

Zeitschrift: Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes
Band: 10 (1884)
Heft: 4

Artikel: Le pont du Forth
Autor: Gaudard, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-11161>

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: 13.04.2026

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

BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISANT 4 FOIS PAR AN

Sommaire : Le pont du Forth, par M. J. Gaudard. (Avec planche.) — Le réseau météorologique suisse, par R. Guisan, ingénieur. (Second article.) — Les explosifs dans les mines à Griso et leurs remplaçants éventuels, par Ch. de Sinner, ingénieur. (Troisième article.) — Chronique : Les nouveaux pavages; dynamomètre enregistreur du Dr Frankel; matériel roulant des lignes de chemins de fer; procédé pour le durcissement des pierres tendres.

LE PONT DU FORTH

par M. J. GAUDARD

(Avec planche.)

Le bulletin de notre société a donné en 1881 une esquisse du projet du pont sur le Forth, d'après des renseignements obligés dus à M. Benjamin Baker, l'ingénieur en chef de cette vaste entreprise et auteur du projet avec M. Fowler. Nous trouvons aujourd'hui, dans le compte rendu d'une conférence faite à Montréal en 1884 par M. Baker, de nouveaux détails accompagnés d'un dessin dont nous extrayons la petite planche ci-jointe, comme complément et rectification à celle de l'article précédent. Tout en conservant le type général à consoles équilibrées ou *cantilevers*, calculé par M. Allan Stewart, on en a modifié le lattice, fait maintenant de grands croisillons dont les contre-fiches sont des tubes et les tirants des membrures à doubles parois en treillis. Les mêmes formes respectives sont adoptées pour l'arc inférieur et pour la semelle rampante des fermes. Enfin les trois cantilevers étant assis sur des piles doubles, soit sur des groupes de quatre piliers cylindriques, il est résulté de ce chef une légère réduction des deux grandes portées, arrêtées ainsi à 518^m15 entre les axes des tours en maçonnerie, au lieu de l'ancienne cote 527^m30.

L'entreprise a été adjugée à MM. Tancred, Arrol et C^o le 21 décembre 1882 pour le prix de 1 600 000 livres sterling, et les travaux ont commencé en janvier 1883. Les chantiers et ateliers, embrassant une aire de 8 hectares, communiquent au North British Railway, et par un plan incliné funiculaire se relie à un pont provisoire en charpente de 670 m. de long et 15 m. de large, allant de la rive de South Queensferry au premier groupe de quatre piliers cylindriques. Sur l'îlot d'Inch Garvie, ainsi qu'à la rive nord, côté Fife, se trouvent des approvisionnements, des bureaux et des échafaudages en fer ancrés au rocher.

Les piles des viaducs d'approche et les piles terminales des cantilevers sont parementées en granit d'Aberdeen; l'intérieur est en béton ou blocage au ciment, avec assises de libages espacées en hauteur de 3^m65. Les fondations se sont faites au moyen de batardeaux.

Au groupe de quatre piliers de South Queensferry, l'argile étant d'une extrême dureté, on a eu recours au système pneumatique, avec caissons de 21^m30 de diamètre descendus à des profondeurs de 21 à 27 mètres sous hautes eaux. Le toit de la

chambre à air était supporté par quatre poutres en lattice de grande hauteur recroisées par des poutres plus petites. Une double paroi intérieure, à 2^m13 de l'extérieure, avec des diaphragmes verticaux, formait une rangée de cellules périmétriques, qu'on pouvait bétonner selon le besoin durant le fonçage même, s'il devenait nécessaire de concentrer la charge sur certains côtés pour rectifier la descente. Le caisson est muni de trois cheminées d'ascension, dont une pour les ouvriers et les deux autres pour l'extraction des déblais. Le sasement de ces derniers s'opérait au moyen de portes horizontales glissant au travers des cheminées et enclenchées de façon que l'une ne pût s'ouvrir avant que sa conjuguée fût refermée.

Anch Garvie, deux des quatre fondations tombaient sur le sommet de l'îlot et ont pu, avec de la patience, s'exécuter en saisissant les époques de basses mers de vives eaux, sauf les délais qu'apportaient les vents; mais on était déterminé à ne se contenter d'aucune fondation où le sol n'eût été mis à sec. Quant aux deux autres piliers, établis sur une pente du rocher, il fallut au préalable niveler le lit au moyen de sacs de sable pour asseoir les caissons pneumatiques et pouvoir excaver le sol dont le point le plus bas est à 22^m85 sous haute mer.

