

**Zeitschrift:** IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen

**Band:** 7 (1943-1944)

**Artikel:** Un rapport inconnu de Navier

**Autor:** Stüssi, F.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-7991>

### 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:** 17.01.2026

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

# UN RAPPORT INCONNU DE NAVIER.

EIN UNBEKANNTES GUTACHTEN L. NAVIER'S.

AN UNKNOWN REPORT BY L. NAVIER.

## Remarques préliminaires.

1. Au mois de novembre 1825, G. H. DUFOUR (1787—1875, Général de l'armée suisse dans la guerre de «Sonderbund»), a soumis le projet d'un pont suspendu avec des câbles en fil de fer pour le «Grand Pont» à Fribourg; à son instigation, L. NAVIER fut chargé d'en faire l'expertise. Au cours de recherches sur les travaux techniques de G. H. DUFOUR<sup>1)</sup>, je découvris récemment cette expertise, datée du 20 mai 1826 et restée apparemment inconnue jusqu'ici. Je la soumets ci-après avec l'aimable autorisation des Archives d'Etat de Genève à qui le manuscrit appartient, car elle contient plusieurs indications précieuses qui me paraissent intéressantes à divers points de vue.

Cette expertise est un exemple caractéristique de la conception technique et constructive de NAVIER. C'est cette conception si particulière qui lui a permis de créer une statique des constructions proprement dite, telle qu'elle a été établie dans les deux œuvres principales «Rapport et mémoire sur les ponts suspendus» 1823 et «Résumé des leçons sur l'application de la mécanique» 1826. En l'année 1826, NAVIER était à l'apogée de sa vie; en automne de cette même année, lors de la construction du «Pont des Invalides» à Paris, surgirent les incidents regrettables qui conduisirent au printemps suivant à la démolition très inopportunne du pont presque terminé<sup>2)</sup>. En feuilletant l'expertise retrouvée et en constatant avec quel soin et quel intérêt NAVIER traitait tout particulièrement les questions constructives, en prenant aussi connaissance des deux modestes allusions au «Pont des Invalides», contenues dans l'expertise et qui nous font sentir la fierté bien légitime du créateur pour son œuvre, nous pouvons mesurer combien l'épisode du «Pont des Invalides» dut l'affecter douloureusement.

Un certain passage dans l'expertise de NAVIER éveillera tout spécialement l'intérêt des spécialistes. C'est celui où il traite le pilier central et où il dit: «Pour qu'il fût permis de compter sur la masse entière de la pile, il serait nécessaire que la maçonnerie fût pénétrée de bas en haut par des tiges de fer...»; ceci signifie que NAVIER a exprimé de manière non équivoque l'idée fondamentale du béton armé, à savoir que le manque de résistance à la traction du béton (ou de la maçonnerie) doit être compensé par l'adjonction de tiges de fer. Par conséquent, l'historique du béton armé remonte de plusieurs décades en arrière, contrairement à ce qu'on croit en général

<sup>1)</sup> Les manuscrits des mémoires techniques de G. H. DUFOUR, qui appartiennent à sa petite-fille, Madame de Beaumont-L'Hardy, et les esquisses de ses projets de même que les rapports qui sont la propriété des Archives de l'Etat de Genève, sont actuellement examinés en vue d'une publication partielle. Le travail a été réparti entre mes Collègues F. BAESCHLIN (Géodésie et topographie), L. KOLLROS (Géométrie descriptive et perspective), H. FAVRE (mécanique et hydraulique) et moi-même (Théorie de l'élasticité et construction des ponts).

<sup>2)</sup> Voir p. ex. F. STÜSSI, «Baustatik vor 100 Jahren — die Baustatik NAVIERS», Schweiz. Bauzeitung, Band 116.

2. Une description sommaire du project de DUFOUR est nécessaire à la compréhension de l'expertise de NAVIER. Il nous fut malheureusement impossible de retrouver les plans de construction proprement dits; par contre, nous pûmes reconstruire de manière assez conforme la vue générale du pont (Fig. 1) d'après une esquisse de DUFOUR, de même qu'une coupe en travers (Fig. 2) d'après le texte de son rapport explicatif. DUFOUR a prévu la construction d'un pont suspendu au-dessus de la vallée de la Sarine large d'environ 250 m avec pilier central et tablier au-dessus de la construction. La construction en bois est composée de trois rangées de fermes arquées d'une portée respective de 15 m environ; ces fermes reposent, à l'aide de fortes poutres transversales, sur les 20 câbles porteurs répartis en deux groupes situés entre les 3 plans des fermes, chaque câble étant formé de 30 fils de fer (No. 18) et ayant un diamètre de 60 mm et une section de 2250 mm<sup>2</sup>. Le tablier recouvert de deux couches, a une largeur de 5,0 m; deux trottoirs d'une largeur de 1,17 m (4 «pieds bernois») chacun, sont réservés aux piétons. Le pont est calculé pour une charge de 376 t par ouverture, dont 302 t proviennent du poids propre et 74 t de la charge utile (1060 personnes ou 9 chars lourds). Le pilier central a une hauteur d'environ 45 m et les sections au sommet et à la base mesurent respectivement 8,5 × 4,1 m et 10,0 × 7,0 m; afin d'en diminuer le poids, la maçonnerie n'est pas pleine, mais contient des vides. Le pilier repose sur une fondation sur 99 pieux, dont chacun se trouve chargé d'environ 64 t.

