

Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen
Band: 1 (1932)

Artikel: Modification artificielle de l'état de contrainte des barrages
Autor: Coyne, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-707>

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: 05.04.2026

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

MODIFICATION ARTIFICIELLE DE L'ÉTAT DE CONTRAINTÉ DES BARRAGES

KÜNSTLICHE SPANNUNGSMORDNUNG IN STAUMAUERN

ARTIFICIAL MODIFICATION OF STRESSING IN RETAINING WALLS

A. COYNE,

Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Paris.

La synthèse statique des constructions, suivant la définition qu'en a donné RABUT (Comptes-Rendus à l'Académie des Sciences, 1919), a pour objet „d'assurer à une construction son meilleur rendement en disposant, non seulement de ses dimensions résistantes, mais aussi, moyennant l'introduction de dispositifs spéciaux, temporaires ou permanents, de tout ou partie des paramètres vectoriels de la résultante des forces intérieures agissant sur une ou plusieurs sections de l'ouvrage“.

Le précédent le plus fameux qu'on en connaisse est celui qu'a imaginé M. FREYSSINET il y a quelques vingt cinq ans, et qui consiste à mettre une voûte en compression directe au moyen de vérins hydrauliques, de manière à corriger la poussée et à lui assigner une position précise, concertée à l'avance.

À l'occasion d'un problème particulier, nous avons été mis sur la voie d'applications nouvelles de la synthèse statique des constructions, mettant en jeu le sol même de fondation.

Ayant eu à rechercher les moyens de renforcer le profil de certains barrages poids, de type ancien, en vue notamment de leur surhaussement éventuel, nous avons proposé d'opérer comme suit:

Une rangée de trous étant percée à travers l'ouvrage, (fig. 1) jusque dans le sol de fondation, on introduit dans chacun d'eux une armature métallique que l'on scelle au fond du trou, en 00'.

L'armature étant libre sur le reste de sa hauteur, on exerce sur elle, à partir du couronnement, un effort de traction de bas en haut au moyen de vérins contrôlés par des manomètres.

La tension cherchée étant atteinte, la tête de l'armature est calée sur le couronnement du barrage. L'effort d'extension de l'armature est ainsi employé à créer directement des contraintes de compression dans la zone amont. En employant des fils d'acier à haute résistance, il n'y a pas d'impossibilité à loger dans un trou de 200 m/m de diamètre, ordre de grandeur qui est très loin de passer les moyens des sondeuses modernes, un tirant capable d'un effort localisé de 1000 tonnes, qu'on mesure avec précision.

On se rendra compte sur l'épure de la figure 1 des modifications profondes qu'on peut ainsi introduire dans l'état élastique du massif (les trous sont espacés de 4 m.).

Restait à savoir si le terrain serait en état de supporter des efforts de cette importance, d'autant mieux qu'il s'agissait en l'espèce d'un terrain de grès sableux, tendre, mêlé de marne et même par endroits de sable bouillant. Des essais ont donc été entrepris sous la direction éclairée de M. VERGNIEAUD, Ingénieur en Chef et DROUHIN, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Voici comment ils ont été faits :

L'armature, composée de 630 fils parallèles de 5 m/m de diamètre, en acier à haute résistance¹⁾ a été formée sur place, à la façon d'un câble de pont suspendu américain, et descendue au fur et à mesure dans un trou d'épreuve de 25 cm. de diamètre et de 29,00 m. environ de profondeur, comportant à sa partie inférieure deux renflements successifs de 30 cm' de diamètre et de 3,00 m. de longueur, situés respectivement à 21—24 m. et 25—28 m. de la surface (fig. 2).

