

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

2665

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297409

x
946

PONTS
ET
VIADUCS MOBILISABLES

A ÉLÉMENTS PORTATIFS EN ACIER

POUR CHEMINS DE FER ET ROUTES STRATÉGIQUES

NANCY, IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT ET Cie.

PONTS

ET

VIADUCS MOBILISABLES

A ÉLÉMENTS PORTATIFS EN ACIER

POUR CHEMINS DE FER ET ROUTES STRATÉGIQUES

Par R. HENRY

LIEUTENANT-COLONEL DU GÉNIE

OFFICIER DE LA LÉGION D'HONNEUR

NOUVELLE ÉDITION

F. N^o: 18420.



BERGER-LEVRAULT ET C^{ie}, LIBRAIRES-ÉDITEURS

PARIS

5, RUE DES BEAUX-ARTS, 5

NANCY

18, RUE DES GLACIS, 18

1891

Tous droits réservés

VII L. C.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

112665

Akc. Nr. 1837/49

ERRATUM

1° — Page 23 — ligne 22 — *Au lieu de* : $T = tt + \theta$
lire $T = t + \theta$.

2° — Page 76 — ligne 17 — *Au lieu de* : — A la suite le démontage
lire : — A la suite *du* démontage.

AVERTISSEMENT

DE LA NOUVELLE ÉDITION

La guerre de 1870 a révélé l'insuffisance des procédés et la faiblesse des moyens d'action dont disposaient les armées modernes pour le rétablissement des communications. A l'exception des équipages de ponts de bateaux qui ne conviennent qu'à certains cas particuliers, il n'existait aucun matériel spécial ni aucune organisation préparés d'avance pour franchir les obstacles ou rétablir les ponts détruits avec la rapidité et la sécurité qu'exigent les opérations de la guerre actuelle. Aussi, suivant l'avis de nos meilleurs généraux, la question de l'établissement rapide des ponts et viaducs en campagne, trop négligée autrefois, doit-elle occuper aujourd'hui dans l'art militaire une place aussi importante que celle des fortifications de campagne.

Mettre à la disposition de l'armée et des ingénieurs des moyens puissants étudiés et préparés longtemps à l'avance, de manière à leur permettre de rétablir en quelques heures les communications et de franchir les fleuves les plus larges à l'aide d'un matériel léger et résistant, d'un transport facile et d'un montage rapide, tel

est le problème que nous nous sommes posé et dont nous avons cherché à donner une solution générale et pratique par l'invention du « Système de ponts et viaducs *mobilisables* à éléments portatifs et interchangeables en acier¹ ». Les procédés que nous avons étudiés et proposés, également applicables aux ponts légers de route et aux grands viaducs de chemins de fer, ont été adoptés en principe par le département de la guerre à la suite d'une série d'essais pratiques et décisifs.

Dans une brochure extraite de la *Revue du génie militaire* de l'année 1887, nous avons exposé sommairement l'historique, les principes et les caractères essentiels de l'invention dont il s'agit.

Depuis cette époque nous avons développé notre système qui a été successivement l'objet d'expériences importantes, parmi lesquelles on peut citer l'établissement en 50 heures d'un pont stratégique de 370 mètres sur le Var. Aujourd'hui les ponts mobilisables en acier font partie du domaine de l'art des constructions et donnent lieu à d'intéressantes discussions dans le monde des ingénieurs militaires et civils.