DUFOUR motive le choix du système proposé par les considérations suivantes: Le tablier formant le dessus du pont, la construction proprement dite (câbles et construction en bois) est à l'abri de la pluie et de détériorations malveillantes. En plus, aucun obstacle ne vient intercepter la vue dont on jouit du pont et qui s'étend librement dans toutes les directions. Il est facile d'aménager à la hauteur des câbles une passerelle de service pour la construction et l'entretien du pont. Les accès ne sont pas gênés par des câbles de retenue comme c'est le cas des ponts à tablier suspendu, et le pilier intermédiaire devient moins haut et ne nécessite pas de percée pour l'aménagement d'un portail. Envisageant une solution sans pilier intermédiaire qui conduirait à une portée inconcevable à l'époque, de plus de 250 m et telle qu'elle fut réalisée quelques années plus tard par CHALEY<sup>3)</sup>, DUFOUR estime le coût d'une telle construction sensiblement plus élevé. DUFOUR se rend compte que la disposition de son pont nécessite une plus grande dépense de bois (indigène!) que ne le ferait un pont à tablier suspendu; mais cette augmentation du poids propre a d'autre part un avantage; DUFOUR l'exprime en disant: «...la masse du pont étant plus grande, il aura bien plus de stabilité au passage des lourdes charrettes» et il montre ainsi qu'il a une vision claire et nette de l'efficacité de la traction des câbles ou, ce qui revient au même, de l'influence de la déformation à laquelle sont soumis les ponts suspendus ancrés.

Un pont de disposition analogue à celui décrit ici, avec tablier situé au-dessus de la construction, mais d'une portée essentiellement plus petite, a été réalisé par DUFOUR lors de la construction du pont des Bergues à Genève<sup>4)</sup>.

<sup>3)</sup> CHALEY: Pont suspendu de Fribourg. Annales des Ponts et Chaussées, 1835, 1<sup>er</sup> semestre.

<sup>4)</sup> G. H. DUFOUR: Description d'un pont construit à Genève d'après un nouveau mode de suspension. Bibliothèque universelle, Novembre 1834.

G. H. DUFOUR: Pont construit à Genève. Annales des Ponts et Chaussées 1835, 1<sup>er</sup> semestre.

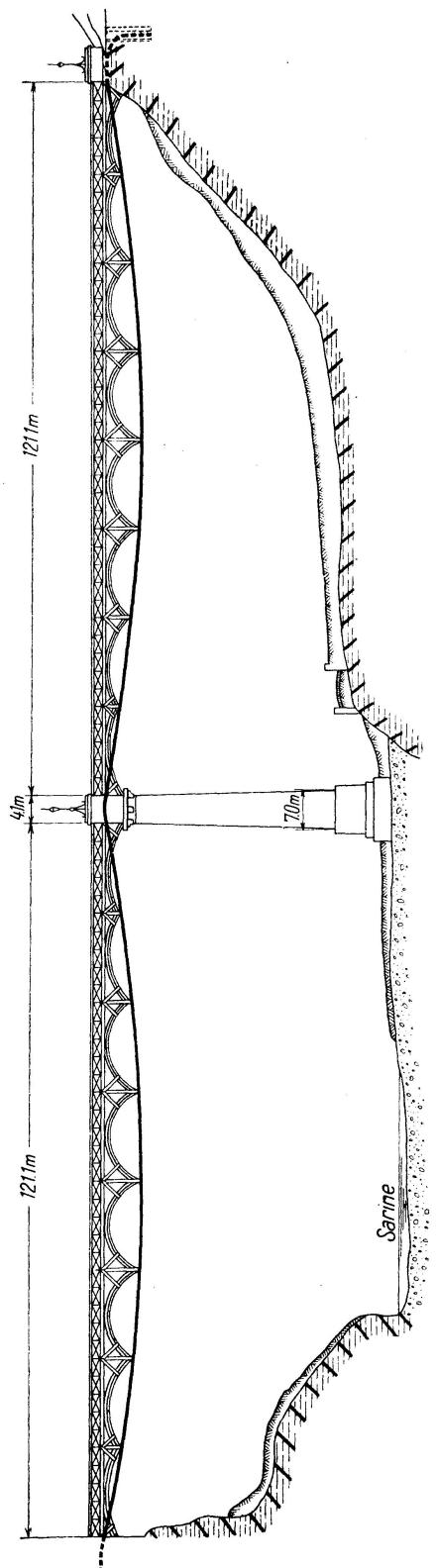


Fig. 1.

