

# Eugène Freyssinet et la découverte du fluage du béton, du pont sur le Veurdre au pont de Luzancy

Jean Michel Torrenti<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ESITC Paris

<sup>2</sup> Université Gustave Eiffel, Cerema, UMR MCD,

**RESUME** C'est en observant les déformations de son pont sur le Veurdre qu'Eugène Freyssinet a mis en évidence dès 1911 le phénomène de fluage du béton qui était jusque-là inconnu et pas pris en compte dans le calcul des ouvrages : alors que la flèche à mi-travée approchait 13 cm en moins d'un an, il était intervenu de nuit pour remettre en place l'ouvrage et bloquer l'articulation qui favorisait cette déformation structurelle. Il avait également conclu que, sous charge, le béton se déformait dans le temps. Il va profiter de la construction du pont Albert Louppe pour vérifier expérimentalement le phénomène. Puis lors de la construction du premier pont précontraint en France, le pont de Luzancy, Freyssinet va tenir compte de ces déformations dans le calcul de l'ouvrage. Conscient de l'incertitude des déformations à long terme, il va intégrer dans sa conception la possibilité de corriger dans le futur les pertes de précontrainte selon une méthode qui est utilisée actuellement lors des réparations de cet ouvrage emblématique. L'objet de cet article est de décrire ce cheminement de pensée qui peut encore éclairer la conception des ouvrages actuels.

**Mots-clefs** béton, Freyssinet, béton armé, béton précontraint, fluage

## I. INTRODUCTION – L'EPISODE DES PONTS DU VEURDRE ET DE BOUTIRON

Lorsqu'en 1907, Eugène Freyssinet est chargé par l'entrepreneur F. Mercier de construire les ponts du Veurdre, de Boutiron et de Chatel-de-Neuvre, le règlement de béton armé français a juste un an (Circulaire du 20 octobre 1906 – emploi du béton armé). Et ce règlement, s'il mentionne le retrait du béton, ignore les déformations différées du béton lorsqu'il est chargé. En effet, de nos jours, nous savons que le béton se déforme davantage lorsqu'il est chargé : c'est le fluage. Le calcul des ponts du Veurdre et de Boutiron se fait donc selon les connaissances de l'époque, sans tenir compte de ce phénomène.

Freyssinet propose alors une conception, très moderne pour nous, optimisant l'usage des matériaux avec des arcs surbaissés et d'une structure triangulée supportant le tablier, le tout avec seulement 30kg/m<sup>3</sup> d'acier pour les arcs (figures 1 & 2). Mais, il indique aussi '*pour ces voutes très plates, l'emploi d'articulations s'imposait. Si j'avais suivi mon propre sentiment, je n'en aurais placé qu'aux retombées, mais c'était absolument incompatible avec le respect des règles imposées par la circulaire de 1906 pour le calcul des contraintes développées par les variations linéaires. N'osant passer outre, je me résignai à prévoir une articulation à la clef.*' (Freyssinet, 1949).



**FIGURE 1.** Vue du pont du Veurdre (<https://geodazner.blogspot.com/2016/05/pont-du-veurdre.html>)



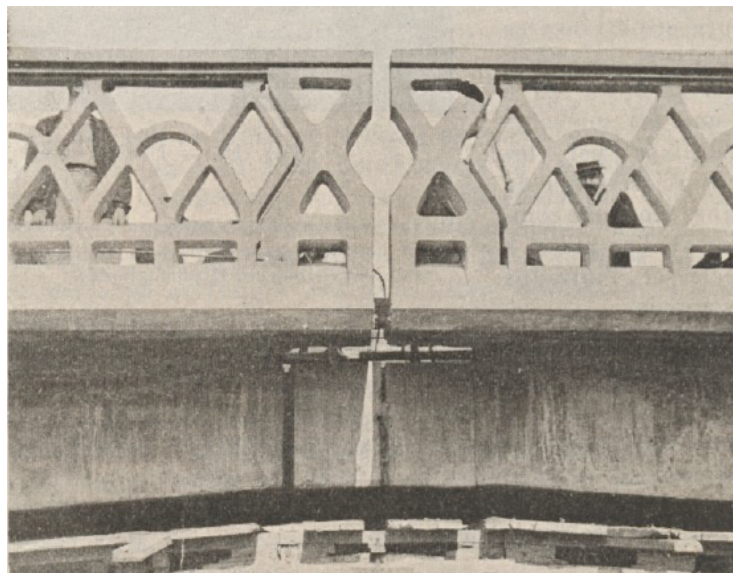
**FIGURE 2.** Vue du pont de Boutiron (photo Alain Millard)

