

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 63 (1937)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Mise en tension préalable des armatures du béton armé: son principe, son calcul et ses applications  
**Autor:** Paris, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-48428>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 26.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Ces modifications entreront en vigueur le 1<sup>er</sup> mars 1937.

*Règlement de visite relatif aux bateaux du Rhin.* — La Commission a estimé que le Règlement de visite relatif aux bateaux du Rhin ne répondait plus aux conditions actuelles de la navigation et a chargé de préparer la révision au fond de ce Règlement le Comité qui s'occupe de la révision du Règlement de police pour la Navigation du Rhin.

*Unification des statistiques de transport.* — La Commission a pris par voie de correspondance, à la date du 19 octobre 1936, la résolution suivante : « La nomenclature des marchandises pour la statistique du trafic rhénan, adoptée en principe le 22 avril 1936, sera mise en vigueur à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1937 ». Cette nomenclature paraîtra d'ici peu sous forme de brochure.

*Date de la prochaine session.* — La date de la prochaine session de la Commission est fixée au mardi 6 avril 1937.

## Mise en tension préalable des armatures du béton armé.

### Son principe, son calcul et ses applications,

par

A. PARIS, ingénieur civil, professeur à l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne.

(Suite.)<sup>1</sup>

Le problème du *béton*, destiné à enrober ou simplement tenir en équilibre les aciers envisagés ci-dessus, demande aussi des éclaircissements.

Nous verrons, par les calculs qui suivront, que les constructions industrielles, établies suivant le procédé Freyssinet de précontrainte, ne conduiront guère à des efforts exagérés dans le béton. Un conglomerat très ordinaire y suffirait, s'il ne devait satisfaire à des conditions strictes pour que l'opération réussisse techniquement et soit économique ; il faut, à cet effet, diminuer le plus possible son retrait et sa viscosité, augmenter son module d'élasticité, ceci pour modérer la perte de précontrainte après la mise en charge ; il faut, en outre, que le béton fasse un durcissement accéléré, pour libérer rapidement le coûteux matériel mis en œuvre dans ces opérations.

Pour résoudre ce problème, M. Freyssinet a élaboré une théorie de la constitution des ciments et des bétons, sur laquelle nous ne pouvons nous étendre ici, et qui du reste a fait l'objet de sa communication lors du Cours SIA de Lausanne, en octobre 1929 ; il a ensuite précisé ses idées dans son article remarquable « Idées et voies nouvelles » de la revue « Travaux » (Science et industrie, Paris), en l'année 1933. Nous nous bornerons aux quelques indications suivantes.

A l'encontre de l'acier, du verre, ou d'autres solides « vrais », issus d'un processus de fusion, le béton est un « pseudo-solide », dont la cohésion dépend de la présence de l'eau intersticielle de ses canalicules et des membranes liquides qui séparent ses grains. Ces membranes sont le reste du bain liquide incorporé au béton lors de sa confection. Si le béton est peu compact, les quantités d'eau sont telles qu'une évaporation en est possible ; si au contraire la compacité est telle que les membranes sont extrêmement réduites entre les grains de sable et les cristaux de ciment, leur équilibre est régi par la loi de La-

place relative aux membranes, aux ménisques et à toutes les intersurfaces,

$$\pi_m = A \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

si  $\pi_m$  représente la tension superficielle de la membrane, et  $r_1$  et  $r_2$  les deux rayons principaux de courbure du ménisque, qui se formerait au lieu considéré, si la membrane liquide s'y arrêta. Si les deux rayons  $r_1$  et  $r_2$  se font très petits, l'étreinte  $\pi_m$ , représentative du retrait de prise, prend des valeurs telles qu'une évaporation se fait de plus en plus difficile, ce qui est le cas dans les membranes ultra-minces, aussi résistantes que des corps solides ; la tension superficielle, très grande alors, s'oppose au dessèchement du béton, qui prend une nature plus constante.

La présence des pellicules d'eau intersticielle se manifeste de deux manières principales. D'une part, c'est le fait d'une cristallisation demeurant toujours possible, puisque les édifices cristallins n'ont leurs éléments liés que par des pellicules de plus en plus minces, mais jamais annulées et toujours déformables ; ceci est mis en évidence par le phénomène de la viscosité du béton, et par celui de l'auto-réparation des déformations lentes et plastiques.

Un équilibre hygroscopique du corps s'établit entre les ménisques et l'air avoisinant, qui remplit le reste du volume des pores ; cet équilibre dépend de la température, de l'humidité de l'atmosphère et de l'état de contrainte du corps. Une étreinte extérieure a une action d'autant plus notable que la tension des membranes est moindre ; le retrait alterne donc plus aisément dans un béton moins dense que dans un conglomerat compact.