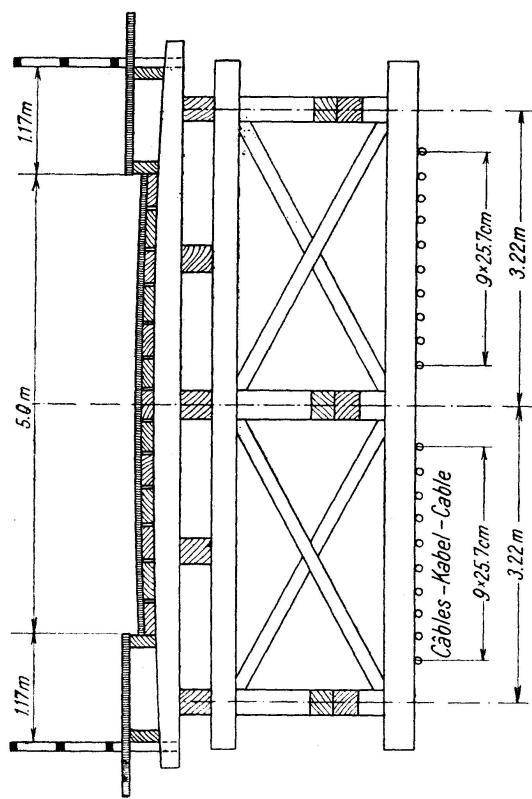


Fig. 2.

3. Dans un rapport à la commission des constructions, dont l'ébauche existe, DUFOUR a voué toute son attention aux objections et aux propositions de NAVIER tendant à améliorer la construction et en a loyalement tenu compte pour autant qu'elles lui parurent légitimes. Il remarque toutefois avec raison que le plan d'un projet ne peut contenir tous les détails de l'exécution et qu'il avait lui-même déjà prévu l'exécution de certaines propositions de NAVIER.

En ce qui concerne la première des questions fondamentales, à savoir l'emploi de câbles en fil de fer ou de chaînes en fer forgé, DUFOUR donne, contrairement à NAVIER, la préférence aux câbles et le développement ultérieur de la construction des ponts lui a sans contredit donné raison<sup>5)</sup>. Il ne veut non plus tenir compte de la proposition de NAVIER qui consistait à prendre comme charge utile  $200 \text{ kg/m}^2$  et fait valoir à ce sujet la différence essentielle qui existe entre les ponts de villes et ceux réservés au trafic interurbain. Il propose toutefois d'augmenter de deux câbles extérieurs, c. à d. de 20 % les câbles porteurs afin d'améliorer la stabilité à la torsion tel que le suggérait NAVIER. La construction du tablier doit présenter des ouvertures de 12 m au lieu de 15 m. Il veut augmenter les dimensions du pilier et de sa fondation sur pieux, mais sans remplir les vides de ballast.

Par ces améliorations, le montant primitif des dépenses s'élève, d'après les calculs de DUFOUR, de 325,000.— à 370,000.— francs suisses. Il est intéressant de constater que pour l'exécution du Grand Pont sans pilier intermédiaire, qui fut pendant près d'un siècle le pont suspendu à câbles ayant la plus grande portée en Europe, son constructeur CHALEY se fit garantir par contrat la somme de 300,000.— francs français et le droit de péage pour 40 ans. Ajoutons que ce pont possédait une largeur utile de  $0,88 + 4,70 + 0,88 \text{ m}$  et était calculé pour une charge utile de  $100 \text{ kg/m}^2$ .

4. Il m'est présentement impossible de trancher de manière non équivoque, n'ayant pas la possibilité d'établir une comparaison des écritures, la question, à savoir si l'expertise retrouvée est le manuscrit original de NAVIER ou s'il en représente seulement une copie. La première hypothèse me paraît plus probable. Le pont devant être construit non par l'Etat mais par une Société par actions de caractère privé, il est facile d'imaginer que DUFOUR fut autorisé à garder le manuscrit qui était pour lui d'une haute valeur objective, provenant de NAVIER pour lequel il éprouvait une profonde estime. Malgré des recherches faites à Fribourg, il ne fut pas possible jusqu'ici de découvrir un second exemplaire de l'expertise. L'écriture n'est certainement pas celle d'un copiste ni celle de DUFOUR (voir Fig. 3 Fin de l'expertise). La seule raison qui pourrait faire penser à une copie réside dans le fait qu'avant la signature se trouve le mot «signé»; cependant cela ne signifie pas nécessairement qu'il s'agisse d'une copie; on peut tout aussi bien en interpréter la signification en donnant au mot «signé» le sens d'une confirmation de la signature qui pourrait remplacer la formule: «établi en toute conscience et signé de ma propre main». Cette question ne joue du reste aucun rôle quant à la valeur objective du document que nous faisons suivre textuellement et in extenso.

F. Stüssi.

<sup>5)</sup> Sur les ponts suspendus au moyen des câbles en fil de fer voir: SÉGUIN aîné: Des ponts en fil de fer, Paris 1824.

G. H. DUFOUR: Description du pont suspendu en fil de fer, construit à Genève. Genève et Paris 1824.

## Conclusion

Je crois, Messieurs, que la disposition générale du projet est très satisfaisante, et que, malgré sa hardiesse, la construction aurait le succès que l'on doit attendre des talents de l'auteur. Les remarques précédentes indiquent seulement des perfectionnements ou des changements, qui n'ont pas été nécessaires pour obtenir la solidité, qui est la qualité essentielle des ouvrages publics. Je désire, que elles remplissent l'objet que vous nous êtes proposés et j'ai l'honneur d'être avec une haute considération

Messieurs !

Votre très humble et très obéissant  
sont Cervinien  
Signé Navier

Ingénieur en chef des ponts  
et chaussées,  
membre de l'institut

Paris le 20 Mai 1826. (Acad: des Sc:)

Fig. 3 (Réduction 3 : 5).