Au-dessus des fondations, les maçonneries des grosses piles sont formées d'assises de pierre d'Arbroath en liaison horizontale et verticale, et de parements en granit maçonnés à sec à l'intérieur de caissons provisoires en fer. De puissants chainages circulaires en fer rendent les appareils monolithiques. Il entre en outre dans chaque pilier cylindrique 48 boulons d'acier de 63 mm. de diamètre et de 7^m30 de longueur, destinés à retenir les plaques d'appui de la superstructure.

Tout l'ouvrage métallique, y compris les petites travées de 51^m20, sera exécuté en acier, par raison d'économie. Pour obtenir les pièces cylindriques, de diamètres variables de 3^m66 à 1^m52, on courbe, à l'aide d'une presse hydraulique de 2000 tonnes de puissance, des plaques d'acier ayant jusqu'à 4^m88 de longueur et 31 mm. d'épaisseur, après les avoir au préalable réchauffées bien uniformément dans un four à gaz spécial. On les soumet encore à froid à une pression suffisante pour effacer toute distorsion. Les bords coupés à la cisaille manifestent une tendance à provoquer la fente des pièces, si l'on n'a soin de les soumettre ensuite à une passe de rabotage. Les trous sont forés à l'aide de machines spéciales. Les spécifications prescrivent une qualité d'acier ne cédant par compression que sous 55 à 58 kg. par millimètre carré avec allongement de 17 0/10 sur barrette de 20 cm., et cédant en tension sous 47 à 52 kg. avec

allongement de 20 %. L'acier à rivets doit présenter une force tensile de 42 kg. avec élongation de 30 % et une résistance à cisaillement de 35 à 38 kg.

Sur les piles l'arc tubulaire inférieur forme une connexion avec les plaques d'assise supérieures, les tubes verticaux et diagonaux et les contreventements. L'étude de cette jointure a conduit à faire graduellement dégénérer le tube vers ce point en un caisson d'assemblage, armé en dedans de diaphragmes horizontaux et verticaux, pièce extrêmement robuste et rigide prêtant toute facilité d'attache dans les diverses directions. Le fond, en plusieurs feuilles superposées, repose sur une plaque d'assise inférieure, également composée de tôles rivées ensemble et boulonnées à la pile. A l'exception de l'une des quatre tours de chaque groupe, sur laquelle la superstructure est ancrée au moyen d'une grande clef circulaire, les assises de calage restent libres de glisser entre certaines limites, pour autant du moins que les variations de température seront assez fortes ou aidées des secousses du vent pour vaincre la résistance de frottement. Comme on l'a dit, les maçonneries sont armaturées de manière à ne pas se disjoindre sous les tiraillements ; il est d'ailleurs question d'envelopper de quelque matière non conductrice les portions horizontales de tubes s'étendant d'une tour à l'autre et constituant ainsi une sorte d'entretoisement entre ces tours.

Par suite du dédoublement de leurs appuis centraux, les deux cantilevers extrêmes, qui sont en outre amarrés à leur pile terminale, ont par le fait trois points d'appui astreints à garder leurs niveaux relatifs. C'est une dérogation au principe de ce type de pont, destiné à se prêter sans surcroît de fatigue à quelque tassement des piles ; mais dans l'espèce, la résistance extrême du terrain ôte toute appréhension à cet égard. La pression sur la base de fondation ne dépassera pas 7 kg. par centimètre carré, y compris l'effet du vent et sans déduction de l'eau déplacée.

Le Board of Trade n'ayant imposé que la condition d'un effort limite effectif n'excédant pas le $\frac{1}{4}$ de la force ultime de l'acier, sans égard à la proportion de charge morte et mobile, on a voulu cependant établir des distinctions basées sur les effets dynamiques, sauf à porter en ce cas à $\frac{1}{3}$ le facteur de sécurité. On a admis :

Que, pour charge constante, la force tensile finale s'élève à 47 kg. par millimètre carré ;

Qu'en cas de charge variant de zéro au maximum, la force peut aller de 31 à 35 $\frac{1}{2}$ kg., suivant que les alternances de chargement et déchargement sont fréquentes ou rares ;

Qu'enfin si les efforts passent de compression à tension égale, la résistance de rupture n'est plus que de 16 à 24 kg., suivant la fréquence.

Le tiers de ces divers chiffres sera la limite du travail pratique pour les pièces essentiellement tendues. Quant aux comprimées, M. Baker, d'après son expérience, leur impose comme maximum le 40 % de l'effort capable de faire naître une déviation latérale, effort qu'il calcule par des formules empiriques spéciales.