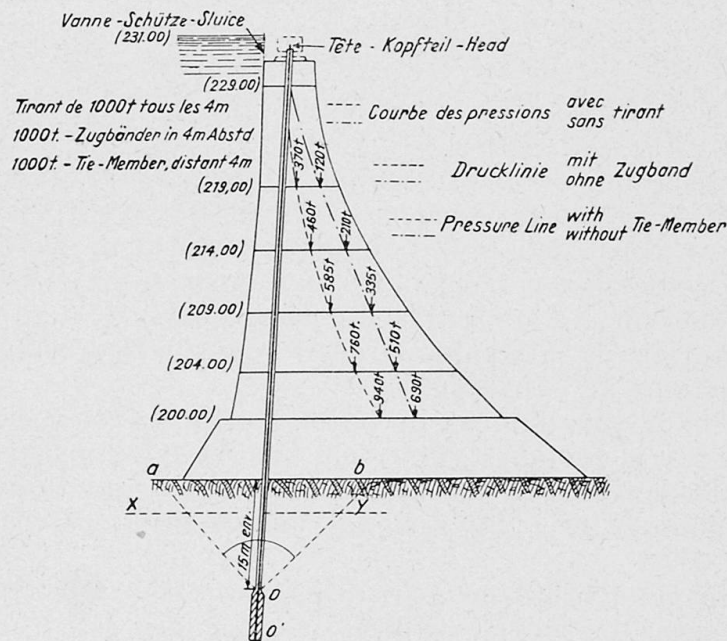


Fig. 1.

Les aciers ont été scellés par injection de ciment, sur 9 m. de hauteur environ à partir du fond. On s'est assuré qu'ils étaient libres au-dessus.

On a fait à l'armature une tête en béton armé de $1,50 \times 1,50 \times 0,87$ m., reposant, par l'intermédiaire de 4 vérins, ou de calages, sur un massif de répartition en béton armé, coulé à la surface du sol.

La mise en tension progressive du tirant a permis d'atteindre une tension de 1000 tonnes, au-delà de laquelle la tête en béton s'est brisée.

Ce détail mis à part, l'expérience a donc prouvé qu'il était possible de tirer du sol, dans les conditions qui précèdent, une réaction d'ancrage localisée de 1000 tonnes, chiffre qu'on s'était donné à priori d'après l'apparence du terrain.

Une deuxième épreuve effectuée dans des conditions comparables, a donné le même résultat, bien que le scellement ait été fait tout entier dans la zone de grès sableux et non dans le calcaire compact, à une quinzaine de mètres de profondeur.

¹⁾ Résistance à la rupture 130/140 Kgs m/m². Allongement 7 à 8 %.

Limite apparente d'élasticité 90/110 Kgs par m/m². Tension de service 80 kgs. par m/m².

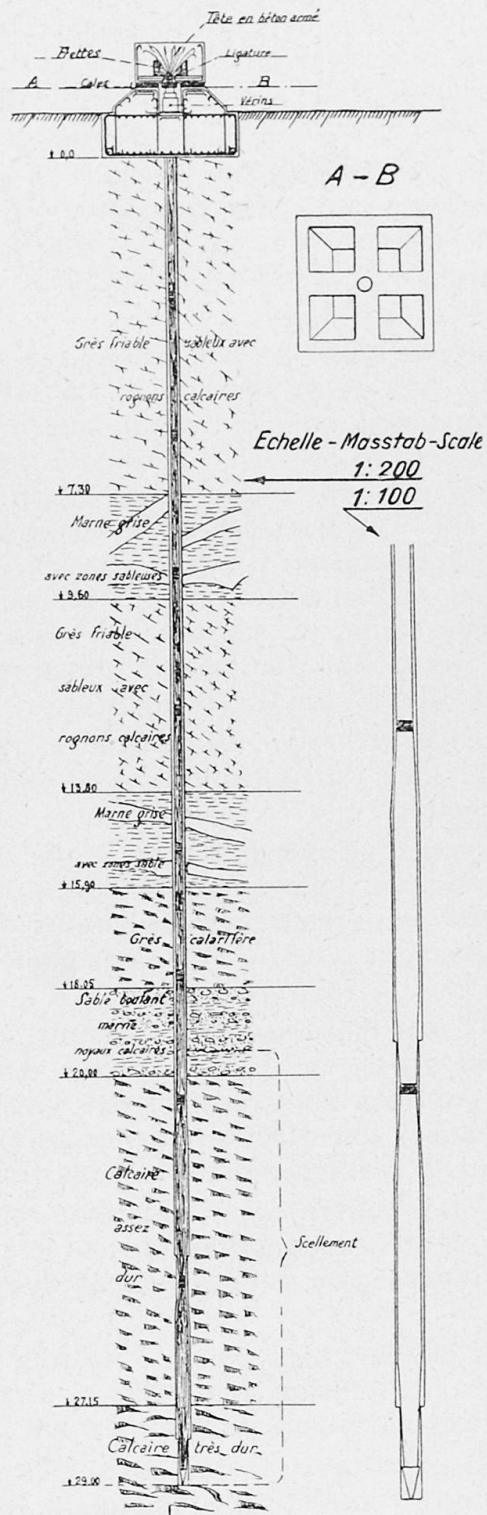


Fig. 2.