Conclusions de l'expertise NAVIER (Fac-similé).  
Schlußfolgerungen des Gutachtens NAVIER (Faksimile).  
Conclusions of NAVIER'S expert opinion (Facsimile).

## **Rapport sur le projet de pont suspendu à construire sur la Sarine à Fribourg.**

Messieurs!

Je suis flatté de l'honneur que vous m'avez fait en me consultant sur le projet qui vous a été présenté par Mr. le Colonel DUFOUR. Cette mission est difficile à remplir, puisque ce projet appuyé par les raisonnements et les calculs d'une personne très-instruite, ne doit, malgré sa hardiesse, pas être rejeté légèrement; et que d'un autre côté on ne peut point en conseiller l'exécution sans en courrir une assez grande responsabilité. J'ai pensé que la seule manière de répondre honorablement à votre confiance, était d'examiner sans prévention et sans arrière-pensée la construction proposée et de vous faire part du résultat de cet examen, persuadé, que s'il arrivait par la suite quelque accident, qui démentit les prévisions, vous l'attribueriez seulement à ce que l'expérience ne nous a pas encore procuré des lumières suffisantes sur les ouvrages de ce genre. J'ai profité de la permission, que vous m'avez donnée, en communiquant le projet à plusieurs Ingénieurs ou inspecteurs généraux et divisionnaires des ponts et chaussées, qui avaient eu l'occasion de s'occuper des ponts suspendus. Les remarques suivantes sont le résultat de leur examen et de mes propres réflexions.

### *Disposition générale du Pont.*

Cette disposition paraît très-satisfaisante et bien adaptée à la localité. Le seul changement, qu'on pourrait peut-être y proposer, consisterait à donner au plancher du pont une courbure concave vers le haut, ce qui permettrait de diminuer la hauteur de la pile de 3 mètres au moins. Le plancher des ponts se fait ordinairement convexe vers le haut, parceque l'on monte sur ce plancher par des rampes. Si l'on descend au contraire en arrivant au pont, il sera naturel de donner au plancher une courbure concave. On n'indique d'ailleurs cette disposition que comme un parti qu'on pourrait adopter, si l'on s'imposait d'une manière absolue la condition de faire tout ce qui serait possible pour diminuer la dépense en augmentant la solidité.

### *Chaînes ou Cables de suspension.*

Vous appelez, Messieurs, d'une manière particulière mon attention sur l'emploi du fil de fer pour l'exécution des chaînes. Je n'ai comme vous aucune connaissance que ce mode de construction ait été employé, ni même proposé, en Amérique ou en Angleterre. On s'en est servi à Genève et en France pour un pont construit sur le Rhône, mais je ne pense pas que ce soit avec raison. J'ai souvent présenté la question de la préférence à donner au fer en barre ou en fil, et je n'ai jamais rencontré de personne, qui méritât de la confiance par la solidité de son esprit et par une expérience acquise sur des objets analogues, qui ne décidât cette question en faveur du fer en barres.

Le fer acquiert, en passant à la filière plus de force; mais cette opération comporte une dépense qui en augmente la valeur. D'après les prix établis en France l'augmentation sur la valeur est dans un rapport au moins aussi grand que l'augmentation sur la force et il n'y a pas d'économie à espérer dans la dépense de construction.

Il reste contre le fil de fer des chances de destruction plus grandes, à l'égard desquelles on ne pourra être rassuré, si on l'est jamais, qu'après une expérience, que l'on n'a pas encore acquise.

Le motif le plus plausible, que l'on ait présenté en faveur du fil de fer, consiste en ce que ce fil ayant supporté dans l'étirage une grande tension, on est assuré d'avance, qu'aucun défaut n'en altère sensiblement la force. On peut répondre, que, si cette sécurité existe pour chaque fil, elle n'existe pas au même degré pour les assemblages de fils qui forment les cables, à raison des différences qui peuvent se trouver entre les tensions des fils, qui composent chaque faisceau. On acquiert d'ailleurs la même sécurité pour les barres de fer forgé en les soumettant avant de les employer à une tension supérieure au plus grand effort qu'elles aient à supporter. La grande expérience, que je fais en ce moment, ne me laisse aucun doute sur la facilité et les avantages de l'emploi du fer en barres. Je n'affirme point, quant à présent que le fil de fer doive être rejetté; mais je donne sans hésiter la préférence à l'autre mode de construction.

Mr. DUFOUR porte à 74,000 Kilogrammes la surcharge accidentelle, qui peut être répartie sur chaque arche. D'après les usages établis depuis quelque temps en France, on compte cette surcharge à raison de trois personnes ou 200 kilog: par mètre quarré du plancher, ce qui donnerait un poids d'environ 169,000 Kilog:. Vous pouvez juger d'après l'état du pays des chances, qui peuvent exister pour qu'il y ait sur le pont une surcharge égale à celle qui résulterait de la présence d'une troupe rangée en bataille. Si la possibilité de cette surcharge était admise il faudrait augmenter de  $\frac{1}{4}$  environ les dimensions des chaînes et la force des parties de la construction auxquelles les chaînes sont attachées. La manière, dont ces dimensions sont calculées, ne me paraît d'ailleurs donner lieu à aucune objection.