Une attention particulière a été consacrée aux effets que le vent pourra produire. On a compté sur une pression susceptible d'atteindre 273 kg. par mètre carré, et attribuée à une surface double de la surface pleine en élévation, avec déduction de

50 % dans le cas de tubes. Un pareil ouragan exercerait une force latérale totale de 8000 tonnes sur toute la superstructure comprise entre les piles terminales des cantilevers de rives. Sous cette épreuve, cumulée avec le passage de la surcharge mobile, les pièces les plus fatiguées arriveront à travailler à 11 kg. 8 par millimètre carré.

Mais les ingénieurs du pont considèrent un tel vent comme fort exagéré, appliqué à d'aussi vastes surfaces. Par des expériences comparées sur une paroi de 28 m² et sur une plaque de 14 décimètres carrés, ils ont constaté que la pression spécifique est toujours moindre (quelque chose comme les $\frac{2}{3}$) sur la grande surface que sur la petite ; car celle-ci attrape par instants certains filets d'air impétueux que la grande paroi compense et dissémine. Des coups de vent, comme on rapporte en avoir observé à Valencia, doués d'une vitesse de plus de 70 m. par seconde ou d'une pression correspondante de 540 kg., ne doivent s'entendre que d'observations anémométriques maximales sur de très petits appareils, non d'un effet réparti et instantané ressenti sur de larges étendues.

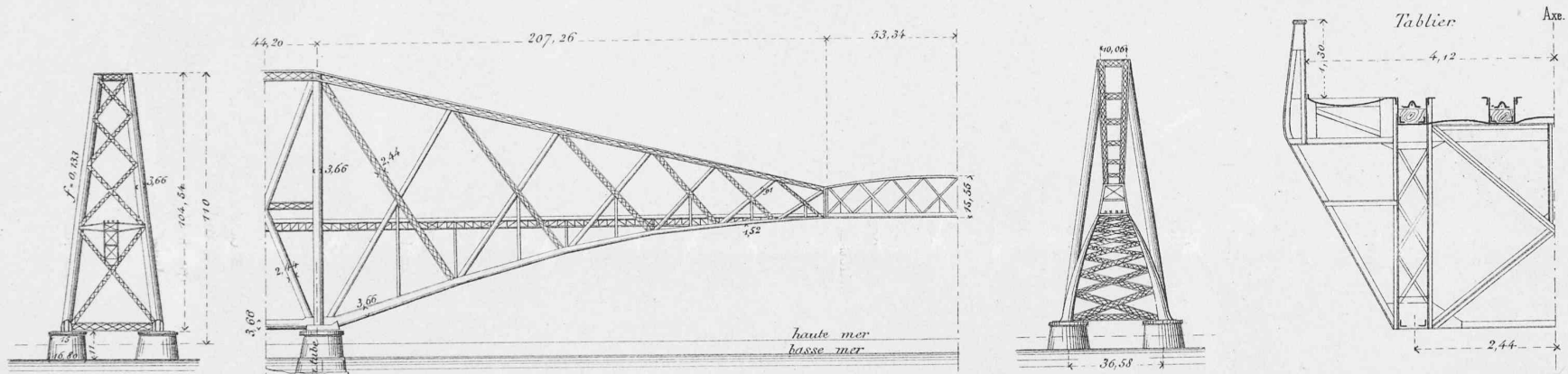
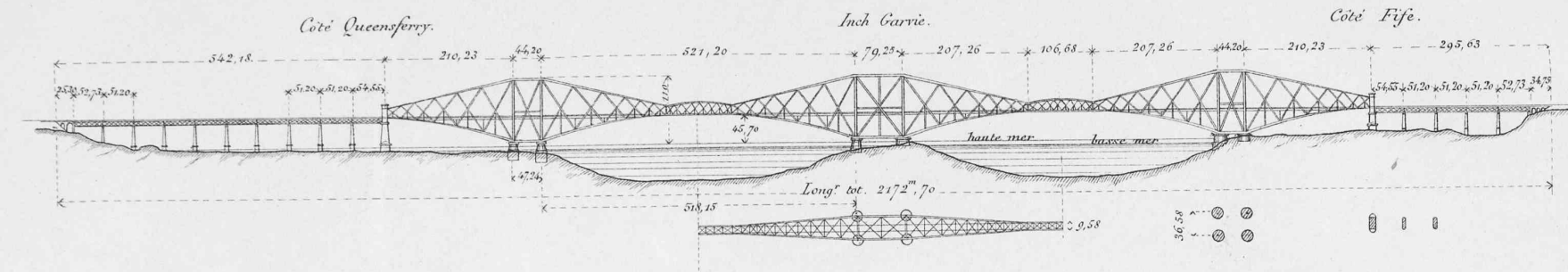
D'autres résultats expérimentaux ne sont pas moins utiles à noter. D'après Thibault, lorsque deux plaques se masquent avec un écartement égal à leur côté, la poussée totale du vent s'élèverait à 1,7 fois la valeur afférente à une plaque simple ; or M. Baker ne trouve pareil résultat qu'avec une distance de 3 $\frac{1}{2}$. D'après lui, deux disques écartés de 1, 2, 3 et 4 diamètres donnent les efforts respectifs : 1 ; 1,4 ; 1,6 ; 1,8. Et, chose d'ailleurs remarquable et rassurante à l'endroit des ponts à poutres nombreuses, l'intercalation de nouvelles plaques entre les deux premières n'aggrave guère la prise du vent. D'un autre côté, les planchers pleins, quand ils sont au ras des semelle de poutres, atténuent la pression en guidant l'écoulement de l'air ; un tube rectangulaire, comme celui de Britannia, serait assimilable à un cube, n'occasionnant qu'une pression égale aux 0,8 de celle sur plaque mince. Pour une travée à deux poutres pleines reliées seulement en dessous par un plancher, M. Baker obtient 0,9.