Le raccourcissement total dû au retrait atteint, selon M. Freyssinet, la valeur unitaire

$$\lambda_r = 1300 \cdot \log_n \left( \frac{1}{\epsilon} \right) \times \frac{w_m}{E_1}$$

si  $\epsilon$  représente l'état hygroscopique du corps, et  $w_m$  le volume des vides mouillés dans l'unité de volume du conglomerat ;  $E_1$  est un module d'élasticité relatif à l'étreinte triple du retrait

$$E_1 = 2E$$

si  $E$  représente le module d'élasticité de Young. Si l'on suppose un béton très compact, régi par

$$\epsilon = 0,4 \quad w_m = 0,04$$

on trouve, pour

$$E_1 = 2 \times 210\,000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_r = 1300 \cdot \log_n \left( \frac{10}{4} \right) \times \frac{0,040}{2 \cdot 210\,000} = 0,00113$$

c'est-à-dire environ 1 ‰, chiffre qui diminuerait sensiblement si l'on introduisait un module d'élasticité en rapport avec la grande compacité admise.

L'état général d'isotropie permet d'assimiler les vides d'une section à ceux d'un volume et d'écrire la valeur de l'étreinte  $p$  due au retrait

$$p = \pi_m \cdot w_m$$

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 2 janvier 1937, page 2.

où  $\pi_m$  désigne la tension superficielle. Dans un mortier très compact, la grandeur de  $\pi_m$  compense, et au delà, la petitesse de  $\omega_m$ .

L'abaissement du facteur

$$\text{eau : ciment} = W : Z = e : c$$

conduit ainsi à de *hautes résistances à la pression*, dans le béton plein, surtout si on use de traitements appropriés, adaptés aux diverses espèces de ciments et aux divers types d'ouvrages ; ces traitements diffèrent naturellement s'il s'agit de pièces moulées d'avance, de vastes toitures de hangars d'aviation, ou de ponts à grandes portées.

Le problème du béton à haute résistance peut être examiné à l'aide de la formule de l'étreinte du retrait donnée ci-dessus, même si cette formule n'exprime qu'une des faces du problème ; il dépend de celui de la diminution de la porosité et de l'épaisseur des membranes d'eau intersticielle. Il faut donc que les pellicules d'eau, qui recouvrent l'ensemble compact des éléments gros et fins du mélange soient amincies à l'allure désirée en assurant, à la fois, la prise du ciment et le comblement des vides.

La base générale de l'action de compacité consiste à unir une vibration énergique à une bonne composition granulométrique du béton. Selon M. Freyssinet, le mouillage peut même être plutôt fort pour assurer un bon remplissage sans qu'il y ait inconvénient, car une vibration puissante et bien dirigée conduit ensuite forcément, par le tassement des matières solides, à un essorage de l'eau en excès et à l'expulsion de l'air emprisonné. On obtient ainsi un conglomerat dont la consistance doit être celle d'une gelée ferme et pleine. Si ensuite le type de construction le permet, on pourra appliquer la compression à la pompe et le chauffage à la vapeur.

M. Freyssinet a porté la compression jusqu'à 200 kg : cm<sup>2</sup> dans certains cas, en utilisant un moule intérieur extensible, mis en charge par pompage ; cette pression augmente fortement la compacité du béton, encore relativement plastique et susceptible d'essorage ; la prise du ciment n'est pas sensiblement bâtée par la pression seule, car les délais de dissolution sont les mêmes ; mais le durcissement se produit ensuite avec une grande rapidité, qui va de pair avec celle de la sursaturation des membranes liquides. Le portland peut assurer ainsi de fortes résistances après 24 heures de prise. La limite supérieure de la compacité est sa valeur dans le solide vrai, irréalisable donc dans le cas de la prise aqueuse du ciment, à cause de la tension superficielle croissante des membranes.

La prise du ciment se fait avec un dégagement de chaleur ; l'élévation de la température active le phénomène chimique. Mais il faut prendre garde à deux risques essentiels. Premièrement, à l'anomalie de prise du ciment alumineux : opérée à 30° C ou plus, cette prise dégénère dans son mode de cristallisation et ne donne aucune résistance ; les autres ciments ne subissent pas cette dégénérescence. Si, d'autre part, la compacité est insuffisante,

la chaleur peut, seconde anomalie, conduire à une évaporation de l'eau intersticielle et à l'impossibilité définitive de la prise ; si le béton est compact, la cristallisation se fait très disséminée dans les membranes liquides, rendant cette anomalie impossible. Le chauffage intéresse donc principalement des bétons de portland fortement essorés par compression. Dans les conditions requises, le béton compact préparé au superportland peut donner, en deux heures, une résistance à la compression de 200 à 300 kg : cm<sup>2</sup>, si la chaleur de prise est soutenue par un chauffage adéquat. On a obtenu des résistances de 1000 kg : cm<sup>2</sup> après quelques semaines dans des essais industriels. Si l'on interprète ce dernier résultat par la formule de M. Bolomey, en adoptant la forte valeur