La structure avec trois articulations dont une à la clé est ainsi très sensible aux déformations différées. Et Freyssinet va vite s'en apercevoir : '*... à la joie que j'éprouvais à revoir Le Veurdre de temps à autre, vînt se mêler une sourde inquiétude. Il me semblait que les lisses des parapets, parfaitement droites lors des épreuves, prenaient peu à peu très lentement une convexité tournée vers le ciel. Les articulations de*

*clef s'abaissaient corrélativement.... A la fin du printemps 1911, le niveau des clefs s'était abaissé de plus de 13 cm...*' (Freyssinet, 1949).

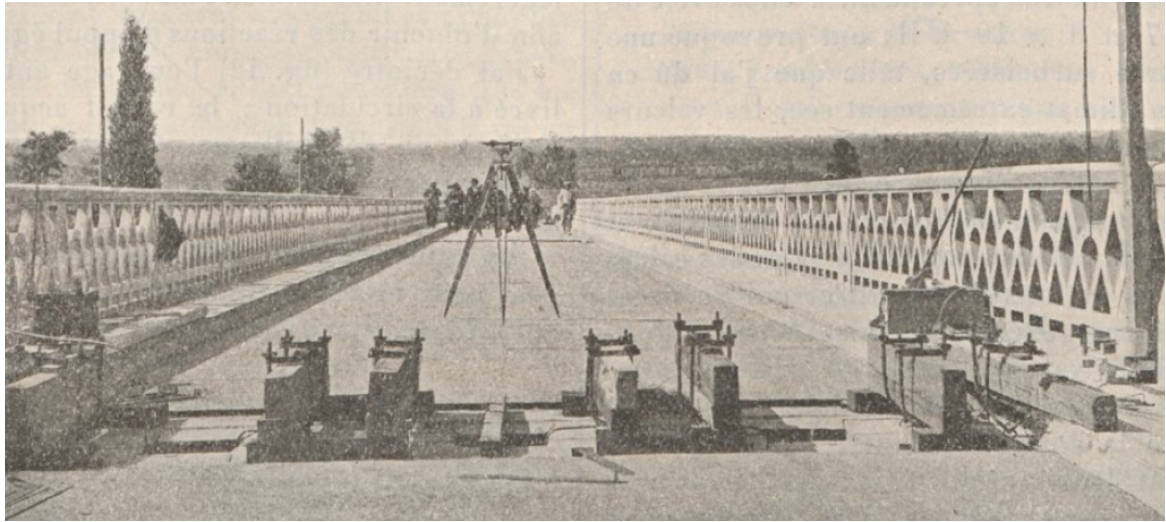
A partir de ces constatations, Freyssinet déduit tout d'abord que, contrairement au dogme en vigueur à l'époque, des déformations supplémentaires dues à l'application d'une charge maintenue existent<sup>1</sup>. Et ensuite, il décide d'intervenir devant le péril imminent : *'Je fus alors envahi par la certitude que les articulations de clef que je n'avais adoptées qu'à regret et pour obéir au règlement, étaient la cause unique du malheur de mes voûtes, et qu'elles étaient inutiles parce que les contraintes d'hyperstaticité ne pouvaient jamais prendre de valeurs dangereuses en raison de l'effondrement des modules aux approches de ces valeurs... Aidé de Biguet et de trois hommes sûrs, je remis en place mes vérins de décintrement en les disposant trop haut, de manière à provoquer des déformations contraires aux déformations déjà subies ; et, pendant que les véhicules circulaient sur le pont comme à l'ordinaire, je relevais les clefs à leur côte théorique ; puis je rendis impossible toute rotation des articulations en remplissant de béton tous les vides accessibles existant entre les deux demi-arches'* (Freyssinet, 1949).

