béton armé était à peine sorti de sa phase expérimentale. Le béton séduisait Freyssinet par ses qualités : bon marché, facile d'emploi, moulable. Il pressentait le potentiel de ce matériau fissurable et fragile, tout en ressentant la contradiction interne du béton armé : le métal travaille en tension et le béton en compression. Il lui fallait donc trouver une autre réponse pour pallier aux insuffisances du béton armé.

En assurant la permanence de la précontrainte dans le temps et en précisant la position des câbles et leurs modalités d'ancrage, Freyssinet a donné naissance à un matériau nouveau : le béton précontraint. Le béton précontraint est un matériau homogène capable de supporter de façon élastique des efforts de traction et des contraintes d'extension. Ce nouveau matériau, qui n'est donc pas le cousin du béton armé, a ainsi enrichi l'industrie des ponts de l'une des méthodes les plus efficaces au monde pour la construction des tabliers.

Eugène Freyssinet

■ Le pont Albert Louppe à Plougastel (1924-1930)

Cet ouvrage comporte trois arches de section creuse de section creuse d'une portée de 188m surbaissée au 1/6^e, supportant un double tablier pour route et voie ferrée. Sa méthode d'exécution était particulièrement innovante : un cintre en bois cloué, était assemblé sur chevalets en bord de mer. Il s'appuyait à ses naissances sur des chevêtres en béton armé sur lesquels étaient ancrés des tirants en câbles métalliques dont la tension était réglable par vérins hydrauliques. Après transport à la verticale de l'ouvrage, la marée permettait l'accrochage des chevêtres sous les naissances de l'arc, construite à l'intérieur de deux batardeaux cylindriques en béton. Après décintrement par vérins, le cintre, réutilisable, était transféré jusqu'à la travée suivante.



Le pont Albert Louppe. *En haut* : clouage du deuxième cours de volige en planches de 4 cm. *En bas* : la première arche terminée, le cintre quitte son premier emplacement par flottage pour se mettre en position de recevoir l'arche centrale (B. Marrey, *Les ponts modernes, 20^e siècle*, p. 58).



Le pont fut inauguré le 9 octobre 1930 et Freyssinet de conclure qu'il était le plus réussi de tous ses ponts.

Le pont Albert Louppe avant la construction d'un second pont à proximité (D. Bennett, *Les ponts, Histoire et techniques*, Eyrolles)

■ Les 5 ponts sur la Marne (1947-1950)

Ces cinq ponts en béton précontraint, érigés sur la Marne à Esbly, Annet, Trilbardou, Ussy et Changis, furent, selon Edme Campenon, l'expression la plus manifeste du génie créatif de Freyssinet. Ces ponts étaient tous longs de 76 à 80m ; en conséquence, Freyssinet décida d'adopter pour les 5 ponts un tablier identique de 74m de longueur. Il proposa par ailleurs de réaliser ces ponts par éléments moulés en usine et amenés par voie d'eau. L'usine de préfabrication fut installée dans une boucle de la Marne à Esbly. sa mise en marche fut ralentie par les pénuries de toutes sortes dont souffrait l'époque ainsi que par une crue exceptionnelle durant l'hiver 1947-48.

Freyssinet avait choisi une structure - un pont en portique avec béquilles - qui ménageait un large chenal navigable. Grâce à un procédé consistant à placer les éléments préfabriqués du tablier, on put allier économie et rapidité de construction à une absence totale d'obstacles à la navigation pendant l'édification.

Mise en place de l'élément intermédiaire, au moyen de câbles supportés par des mâts en bois.(photo carnet).



Mise en place de l'élément intermédiaire, au moyen de câbles supportés par des mâts en bois (E. Freyssinet, *Un amour sans limite*, p. 81).

Eugène Freyssinet

■ Collections

- collection de photographies : vues par projection relatives aux travaux de l'ingénieur E. Freyssinet, inv. 22472-000-date de construction 1900-1950.
- maquettes de plusieurs types de ponts de différentes époques (donner des photos)

■ Réalisations

Quelques ponts

- Pont de Tonneins (1922), 47, pont routier sur la Garonne, 5 arcs en béton armé de 46m de portée.
- Pont de Laon (1926), 02, pont sur la voie ferrée conçu pour remplacer le passage à niveau qui permettait à la N2 (auj. D967) de franchir les voies ferrées. Pont suspendus en béton armé, à deux travées de 35m d'ouverture libre.
- Pont d'Orly (1959), 94, pont de l'autoroute B6 sur la Nationale N7 à Orly. Pont en poutre continue de 170m de long, avec une travée centrale de 53m.
- Pont Saint-Michel (1962), 31, sur la Garonne. Élargissement (de 7,5 à 20m) du pont en fonte existant ; cinq travées de 65,2m pour une longueur totale de 326m.