$$K = 280 \text{ kg : cm}^2$$

justifiée par le mode de mise en œuvre du béton, l'âge et les ciments employés, on trouve qu'il faut un rapport

$$\text{eau : ciment} = e : c = 1 : 4$$

ce qui représente, au dosage de 400 kg de ciment, une teneur en eau réduite à 100 litres par mètre cube fini plein, moins donc que pour un béton habituel, gâché à la consistance de terre humide ; plus compact aussi vu le mode de mise en œuvre.

Si donc le chauffage peut agir capricieusement sur les bétons peu denses, ou même nuire fortement à ceux préparés au ciment alumineux, son action est, au contraire, régulière et bonne sur les bétons de ciment portland à haute compacité, dont le durcissement, accéléré par une température de l'ordre de 100° C, peut être obtenu 1½ heure après le remplissage du moule. On peut ainsi exécuter sans discontinuité « des pièces importantes par éléments successifs coulés le long d'armatures continues, tendues après coulage ».

L'intégrité du *béton à la traction* importe en définitive autant que sa résistance à la pression, car elle régit la tenue de l'ouvrage en tant qu'élasticité, adhérence aux armatures, et résistance aux efforts tranchants et aux charges alternées. Les améliorations de qualité, obtenues selon les procédés indiqués ci-dessus, ne réagissent malheureusement que d'une manière insuffisante sur la résistance à la traction. Celle-ci peut néanmoins monter assez haut dans les ouvrages soignés. Ainsi le professeur Gehler donne les chiffres suivants dans son rapport au Congrès de Berlin :

résistance habituelle des bétons normaux	de 20 à 30 kg : cm <sup>2</sup>
dite « béton de qualité », éventuellement	de 40 à 50 »
dite « pièces faites à l'atelier », jusqu'à 60 et 80 »	

Ces chiffres représentent une belle sécurité contre la fissuration, si le retrait ne les rend pas illusoires ; ils ajoutent en tous cas un appoint appréciable à la raideur des ouvrages.

Toutefois, comme d'autre part le *module d'élasticité* de l'acier reste constant malgré l'amélioration considérable de sa qualité, l'utilisation de ces hautes résistances de

l'armature, sous forme de tensions proportionnées, conduirait à une fissuration inadmissible du béton tendu dans des poutres armées suivant la méthode ordinaire. La mise en traction préalable de l'armature apparaît donc comme une nécessité économique pour préserver le béton de la désagrégation.

La constance du module d'élasticité de l'acier a du reste un autre inconvénient. Le module du béton croît en effet sensiblement avec sa résistance à la pression ; la conséquence de cette discordance est que le facteur d'équivalence

$$n = E_a : E_b$$

diminue bien en dessous du chiffre déjà onéreux de

$$n = 10$$

si la qualité du béton majore le module  $E_b$  ; celui-ci peut dépasser de beaucoup la valeur type de 210 000 kg/cm<sup>2</sup> en cas d'emploi de procédés de compacité aussi énergiques ; la contrainte du béton à l'arête augmente alors avec la montée de l'axe neutre, ce qui diminue l'avantage économique de ces hautes qualités des matériaux, en l'absence de précontraintes. (A suivre.)

### Concours d'architecture pour les plans du Temple de Mathod-Suscévoz.

(Suite et fin.)<sup>1</sup>

N° 62. Très bonne disposition du plan. Tambour et porche manquent de profondeur. Architecture des façades convenable, mais manque d'unité dans les toitures. Les aménagements extérieurs, bien compris, ne nécessiteraient pas des frais importants.

N° 55. Plan bien distribué. Services reliés à la salle des catéchumènes par un dégagement un peu long. Architecture de la galerie en arcades pas heureuse. Manque d'unité dans le caractère des façades.

Le jury décide d'attribuer trois prix et de répartir ainsi la somme de Fr. 2000.— mise à sa disposition :

projets N° 14, motto « Campagne », 1<sup>er</sup> prix Fr. 1000.—

N° 62, motto « Lux », 2<sup>e</sup> prix Fr. 600.—

N° 55, motto « Terre Vaudoise », 3<sup>e</sup> prix Fr. 400.—

Le jury estime que les qualités architecturales du projet classé en premier rang étant nettement supérieures, il est désirable que l'auteur du projet soit chargé des études définitives.