La figure 3 donne une vue du joint au niveau de l'articulation du milieu de travée. L'application de vérins dans ce joint permettait de soulever les arcs et d'enlever le cintre qui servait de coffrage (figure 4). C'est au même endroit que Freyssinet appliqua sa méthode pour compenser les déformations dues au fluage du béton. Le fait de rendre continu l'arc a ainsi permis de réduire les déformations (cf. figure 5) et si le pont n'avait pas été détruit vers la fin de la seconde guerre mondiale il serait sans doute encore là comme celui de Boutiron (pour lequel bien sûr Freyssinet a d'entrée rendu continu l'arc après décintrement).

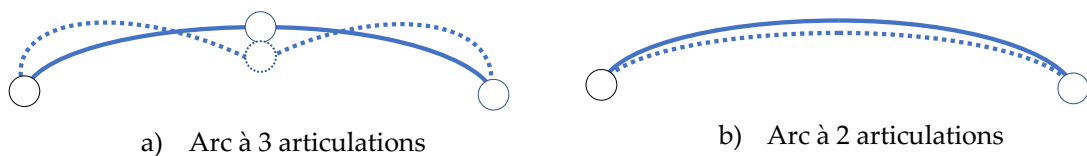


**FIGURE 3.** Décintrement d'une voûte du pont du Veudre. Vue au niveau de l'articulation en milieu de travée (Freyssinet, 1921)

<sup>1</sup> Lors des essais sur une arche d'essais construite à Moulins en 1907 pour étudier le principe de ses arcs abaissés, Freyssinet avait bien déjà vu des déformations différées. Il s'en était ému auprès de A. Mesnager – professeur de béton armé de l'école des ponts et chaussées, qui lui avait dit : « Vos résultats ne sont pas seulement faux, ils sont impossibles » (Freyssinet, 1993).