Ces résultats demandent à être interprétés. En effet, la résistance de l'ancrage, et notamment l'adhérence au terrain de la gaine ou carotte de ciment injectée autour des fils, dépend au premier chef de l'état de compression du sol dans la zone du scellement. Or, il n'y a pas identité, à cet égard, entre les circonstances de l'essai et celles de l'épreuve réelle à laquelle sera soumis l'ouvrage en service.

En effet, l'état de compression du sol dans la zone du scellement est fonction des actions diverses qui s'exercent aux abords (scellements voisins) ou à la surface du sol — poussée d'eau, poids du barrage, etc... — et surtout réaction d'appui des vérins destinés à la mise en tension de l'armature.

Cette dernière réaction serait prépondérante, en particulier, si le scellement d'essai était fait à très petite distance de la surface, directement sous l'appui des vérins. Pour peu que le terrain soit doué de frottement, un coincement se produirait entre le sol et la carotte de ciment adhérente aux fils, coincement d'autant plus énergique que l'action exercée par les vérins est plus puissante. Le sol fût-il en sable, l'impossibilité où il se trouve, sous l'effet de la compression énergique exercée par les vérins, d'augmenter de volume dans la zone du scellement conférerait à ce dernier une résistance croissante avec la charge et qui ne serait limitée que par l'adhérence individuelle des fils, au point qu'on pourrait en conclure que la résistance de l'ancrage est d'autant meilleure que l'effort qui lui est imposé est plus grand.

Il est pourtant bien évident que la résistance utile de l'ancrage, dans ce dernier cas, est nulle sous l'action d'une force extérieure, tel qu'un soulèvement de tout l'ensemble.

Pour pouvoir tirer quelque conclusion pratique de l'essai, il faut donc qu'il soit fait à une profondeur telle que l'état de compression du sol autour du scellement ne soit que peu affecté par les actions diverses s'exerçant à la surface, telles que la réaction d'appui des vérins ou les forces extérieures agissant sur l'ouvrage.

De toutes façons, il est d'ailleurs bien évident, toute question d'adhérence du scellement mise à part, qu'il faut s'ancrer assez profondément pour intéresser une masse de terrain dont on n'ait pas à redouter le déplacement (soulèvement ou glissement) sous l'action des forces extérieures agissant sur l'ensemble, compte tenu le cas échéant de la sous pression.

Cette masse est, en première approximation, représentée par le cône *oab* (fig. 1) s'il s'agit d'un tirant unique, ou par le prisme triangulaire de même profil, et d'épaisseur égale à l'écartement des tirants, s'il s'agit de tirants multiples.

En général, on lui donnera des dimensions telles que son poids seul soit au moins équivalent à la tension demandée au tirant. A l'échelle où on travaille, il serait en effet imprudent de compter sur la cohésion du sol.

Un point tout aussi important est de veiller à ce que le tirant dispose, en tout temps, d'une liberté complète d'allongement entre son scellement de pied et son point de fixation sur l'ouvrage — faute de quoi les précautions qui précèdent risqueraient d'être illusoire, soit que le tirant soit scellé trop haut dès le début, soit que sous l'effet d'un tassement du sol, le point de scellement se déplace et remonte vers le haut. La partie inférieure du tirant cessant dès lors d'être sous tension et ne travaillant plus que comme une armature ordinaire serait d'une efficacité pratiquement nulle.

Aussi est-il prudent d'enrober de bitume le tirant sur toute la hauteur comprise entre son scellement de pied et son point d'attache sur l'ouvrage.