#### *Charpente du Pont et établissement de cette Charpente sur les chaînes.*

Le poids du plancher porte sur les chaînes par le moyen de fortes semelles transversales et pour que ce poids soit également réparti sur toutes ces chaînes, il faut admettre que toutes soient rigoureusement tendues au même degré, condition qu'il paraît très-difficile et peut-être impossible d'obtenir. Les ingénieurs ont mis de l'art, jusqu'à présent à répartir également le poids de la construction sur toutes les chaînes. Afin d'être plus certain d'y parvenir, j'ai changé entièrement, dans l'exécution, la disposition que j'avais d'abord donnée aux chaînes du Pont des Invalides.

Pour que cette condition essentielle soit remplie, il est nécessaire, que chaque chaîne pendant isolément et librement supporte sa portion du poids de la construction; et que, si une chaîne venait à s'allonger un peu, elle continuât à supporter cette portion, sans que les autres se trouvassent plus chargées qu'auparavant. Cela n'aurait pas lieu, selon toute apparence dans le système proposé.

Les palées en charpente paraissent porter simplement sur les chaînes, sans leur être fixées. On peut craindre que, dans les secousses résultant du passage des voitures, le bas de ces palées ne glisse sur la partie des chaînes où il s'appuie et ne les use par le frottement. S'il était trop difficile d'attacher fixément les semelles des palées aux cables en fil de fer, il paraîtrait nécessaire d'établir le long de ces cables des pièces de bois destinées à maintenir l'écartement du pied des palées.

Ces palées sont en petit nombre et fort éloignées les unes des autres,

ce qui oblige à employer des cintres courbes pour le support du plancher. Cette disposition serait convenable pour un pont établi sur une rivière, parce qu'il y aurait des raisons pour diminuer le nombre des points d'appui. Mais ici où l'augmentation du nombre des points d'appui ne peut qu'augmenter la force du système en permettant d'en mieux lier toutes les parties, il ne paraît pas convenable d'éloigner autant ces palées et de recourrir aux courbes, dont l'usage présente d'assez grands inconvénients. Cette remarque a été faite sur-le-champ par toutes les personnes qui ont jeté les yeux sur le projet.

Je crois nécessaire de rapprocher les points d'appui de manière que l'on n'ait plus besoin de courbes, et que les sommiers sur lesquels le plancher est établi, soient simplement consolidés par des contrefiches; cela ne peut se faire sans augmenter le volume des bois. Il paraît également nécessaire de disposer le système de manière, que l'on soit plus assuré, que la charge est également répartie. Il est sans doute plus difficile de remplir cette condition, lorsque l'on met les chaînes au-dessous du plancher; cependant cela ne semble pas impossible, en projetant la charpente d'une manière différente de celle, qui a été adoptée. — On doit remarquer enfin, que dans le projet le plancher du pont est plus large que l'espace occupé par les chaînes qui le supportent, ce qui donne lieu à des craintes fondées sur la stabilité de la construction. Il paraît indispensable que l'espace occupé par les chaînes soit aussi large que le plancher et il serait même convenable qu'il le fut davantage, eu égard au peu de largeur du pont comparé à la grande ouverture des arches.

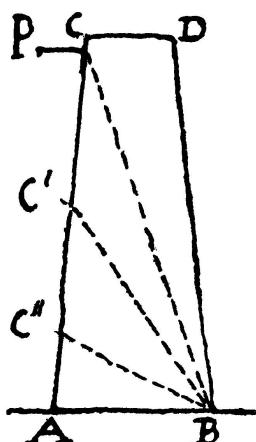
### *Pile.*

La largeur de la pile étant entre le  $\frac{1}{8}$  et le  $\frac{1}{9}$  de sa hauteur, elle présente, vue de côté, les proportions, auxquelles on est habitué pour les piliers assujettis à l'extrémité supérieure, et pour lesquels aucun diversement n'est à craindre. Comme ici l'extrémité supérieure supporte une construction flexible et comme on sait que cette extrémité peut être sollicitée par un effort horizontal, l'aspect de la pile fait naître une inquiétude, qui n'est pas sans fondement.

La moindre charge que l'on peut faire supporter à la pierre est évaluée par l'auteur à 10 Kilog: par centimètre carré. D'après les expériences connues, de petits cubes de pierre peu dure, mais qu'on emploie cependant à la construction des ponts, se sont écrasés sous un effort d'environ 1,500 Kilog: pour 25 centimètres carrés ou 60 Kilog: par Centimètre carré. L'expérience apprend d'ailleurs que, même dans les constructions soignées et en pierres de taille, on ne doit pas faire porter à la pierre plus de  $\frac{1}{10}$  de la charge, qui l'a rompue dans les expériences de ce genre. Ce serait donc 6 Kilog: par centimètre carré, et ce terme ne devrait pas surtout être dépassé dans une construction en grande partie en moëlons. Il conviendrait même ici de se tenir audessous, eu égard à ce que la pile étant sollicitée à pencher d'un côté ou de l'autre, cela tend à transporter la charge près de l'une ou de l'autre des faces latérales. Il paraîtrait d'après cela que la surface des murs à la base de la pile n'est pas suffisante. On trouve encore un autre motif pour désirer que la largeur de la fondation soit augmentée, lorsqu'on remarque, que la hauteur de la pile étant cinq à six fois plus grande que cette largeur, une légère différence dans le tassement des deux côtés de la fondation occasionnerait un déplacement cinq à six fois plus grand à l'extrémité supérieure. La charge de chaque pieu de la fondation