**FIGURE 4.** Décintrement du pont de Boutiron en 1913 (Freyssinet, 1921)



a) Arc à 3 articulations

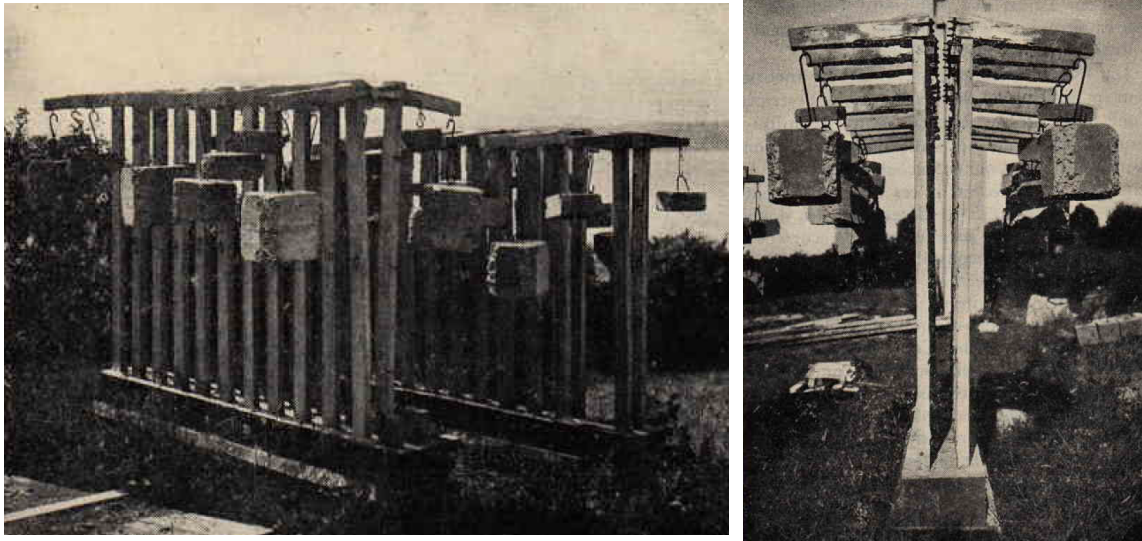
b) Arc à 2 articulations

**FIGURE 5.** Déformée d'un arc à 3 articulations comparée à celle d'un arc à 2 articulations.

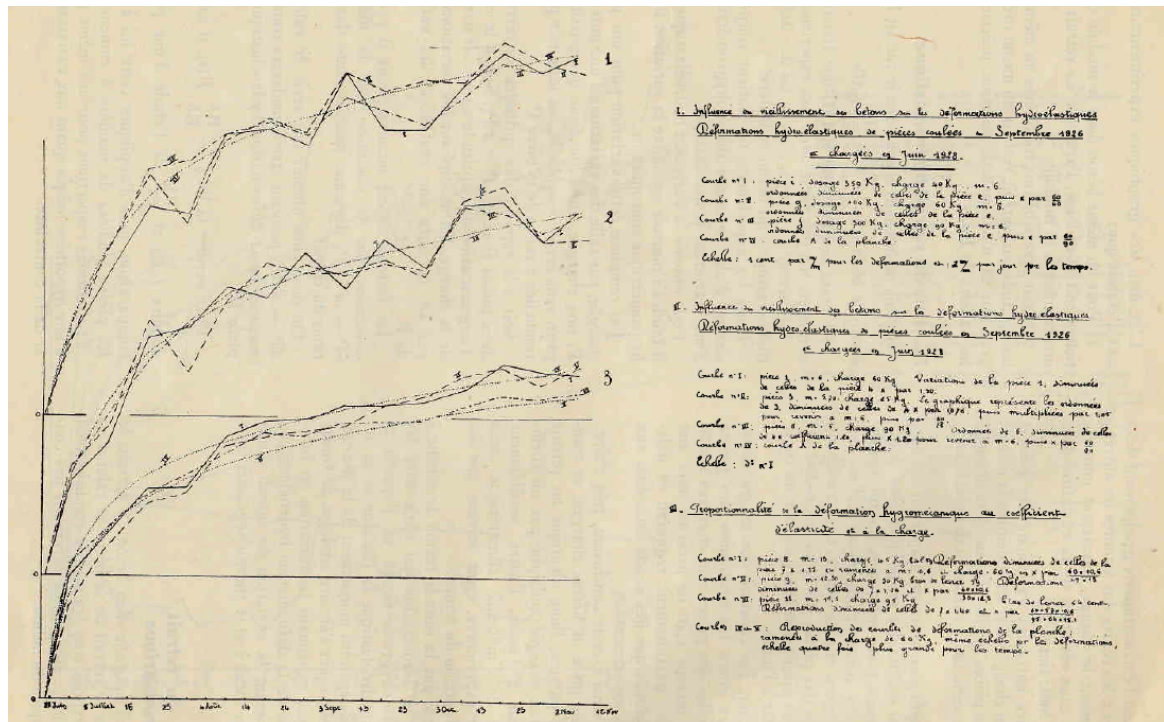
## II. LA PHASE EXPERIMENTALE

Freyssinet ayant constaté que des déformations différées existaient décida de lancer une expérimentation à ce sujet. La première guerre mondiale l'empêcha de faire cette expérimentation avant 1926. A cette époque, il réalisait la construction du pont Albert Louppe sur l'Elorn près de Brest (Sioc'han, 2022). Profitant de ce chantier et de la nécessité de bien connaître les déformations différées pour le réglage des arcs, il lançait ce qui en France constitue les premiers essais de fluage connus : il chargeait en flexion<sup>2</sup> des poutres de béton armé de section 5 par 10 cm<sup>2</sup> et de 2,15 m de hauteur, encastés à la base et renforcés avec 3  $\phi 10$  sur la face tendue. La mesure des déformations différées se faisait simplement par le suivi de l'écartement de la partie supérieure des éprouvettes au double décimètre ! Ces expériences sont présentées figure 6 et documentées dans (Freyssinet, 1930). Le résultat de quelques essais est présenté à la figure 7. On voit que bien que les expériences capturent correctement la déformation d'ensemble bien que les conditions de conservation soient celles du milieu extérieur, donc très variables.