Toute modification accidentelle de sa tension utile, dûe par exemple à un tassement du sol, instantané ou lent, pourra dès lors être connue avec précision, au moyen d'appareils d'auscultation disposés à demeure sous l'appui supérieur, et corrigée en tant que besoin. Une très forte tension des aciers est d'ailleurs nécessaire pour diminuer l'importance relative dudit tassement.

Sous les réserves qui précèdent, qui ne peuvent donner qu'un aperçu de la complexité des phénomènes en jeu, on peut considérer que le procédé revient à surcharger artificiellement la construction, en des points et suivant des directions quelconques, au moyen de lests prélevés dans le sol. Lests d'encombrement nul, de prix minime, assez puissants et assez maniables pour modifier à loisir l'état élastique du système, voire son équilibre statique, et créer de toutes pièces, à l'intérieur d'une structure géométrique qui ne demeure plus qu'une apparence, une structure mécanique entièrement différente.

L'originalité de la méthode tient à l'emploi du sol de fondation. A ce titre, elle peut être considérée comme un véritable procédé de fondation, qui n'a de valeur que si l'on parvient à créer de façon stable un état élastique artificiel de la fondation, comportant notamment la naissance dans toute la zone oab , de compressions sur des plans horizontaux tels que xy (fig. 1), compressions qui font intervenir tout le poids du cône oab dans l'équilibre de la superstructure.

On conçoit qu'en mauvais terrain il faille s'y reprendre à plusieurs fois pour obtenir le résultat cherché et combattre les tassements du sol. Inversement en bon terrain on pourra dans une certaine mesure être moins sévère sur les garanties de scellement et de liberté d'allongement à demander aux tirants. En même temps variera le dispositif d'ancrage de pied.

Il s'agit donc bien en réalité de la construction d'une fondation spéciale, d'un aménagement ou traitement mécanique du sol de fondation²⁾ dont on exploite à la fois la résistance et le poids pour le mettre en état de servir à la stabilité d'une construction, et de la défendre notamment contre le renversement et le glissement. A ce titre, l'analogie est évidente avec une fondation sur pieux. Mais ce sont des pieux qui travaillent à rebours et dont la résistance unitaire est de l'ordre de 1000 tonnes, à peu près dix fois plus que les pieux les plus résistants. Cet ordre de grandeur est nécessaire pour intervenir utilement et économiquement dans l'équilibre des grands ouvrages.

L'emploi d'aciers durs et les procédés de sondage et d'injection actuels sont absolument nécessaires au succès de l'opération, à laquelle quelques auteurs ont déjà pensé, CONSIDÈRE notamment, mais sans aboutir, faute sans doute de moyens suffisants.

Les essais dont nous avons rendu compte donnent au contraire lieu d'espérer qu'on se trouve bien en présence d'un moyen très puissant et très précis applicable à tous les ouvrages exposés à des poussées, barrages, culées de pont, écluses, tours de phare, murs de soutènement etc., et permettant de créer dans les massifs certains états élastiques artificiels, voire de modifier leur équilibre statique.

Ces interventions calculées dans l'équilibre des constructions sont du plus haut intérêt. Ressortissant à la synthèse statique, dans laquelle RABUT

²⁾ Et subsidiairement d'un moyen de l'ausculter, en surface et en profondeur.

voyait, avec raison, une nouvelle phase de l'évolution scientifique dans l'art de bâtir, elles procèdent nettement de la tradition française, comme suffiraient à le montrer les patronages illustres auxquels nous nous sommes référé.

Résumé.

Sous le nom générique de synthèse statique des constructions, RABUT a désigné tous les moyens qui ont pour objet d'introduire dans un ouvrage en construction des réactions internes susceptibles de mesure exacte et déterminées a priori de manière à abaisser le plus possible la fatigue maxima des matériaux.

On peut, dans le même ordre d'idées, en faisant intervenir le sol de fondation, exercer sur une construction des actions extérieures, mesurées exactement et destinées à créer dans l'ouvrage un état élastique artificiel, ou même à modifier son équilibre statique. A cet effet, des tirants d'acier scellés profondément dans le sol et logés dans des évidements pratiqués dans la construction sont mis en tension, jusqu'à une valeur fixée à l'avance au moyen de vérins prenant appui sur l'ouvrage.