est évaluée à 64,000 Kilog: et l'auteur juge qu'elle n'est pas trop grande par comparaison avec ce qui a lieu aux ponts de Neuilly et d'Orléans. Mr. le Colonel DUFOUR paraît avoir été induit en erreur par une faute qui se trouve malheureusement à la page 187 de mon mémoire sur les ponts suspendus, où l'on a imprimé 100,000 Kilog: au lieu de 100,000 livres pour la charge des pieux de ces ponts. Le poids supporté par les pieux de la pile est donc trop considérable, surtout s'ils sont en sapin.

Quant à la résistance que la pile peut opposer à un effort horizontal provenant de la différence des surcharges dans les deux arches, si l'on admettait, comme il en a été question, ci-dessus, la possibilité d'une surcharge plus grande que celle qui a été supposée par l'auteur, il faudrait également compter sur une action plus grande exercée sur la pile. En évaluant toutes-fois cette action, comme elle l'est dans le mémoire, on peut craindre que la pile cède par l'effet du glissement de la partie supérieure sur la partie inférieure. En effet la moitié du poids du pont non chargé est évaluée à 256,000 Kilog: et la moitié de la surcharge possible pour une arche, tandis que l'autre ne porte rien, à 37,000 Kilog: en tout 293,000 Kilog: pour la pression verticale exercée sur le sommet de la pile. La tension horizontale résultant d'une surcharge de 74,000 Kilog: est d'environ 185,000 Kilog:. Comme, à moins que l'on ait pris des précautions pour l'empêcher, l'assise supérieure de la pile peut céder, il y a très peu à ajouter aux 293,000 Kilog: de charge pour le poids de la maçonnerie. Le frottement de la pierre pouvant être estimé, d'après quelques expériences aux  $\frac{3}{5}$  de la pression, on voit que la force résistante serait moindre que la force agissante. On doit remarquer d'ailleurs que le plan de rupture peut s'établir suivant une direction inclinée (si la construction n'est pas faite en grandes pierres posées par assises réglées) ce qui faciliterait beaucoup les glissements. Il résulte de ces remarques, que les assises supérieures de la culée jusqu'au point où le



poids serait assez grand, pour que le glissement ne fut plus à craindre, devraient être disposées de manière à ce que toute disjonction fut prévenue soit en coupant les joints, ou en mettant des liens de fer ou par tout autre moyen. On n'est pas assuré non plus que la pile ne puisse céder par renversement. Si l'on ne compte point sur l'effet de l'adhérence des mortiers comme cela paraît nécessaire pour ne rien hazarder on doit admettre qu'un pilier ABCD étant poussé par une force  $P$ , appliquée à son extrémité supérieure peut se rompre suivant BC, la partie BCD tournant sur B, tandis que la partie ACD demeure immobile. La considération de l'adhérence pourrait faire admettre d'autres lignes de rupture telles que BC', BC"; mais il faudrait que cela fut justifié par une évaluation assurée de cette adhérence, ce qui ne paraît guères possible. Le point B doit d'ailleurs toujours être pris sur la base de la construction.

Pour qu'il fut permis de compter sur la masse entière de la pile, il serait nécessaire que la maçonnerie fut pénétrée de bas en haut par des tiges de fer et que ces tiges eussent assez de force pour enlever le poids de la partie ABC et la maintenir attachée à la partie BCD, lorsque cette dernière sera renversée. La considération de la résistance du plancher et de la diminution de l'effort par l'effet de l'affaissement de la courbe chargée et de l'exhaussement de celle qui ne l'est pas, est propre à rassurer; je

crois néanmoins que la résistance de la pile devrait être suffisante, indépendamment de ces deux circonstances, qui seraient regardées seulement comme donnant l'excès de force, qu'il faut toujours se procurer dans l'établissement des constructions. En appliquant ces principes à la pile projetée, elle paraîtra trop faible.

D'après ce qui précède, je crois qu'il serait indispensable d'augmenter le nombre des pieux et l'étendue de la base de la pile, surtout dans le sens de la largeur et même la masse de la maçonnerie; je crois également que l'on acquerrerait beaucoup de sécurité par l'emploi des tiges de fer, dont il a été question ci-dessus. Il serait nécessaire de remplir les vides laissés dans l'intérieur de la pile par des matières peu coûteuses telles que du gravier mêlé avec un mortier dans lequel il entrerait très-peu de chaux.

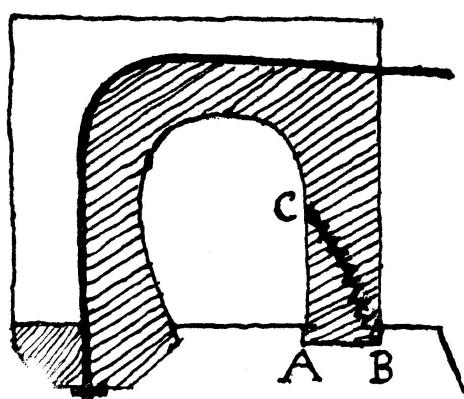
#### *Culée du côté de la Ville.*

Quoiqu'on ne puisse juger ici de la dureté du rocher, sur lequel cette pile est fondée, on croit pouvoir avancer qu'il serait imprudent de la placer aussi près du bord que cela est indiqué sur le dessin.