Lorsqu'il traverse des parois en treillis, le vent conserve naturellement plus d'action qu'en arrière de plaques pleines. Si, par exemple, les évidements sont de $\frac{1}{2}$ de l'aire totale, une seconde plaque augmente la résistance au vent de 30 %, de 66 % et de 94 % aux écartements respectifs de 1, de 2 et de 4 diamètres.

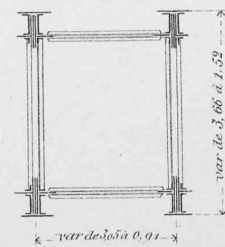
Une membrure supérieure complète du pont du Forth, composée de deux poutres-caissons évidées, accuse une résistance égale aux 1,75 de celle que donnerait une simple surface pleine ; l'une des poutres, prise isolément, donne 1,15. Pour deux tubes écartés de 7 diamètres et pourvus entre eux de leurs contreventements lattices, le vent compte seulement pour $\frac{1}{40}$ en sus de son effort sur une plaque plane de même projection. Le contreventement qui, traité isolément, résistait pour les 60 %, n'agit que pour 5 % engagé entre les tubes.

Quand viendront les grandes phases de l'édification du pont du Forth, l'intérêt sans doute ira en croissant. A coup sûr, le montage en porte-à-faux des immenses travées constituera un prodige d'habileté et de puissance dans les moyens. A côté des anxiétés que ne dissimule pas M. Baker comme inséparables d'une entreprise sans précédents, on reconnaît en lui le courage, la foi au succès, l'homme enfin qu'appelait une tâche

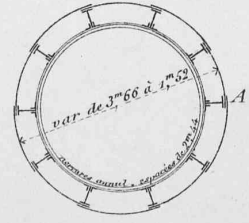
PONT EN CONSTRUCTION SUR LE FORTH.



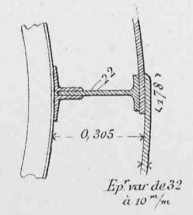
Membrans de tension en caissons-lattices.



Tubes de compression



Détail A.



Poids d'acier prévu pour la construction.

Cantilevers	40 000 tonnes
Poutres centrales	1 600 "
Travées d'abords	2 800 "
Imprévu	1 600 "
Total	46 000 tonnes.

Extrait de la notice:
The Forth bridge
by B Baker
read at the British Association
Montreal 1884.

Seite / page

leer / vide /
blank

vraiment effrayante pour des praticiens moins consommés. Mais aussi tient-il peu à ce qu'on le chicane sur des considérations d'ordre secondaire. A qui objecte que l'aspect sera peut-être disgracieux, il réplique par ce mot de Bacon qu'une maison est faite pour y vivre, non pour la regarder. Chacun en sera d'accord; qu'il arrive, ainsi que nous le souhaitons, à un entier succès, et cette solution unique en son genre aura par cela même fait ses preuves de vérité et d'élégance.

LE RÉSEAU MÉTÉOROLOGIQUE SUISSE

par M. RENÉ GUISSAN, ingénieur.

(SECOND ARTICLE)

L'installation des stations, faite par MM. Hermann & Studer sous la direction des membres de la Commission ou des chefs de groupes, prit huit mois.

Les heures d'observation ont été fixées à 7 heures du matin, 1 heure après-midi, et 9 heures du soir, comme se prêtant mieux aux exigences de la vie domestique en Suisse.