Autres

- Surélévation du barrage-voûte de Beni-Bahdel (1939), à Alger, Algérie.
- Réalisation de la basilique souterraine (1958), à Lourdes, 65. Voûte extra plate sans pilier d'une portée de 60m.
- Réparation de la toiture de l'émetteur d'Europe n°1 (1955), à Felsberg dans la Sarre, Allemagne.

■ Pour en savoir plus

- E. Freyssinet, Eugène Freyssinet, un amour sans limite, Éd. du Linteau, 1993
- B. Marrey, Les ponts modernes - 20e siècle, Picard, 1995
- B. Marrey, Écrits d'ingénieurs, Éd. du Linteau, 1997
- J. Grote, B. Marrey, Freyssinet, la précontrainte et l'Europe, Éd. du Linteau, 2000

- D. Bennett, Les ponts : histoire et techniques, Éd. Eyrolles, 2000
- Les cahiers des soirées scientifiques du CNAM Champagne-Ardenne, n°6, Presses Universitaires de Reims, 1999

• **Rédaction** : Marie Feyel
 • **Coordination** : Gérard Villermain-Lécolier
 • **Conception graphique** : Emmanuel Côté, Cnam Champagne-Ardenne, sur une idée d'Olivier Delarozière.
 • **Photos** :
 • **Musée des arts et métiers**, Service éducatif,
 292, rue Saint-Martin - 75003 Paris
 Tél. : (1) 40 27 27 52 ou (1) 40 27 26 40
 ISBN : 2-908207-33-8

Eugène Freyssinet

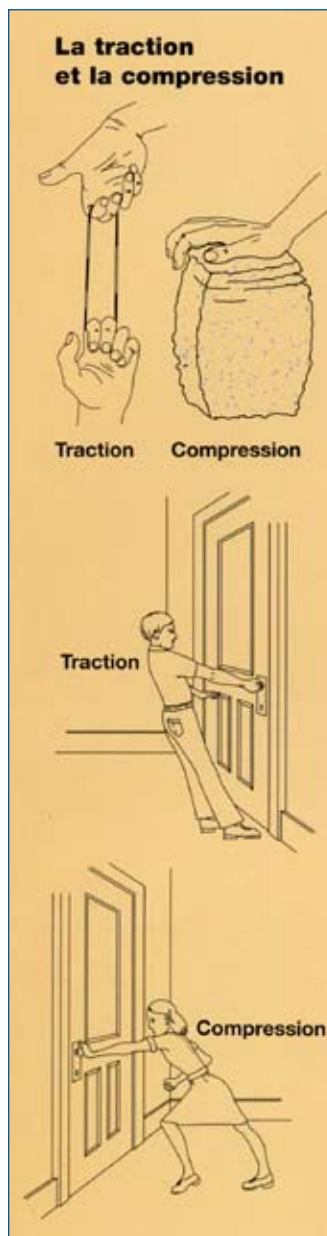
■ Les principes de traction-compression

Toutes les structures, de la simple maison au pont suspendu, sont soit tendues soit comprimées, voire les deux simultanément. A défaut de pouvoir sentir les forces à l'intérieur d'un pont, on peut facilement en comprendre les effets. Ainsi, lorsque l'on étire un élastique ou que l'on essaie d'ouvrir une porte bloquée, on parle de traction. En revanche, lorsque l'on presse une éponge ou que l'on exerce une pression sur une porte pour empêcher son ouverture, on parle de compression.

■ Le fonctionnement du béton précontraint

Voici comment Eugène Freyssinet expliquait, de façon très simple, le fonctionnement du béton précontraint : il prenait dans sa bibliothèque quelques livres et disait, en les pressant horizontalement entre ses mains comme un presse-livre : « Si j'étais assez fort, vous pourriez tenir sur ces volumes comme sur un pont. Mais que je lâche et tout s'écroule. »

Cette manipulation simple permet de comprendre le principe même du béton précontraint : une force de compression (ici la pression de nos mains) permet d'homogénéiser le béton (les livres pour notre exemple) et d'en augmenter les résistances. Si l'on relâche la pression exercée par nos mains, les livres se désolidarisent et l'ensemble s'effondre.



On parle de traction lorsque l'on étire une corde ou un élastique, ou que l'on essaie d'ouvrir une porte bloquée.

On parle de compression lorsque l'on presse une éponge, que l'on appuie sur une boîte en carton, ou que l'on exerce une forte pression sur une porte pour empêcher son ouverture.

(D. Bennett, *Les ponts, Histoire et techniques*, Eyrolles)