Quant à la manière dont elle pourrait céder à l'action des chaînes, on remarque d'abord, qu'il pourrait s'établir une ligne de rupture, comme indique la figure, ci contre:

La partie supérieure glissant sur la partie inférieure et le frottement (en faisant abstraction de l'adhésion des maçonneries, ce que la prudence exige) serait le seul obstacle au mouvement. Le frottement devant être estimé aux  $\frac{3}{5}$  de la pression environ, la résistance serait insuffisante. Il serait donc nécessaire de prévenir une semblable disjonction soit en liant la partie supérieure à la partie inférieure de la maçonnerie par des tiges de fer, soit en mettant dans la maçonnerie de grandes pierres verticales qui croiseraient les joints et qui devraient être rompues pour que le glissement s'opérât.

Si par ces moyens ou par tout autre ce genre de rupture était prévenu, il paraît que l'on n'aurait plus à craindre qu'une rupture par renversement, qui pourrait s'opérer suivant une ligne  $BC$ , toute la masse de la maçonnerie enlevée par les chaînes tournant sur l'arête  $B$  à l'exception de la partie  $ABC$  qui demeurerait sur sa base. Pour que cette rupture n'eut pas lieu, il faudrait que le moment de la tension de la chaîne, pris par rapport à l'axe  $B$  fut moindre que le moment du poids de la partie de la construction, qui serait enlevée et des terres, qui portent dessus, pris par rapport au même axe.



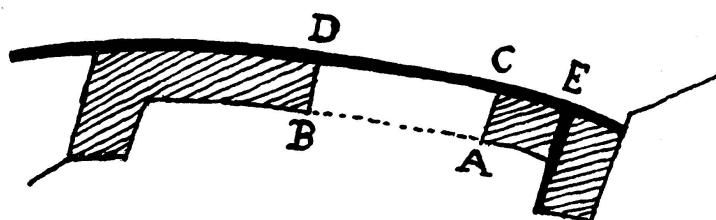
La tension des chaînes est évaluée à 956,000 Kilog: et le poids total des maçonneries et des terres à 795,000 Kilog: dont il faut retrancher une portion correspondante à la partie *ACB*, ce qui le réduit à 650,000 Kilog: environ. Le bras de levier de la tension des chaînes dépasse un peu 6 mètres et celui des poids qui composent la force résistante (que l'on trouverait par une recherche exacte de la position de leur centre de gravité) paraît être au dessus de 7 mètres. On en conclut, que cette dernière force n'est pas assez grande et que l'on doit craindre, que la culée ne soit déplacée, malgré l'appui que le plancher du pont prête à cette culée, et les adhérences qui devraient être surmontées.

Il résulte de ce qui précède, qu'il est nécessaire de lier les parties de la culée de manière qu'elle ne puisse se partager dans sa hauteur, d'en augmenter le volume et de l'éloigner davantage du bord du rocher. Cela paraîtrait plus nécessaire encore, si l'on admettait la possibilité d'une surcharge plus grande sur le pont.

### *Culée du côté de la Campagne.*

La solidité des moyens d'attache des chaînes de ce côté dépendant entièrement de la consistance du rocher, on ne peut l'apprécier sans connaître la nature de la pierre, qui n'est pas suffisamment définie par le nom de molasse, ce nom s'applique à une espèce de grès, dont la dureté est très variable. D'après la manière dont ces attaches sont disposées, on reconnaît

que la construction cédera, si la portion *ABCD* est détachée; ainsi l'adhésion des faces latérales et inférieures de cette portion au reste de la masse forme la principale résistance.



L'aire de ces faces est environ 36 mq.; si le rocher avait une consistance semblable à celle de la brique, l'effort nécessaire pour rompre l'adhérence, serait à-peu-près triple de la tension des chaînes. On doit faire attention d'ailleurs aux fissures, qui pourraient se rencontrer dans la masse.

Indépendamment de tous calculs qui sont ici assez incertains, la manière, dont les chaînes sont attachées presque à la surface du rocher n'a pas paru proportionnée à la grandeur de la construction et il semblerait convenable de faire pénétrer plus profondément les extrémités de ces chaînes et de ne pas faire exercer une action aussi forte près de la surface supérieure de la pierre en *E*.

### *Remarques diverses.*

Les pièces de la chaîne de retenue, auxquelles s'attachent les câbles en fil de fer, saillent hors des culées. On peut craindre, que ces pièces ne soient fatiguées lorsque, par la variation de température ou par les secousses, la courbe des chaînes changera. Il paraît nécessaire, qu'il y ait une articulation dans le point, où les chaînes cessent de porter sur la pierre et commencent à pendre librement. Le parapet, dont les poteaux sont simplement assemblés avec les solives, ne paraît pas suffisamment solide. Il nous semblerait nécessaire de consolider ces poteaux par des pièces inclinées en fer

ou en bois. Il faudrait aussi prendre des précautions pour que les roues des voitures ne tombent pas dans les goutières.