Les observations portent sur les points suivants :

1° La pression de l'air ; 2° sa température ; 3° son humidité ; 4° la direction et la force approximative du vent ; 5° la quantité de pluie ou de neige ; 6° l'aspect du ciel ; 7° les phénomènes extraordinaires ; 8° les principales époques de la végétation.

En tenant ainsi compte de tous les éléments, on obtiendra pour chaque station la physionomie météorologique complète et particulière qui la caractérise et servira à divers égards comme point de comparaison.

On demanda aux observateurs, sans le leur imposer, de vouloir bien le 15 janvier et le 15 juillet faire pendant 24 heures des observations horaires ou bi-horaires, cela permet de juger de l'accord des observations avec celles des stations fondamentales et de la manière dont se propagent les changements passagers à travers la Suisse.

Tels qu'ils sortent des mains des observateurs, les tableaux mensuels ne sont ni complets ni comparables. Il faut par exemple réduire les chiffres du baromètre à 0°, appliquer les corrections constantes des instruments, traduire les données du psychromètre en valeur d'humidité, calculer les moyennes, etc. Ce travail long et ennuyeux, incombe aux chefs de groupes et au bureau central.

Compte du service météorologique.

Dépenses.

A) Compte de Hermann et Studer.

Instruments	Fr. 15 160 —
Frais de voyage	» 4 594 37
Indemnités de déplacement	» 1 265 —
Divers	» 57 50
Accidents aux instruments, etc.	» 187 35
	Fr. 21 264 22
B) Impression de formulaires et règlements	» 1 225 50
C) Frais de la commission	» 3 439 14
Total des dépenses	Fr. 25 928 86

Recettes.

Subsides fédéraux	Fr. 16 000 —
» des cantons	» 8 275 76
» de sociétés et de particuliers	» 2 092 50
Total des recettes	Fr. 26 368 26

Solde en caisse en avril 1864, 439 fr. 40 cent.

Situation actuelle du service météorologique.

La période d'essai pour laquelle les observateurs s'étaient engagés avait été fixée à trois ans, soit jusqu'à la fin de novembre 1866, mais comme on avait reconnu l'importance du réseau météorologique suisse, on chercha à créer de nouvelles stations, ainsi :

En 1865, Grindelwald ; en 1866, Davos, Gersau, Kaiserstuhl, le Pont, Val Sainte, puis à l'expiration des trois ans on put, grâce au dévouement des observateurs, non seulement continuer les observations dans la plupart des stations (49) mais en organiser de nouvelles (47) qui ont fonctionné plus ou moins longtemps. En 1884 nous avons 83 stations en fonctionnement.

La commission, après ses trois ans d'expériences, résolut de supprimer douze stations, attendu que plusieurs d'entre elles, par suite d'une situation analogue, offrent une marche à peu près identique et que leur maintien augmenterait sans compensation le travail déjà assez considérable du bureau central. Ces considérations sont surtout frappantes pour plusieurs stations de la plaine, dont plusieurs furent complètement abandonnées, d'autres réduites à de simples stations thermométriques et udométriques, puisque la température et la quantité d'eau tombée sont les deux éléments les plus variables de lieu en lieu, et en même temps les plus aisés à observer. Par contre on reconnut l'importance des stations de montagnes et ce furent celles-ci qu'on chercha à développer.

Les stations complètement supprimées furent : Dizy, Gliss, Ilanz, Königsfelden, Morges, le Sentier, Stanz, Zurzach, Mendrisio.

D'autres furent transformées en stations thermométriques et udométriques. Enfin quelques-unes encore cessèrent d'exister par le fait que les observateurs ne purent continuer ce travail. (Deux stations en 1867, quatre en 1868, une en 1870 et une en 1871.)

En 1876, on put, grâce à l'appui du département fédéral de l'Intérieur, centraliser à Zurich par dépêches télégraphiques les observations journalières des stations importantes et créer pour la Suisse un bulletin météorologique quotidien, analogue à celui de Paris, et qui non seulement fut fort apprécié du public, mais ne tarda pas à rendre de grands services à l'agriculture. (Voir, pour la météorologie agricole, le remarquable rapport de MM. Payen et Barral dans le bulletin de l'observatoire de Paris de 1864.)

En 1877 la Commission météorologique de la Société helvétique des sciences naturelles, voyant le développement que prenait son champ d'activité et le succès du bulletin météorologique quotidien, estima qu'une réorganisation de ce service devenait tout à fait nécessaire, afin de lui assurer une existence durable. A cet effet une conférence réunit la commission mé-