L'ouverture des enveloppes révèle les noms des lauréats :

1<sup>er</sup> prix : M. Paul Lavenex, architecte, à Lausanne.

2<sup>e</sup> prix : M. André Barth, architecte, à Lausanne.

3<sup>e</sup> prix : M. d'Okolski, architecte, à Lausanne.

### Comparaisons entre la traction animale et la traction mécanique sur voies Decauville pour travaux de génie rural,

par U. R. RUEGGER, D<sup>r</sup> ès sc. techn.,  
chargé de cours à l'Ecole Polytechnique fédérale.

Le développement des travaux de construction dans divers domaines a donné lieu à une augmentation progressive des applications mécaniques et des commandes par moteurs des engins utilisés sur les chantiers. Il paraît indiqué d'employer les mêmes installations ou des outillages analogues pour les travaux de génie rural, ce qui, pour beaucoup de cas, est complètement justifié. C'est aussi souvent exact pour les

transports de matériel, en particulier pour les chemins de fer Decauville.

Toutefois, la traction sur voies Decauville pour travaux de génie rural n'exige pas nécessairement des véhicules à moteur. Au contraire, ces travaux à transports intermittents, souvent à faibles parcours et à résistance modeste — il s'agit pour la plupart des cas de transports en palier — présentent des tonnages journaliers assez restreints. Aussi l'utilisation, soit le rendement financier des tracteurs mécaniques peut devenir très faible.

En effet, il y a lieu d'examiner, pour chaque cas particulier, si l'emploi d'une locomotive Decauville pour les transports de terre, de gravier, etc., est d'un rendement avantageux ou s'il ne serait pas préférable de se servir de la traction animale. Pour éclaircir cette question, examinons les caractéristiques de la traction avec des locomotives Decauville et celles des animaux de traction (chevaux, mulets).

L'effort de traction qu'un cheval peut déployer est bien connu ensuite de longues expériences pratiques. Pour un cheval du poids  $Q$ , en kg, on trouve un effort de traction  $P$ , en kg, qui varie avec la vitesse de marche. Pour tenir compte de la traction avec des locomotives Decauville et celles des animaux de traction (chevaux, mulets).

$$p = \frac{100P}{Q} \text{ s'impose.}$$

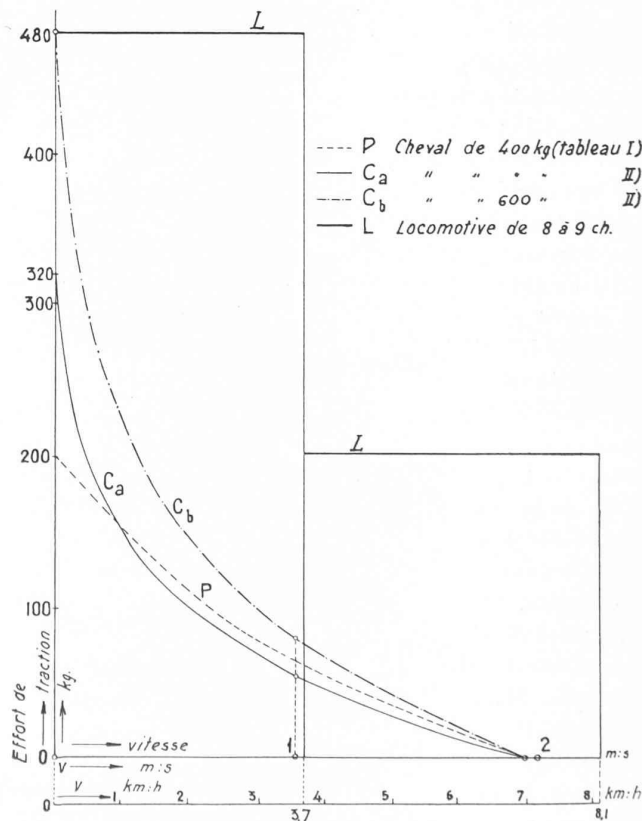
Une relation approximative entre  $p$  et la vitesse de marche  $v$ , en m/s, est donnée par la formule suivante<sup>1</sup> :

$$v = 0,21 (5 - 0,1p) + 0,007 (5 - 0,1p)^3$$

Cette relation est chiffrée par le tableau I et représentée par le diagramme ci-dessous, pour un cheval pesant  $Q = 400$  kg ; elle correspond à une courbe parabolique (parabole cubique)  $P$ .

<sup>1</sup> « Hütte », Des Ingenieurs Taschenbuch, tome II, édition 1908, page 4. et Lechals, Mémoire sur le roulage, Annales des ponts et chaussées, 1879.

(Suite page 19).



Efforts de traction (palier).

<sup>1</sup> Voir Bulletin technique du 2 janvier 1937, page 8.