Mr. le Colonel DUFOUR n'a fait aucune mention de l'action que le vent pourrait exercer sur une construction flexible, placée à une aussi grande hauteur. Après avoir examiné cet objet avec attention, je pense que le pont ne peut être emporté par les vents auxquels il sera exposé; mais il est nécessaire d'en lier avec soin toutes les parties, d'attacher la charpente aux chaînes, et non de la poser simplement dessus; et de fixer solidement les chaînes sur la pile. Les sommiers, qui reçoivent les solives du plancher, doivent être formés de pièces liées les unes aux autres de manière à pouvoir résister à une force de tension, comme le faisaient les pièces supportant le plancher des ponts de Schaffhouse et de Vettinguen, et les extrémités doivent être attachées avec soin aux culées et à la pile.

L'attache des chaînes sur le sommet de la pile au moyen de barres de fer pénétrant dans la maçonnerie, qui n'est pas indiquée dans le projet, est néanmoins une précaution essentielle.

### *Conclusion.*

Je crois, Messieurs, que la disposition générale du projet est très-satisfaisante, et que, malgré sa hardiesse, la construction aurait le succès que l'on doit attendre des talents de l'auteur. Les remarques précédentes indiquent seulement des perfectionnements ou des changements, qui m'ont paru nécessaires, pour obtenir la solidité, qui est la qualité essentielle des ouvrages publics. Je désire, qu'elles remplissent l'objet que vous vous êtes proposé et j'ai l'honneur d'être avec une haute considération

Messieurs !

Votre très-humble et très-obéissant Serviteur  
Signé

NAVIER

Ingénieur en chef des ponts et chaussées,  
membre de l'institut (Acad: des Sc:)

Paris ce 20 Mai 1826.

### **Résumé.**

Nous publions ici une expertise, retrouvée récemment et restée inconnue, que L. NAVIER (1785—1836) a présentée le 20 mai 1826 sur un projet de G. H. DUFOUR (Général de l'armée suisse dans la guerre de «Sonderbund») pour le Grand Pont à Fribourg. Cette expertise est d'une part remarquable par l'aperçu caractéristique qu'elle nous donne de la conception technique et constructive de NAVIER, conception à laquelle nous devons la création d'une «statique des constructions» proprement dite, telle qu'elle fut établie par NAVIER dans ses deux œuvres principales «Rapport et mémoire sur les ponts suspendus» 1823 et «Résumé des leçons sur l'application de la mécanique» 1826. D'autre part, NAVIER exprime dans cette expertise de manière non-équivoque l'idée caractéristique du béton armé en disant: «Pour qu'il fut permis de compter sur la masse entière de la pile, il serait nécessaire que la maçonnerie fut pénétrée de bas en haut par des tiges de fer...»

### **Zusammenfassung.**

Wir veröffentlichen hier ein neu aufgefundenes und bisher unbekanntes Gutachten, das L. NAVIER (1785—1836) am 20. Mai 1826 über ein Projekt des späteren Generals G. H. DUFOUR für den Grand Pont in Fryburg erstattet hat. Dieses Gutachten ist einerseits bemerkenswert, weil es uns einen charakteristischen Einblick in die technisch-konstruktive Denkweise NAVIERS erlaubt, in eben jene Denkweise, der wir die Aufstellung einer eigentlichen Baustatik durch NAVIER in seinen beiden Hauptwerken «Rapport et mémoire sur les ponts suspendus» 1823 und «Résumé des leçons sur l'application de la mécanique» 1826 zu verdanken haben. Ferner ist bemerkenswert, daß NAVIER in diesem Gutachten schon ganz eindeutig das Erfindungsmerkmal des armierten Betons ausspricht: «Pour qu'il fut permis de compter sur la masse entière de la pile, il serait nécessaire que la maçonnerie fut pénétrée de bas en haut par des tiges de fer...» (Damit auf die ganze Masse des Pfeilers gerechnet werden könnte, müßte das Mauerwerk von unten bis oben mit Eisenstangen durchsetzt sein...).

### **Summary.**

We publish here a recently discovered, hitherto unknown expert opinion prepared by L. NAVIER (1785—1836) and dated 20th May 1826, regarding a project by G. H. DUFOUR, later General DUFOUR, for the “Grand Pont” at Fribourg. This report of NAVIER's is first of all noteworthy as giving us an insight into his characteristic method of approach to technical problems dealing with structures, exactly the same method for which we have to thank the development of a particular form of structural statics by him in his two chief literary productions, “Rapport et mémoire sur les ponts suspendus” 1823 and “Résumé des leçons sur l'application de la mécanique” 1826. The report is further noteworthy since NAVIER already in it lays down quite clearly the fundamental feature of reinforced concrete: “Pour qu'il fut permis de compter sur la masse entière de la pile, il serait nécessaire que la maçonnerie fut pénétré de bas en haut par des tiges de fer...” (In order that the whole mass of the piers might be relied on, it would be necessary for the masonry to be penetrated by iron rods from the bottom to the top...).

**Leere Seite**  
**Blank page**  
**Page vide**