L'ordre de grandeur des réactions unitaires envisagées d'après des essais en cours, est du millier de tonnes.

Moyennant certaines précautions relatives notamment à la profondeur de l'ancrage et à la liberté d'allongement des tirants, le procédé revient à surcharger artificiellement la construction, en des points et suivant des directions quelconques, au moyen de lests prélevés dans le sol. Lests d'encombrement nul, de prix minime, assez puissants et assez maniables pour modifier à loisir l'état élastique du système, voire son équilibre statique, et créer de toutes pièces, à l'intérieur d'une structure géométrique qui ne demeure plus qu'une apparence, une structure mécanique entièrement différente.

Ces interventions calculées dans l'équilibre des constructions sont du plus haut intérêt, notamment pour les ouvrages soumis à des poussées et en premier lieu pour les barrages.

Zusammenfassung.

In der Statik der Baukonstruktionen hat RABUT als „synthetisches“ Verfahren alle Maßnahmen bezeichnet, die darauf abzielen, in ein Bauwerk genau meßbare und im voraus zu bestimmende innere Kräfte so einzuleiten, daß die Maximalbeanspruchung des Materiales möglichst herabgesetzt wird.

Entsprechend diesem Gedankengang kann man den Baugrund dazu benutzen, auf ein Bauwerk genau bestimmbare Kräfte auszuüben, die darin einen künstlichen Spannungszustand erzeugen sollen; ja man kann sogar den Gleichgewichtszustand des Bauwerkes verändern. Zu diesem Zwecke werden stählerne Zugbänder tief in der Erde verankert und durch Aussparungen im Bauwerk hochgeführt. Diese Zugbänder erhalten mittels Spindeln, die sich auf das Bauwerk stützen, eine bestimmte, im voraus festgelegte Zugkraft.

Die Größe der auf Grund der laufenden Versuche erreichbaren Einzelkräfte beträgt etwa tausend Tonnen.

Gewisse Vorsichtsmaßregeln, insbesondere genügende Tiefe der Verankerung und ungehinderte Ausdehnungsmöglichkeit der Zugbänder vorausgesetzt, kann durch dieses Verfahren ein Bauwerk an beliebigen Punkten und in beliebiger Richtung künstlich belastet, bzw. auf einfache, wirksame, aber doch billige Weise mit zusätzlichen Gewichten versehen werden, mit deren

Hilfe der Spannungs-, und in einzelnen Fällen sogar der Gleichgewichtszustand, in geeigneter Weise geändert werden können. Auf diese Weise gelingt es, im Inneren eines geometrischen, nur mehr scheinbar wirksamen Systems ein vollkommen neues mechanisches System zu schaffen.

Diese Maßnahmen sind für das Gleichgewicht der Bauwerke, insbesondere für Konstruktionen, die große Schübe auszuhalten haben (z. B. Stau-mauern), von höchster Bedeutung.

Summary.

Under the generic name of "static synthesis of structures", RABUT designates all the means which have for their object to introduce into a work under construction internal reactions capable of being exactly measured and determined *à priori*, in such a way as to reduce as far as possible the maximum stressing of the materials.

It is possible, following out this line of thought, to make use of the foundation ground to submit a structure to external forces, measured exactly and intended to create in the structure an artificial elastic state, or even to change its static equilibrium. For this purpose, steel tie rods, anchored deeply in the ground and led up through recesses made in the structure, are put in tension by means of jacks to an amount fixed in advance, the jacks being supported on the structure.

The magnitude of the individual forces to be expected, as indicated by the tests in progress, is of the order of a thousand of tons.

Taking certain precautions particularly with regard to the depth of the anchorage and to the freedom of stretching of the rods, the procedure consists in overloading the structure artificially at some points and in any desired directions, by means of the weight of the ground. These weights takes up no room, are inexpensive, and are powerful enough and easy enough to manipulate to change as desired the elastic state of the system or its static equilibrium, and to create in all parts, in the interior of a geometric structure which does not remain more than an appearance, a mechanical structure that is entirely different.

These calculated interventions in the equilibrium of structures are of the greatest interest, particularly for structures that have to withstand pressure, such as dams and retaining walls.

Leere Seite
Blank page
Page vide