<sup>2</sup> La flexion était obtenue au moyen d'une console d'environ 50 cm (la valeur exacte n'est pas donnée par Freyssinet) permettant d'appliquer une charge décentrée et d'exercer ainsi un moment constant en tête de l'éprouvette (Freyssinet, 1930).



**FIGURE 6.** Expériences de fluage réalisées par Freyssinet durant la construction du pont Albert Louppe (Freyssinet, 1930)



**FIGURE 7.** Résultat de quelques expériences (Freyssinet, 1930)

L'analyse de ces essais par Freyssinet met en avant plusieurs phénomènes dont les suivants :

- La déformation du béton chargé est plus importante que le retrait et dépend du niveau de charge ;
- La déformation dépend de l'état hygrométrique du béton et donc de la taille des pièces ;
- La déformation de fluage n'est pas totalement réversible.





**FIGURE 9.** *Vue du pont de Luzancy pendant sa récente réparation. La passerelle négative sert à réparer les effets de corrosion de certaines armatures (photo Jean Michel Torrenti)*

#### IV. DISCUSSION - L'HERITAGE

Bien entendu, l'héritage essentiel de Freyssinet c'est la précontrainte qui a révolutionné l'art de construire. Mais lorsque l'on s'intéresse aux travaux d'Eugène Freyssinet, on s'aperçoit qu'il a défriché énormément de sujets différents : sur la mise en œuvre des bétons (vibration), sur la formulation et sur le comportement des bétons (déformations différées), sur les techniques constructives (décintrement par vérin des arcs, voussoirs préfabriqués assemblés par post-tension, ancrage par clavette conique et son vérin associé,...). Et, par rapport aux préoccupations environnementales actuelles, les ouvrages de Freyssinet sont d'une grande modernité : un minimum d'armatures passives, une optimisation de l'emploi du béton et donc, au final, une minimisation des impacts. Enfin, Freyssinet a montré que l'observation des phénomènes primait sur le règlement lorsque le comportement réel des ouvrages ne suit pas les prédictions de ce dernier.

#### VI. CONCLUSIONS

La découverte du fluage du béton par Eugène Freyssinet a constitué une avancée majeure dans la compréhension du comportement différé des structures en béton. À partir de ses observations sur le pont du Veurdre entre 1911 et 1913, il a mis en évidence un phénomène jusqu'alors ignoré et qu'il a intégré dans la conception du pont de Luzancy : le fluage du béton. Son approche empirique, basée sur l'observation et l'expérimentation, illustre la nécessité d'adapter la conception des ouvrages aux réalités physiques plutôt qu'aux seules prescriptions réglementaires. Plus qu'une simple découverte, son travail a posé les bases de la précontrainte moderne, révolutionnant ainsi l'ingénierie du béton et pouvant encore inspirer aujourd'hui la construction durable par sa recherche d'une économie de moyens.

#### Remerciements

L'auteur remercie tous ceux qui l'ont aidé à rassembler de la documentation historique sur ce sujet, particulièrement le professeur Bernard Espion, David Ordonez et Hervé Dugrenier.

## REFERENCES

Freyssinet E. (1921), Le pont de Villeneuve-sur-Lot - Perfectionnements dans la construction des grandes voûtes, *Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangères*. 1921-08-06, Source gallica.bnf.fr / BnF.

Freyssinet E. (1930), Etudes sur les déformations lentes des ciments ou retraits. Actes du Premier Congrès International du Béton et du Béton Armé. Liège : La Technique des Travaux.

Freyssinet E. (1934), Théorie générale de la prise des liants hydrauliques ; les phénomènes de retrait et de déformation lente des bétons et mortiers, *Comptes rendus mensuels du centre d'études supérieures de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics*, n° 7, juillet 1934.

Freyssinet E. (1949), Souvenirs. Cent ans de béton armé. Paris : Science & Industrie, (supplément à la revue Travaux, N° 194 bis), 51-61.

Freyssinet E. (1993), Un amour sans limite, éditions du Linteau.

Sioc'han F. (2022), Le Pont Albert-Loupe - Une œuvre monumentale d'exception, Éditions du Parapluie Jaune