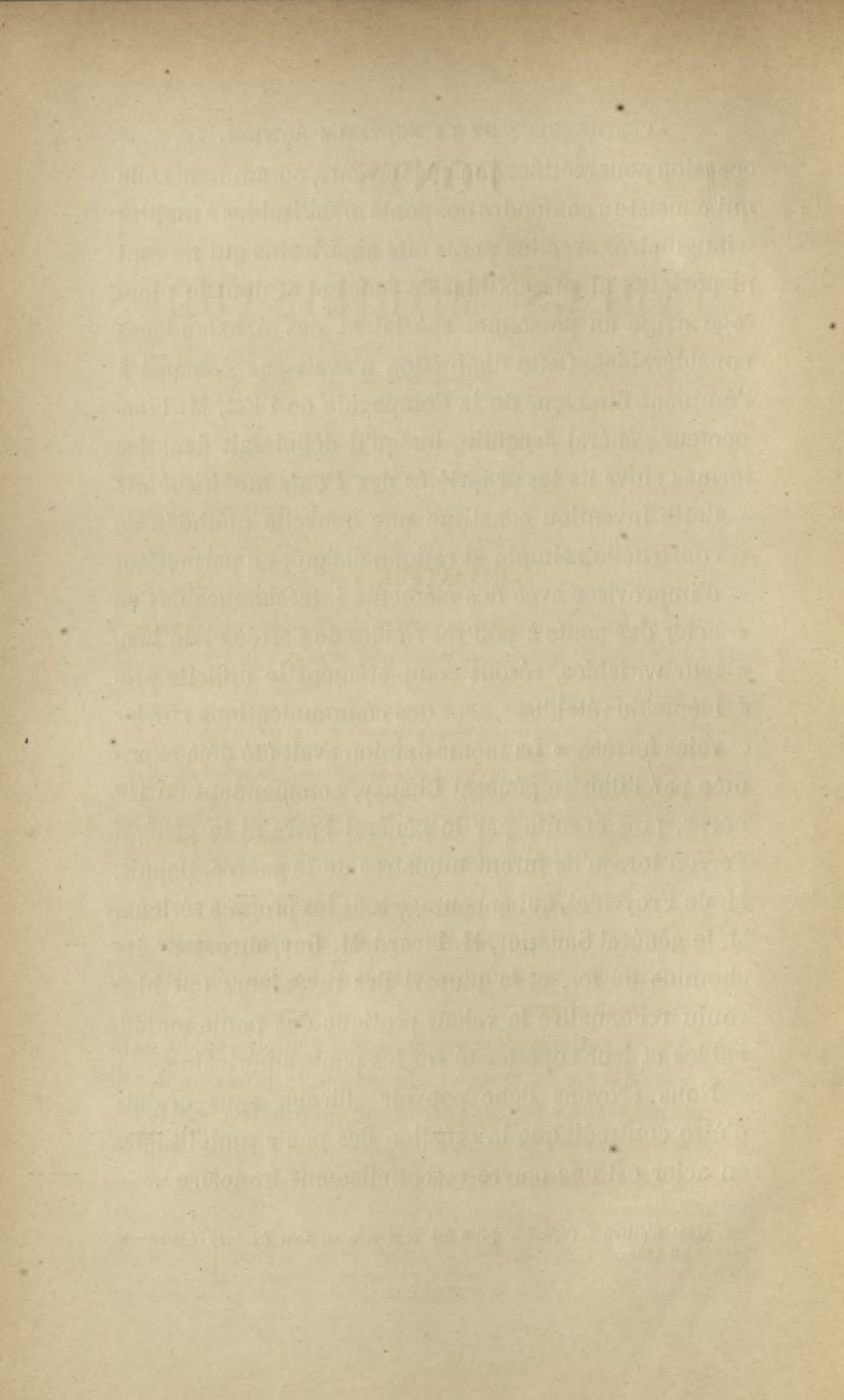
Dans ces conditions nous avons cru utile, afin de bien préciser nos idées sur la mobilisation des constructions métalliques, de résumer dans cette nouvelle édition la théorie, les propriétés et les applications diverses de nos ponts portatifs à montage rapide. Nous avons saisi cette

1. C'est à dessein que nous avons adopté pour notre système la désignation de *Ponts mobilisables* au lieu de celle de *Ponts démontables*, afin de bien spécifier que nos ponts sont non seulement démontables, mais de plus sont composés d'éléments *légers, maniables et très transportables*, ce qui en rend la mobilisation très rapide.

occasion pour rectifier quelques erreurs, notamment celle qui consiste à confondre nos ponts mobilisables à mailles triangulaires avec les ponts dits américains qui ne sont ni portatifs ni susceptibles de lançage et dont le montage exige un personnel spécial et des échafaudages considérables. Cette distinction n'avait pas échappé à l'éminent directeur de la Compagnie de l'Est, M. l'inspecteur général Jacqmin, lorsqu'il définissait dans les termes suivants les propriétés des *Ponts mobilisables* : « Cette invention constitue une nouvelle méthode de « construction simple et rationnelle qui, en permettant « d'improviser avec des éléments interchangeables en « acier des ponts à poutres rigides de portée et de hau- « teur variables, résout complètement le difficile pro- « blème du rétablissement des communications sur les « voies ferrées. » La même opinion avait été déjà exprimée par l'illustre général Chanzy, commandant du 19^e corps, puis ensuite par le général Farre et le général Ferron lorsqu'ils furent ministres de la guerre. Depuis, M. de Freycinet, qui encourage tous les progrès sérieux, M. le général Saussier, M. Picard, M. Gay, directeur des chemins de fer, et la plupart des ingénieurs ont bien voulu reconnaître la valeur pratique des ponts mobilisables et leur supériorité sur les ponts américains.

Nous croyons donc pouvoir affirmer sans crainte d'être contredit que la création des ponts mobilisables en acier est une œuvre essentiellement française ¹.

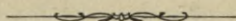
1. C'est d'ailleurs l'opinion qui a été exprimée au sein du jury des récompenses en 1889.



PONTS

ET

VIADUCS MOBILISABLES



Pour un général en chef, établir promptement ses communications est un des objets les plus importants.

NAPOLEON I^{er}. (*Lettres au prince Eugène.*)

CHAPITRE I^{er}

IMPORTANCE DE LA CONSERVATION ET DU RÉTABLISSEMENT RAPIDE DES COMMUNICATIONS STRATÉGIQUES.

Importance très considérable que présente dans la guerre moderne la conservation des communications stratégiques et des grandes lignes de ravitaillement. — Insuffisance et lenteur des procédés mis en œuvre avant 1870 pour le rétablissement des ponts fixes et des viaducs militaires. — Exemples tirés des campagnes de l'Empire et de la guerre d'invasion de 1870-1871. — Nécessité d'organiser un service technique des communications stratégiques. — Emploi des ponts métalliques amovibles composés de grands tronçons métalliques.

Tous les hommes de guerre qui ont médité sur les leçons du passé sont aujourd'hui convaincus de l'importance prépondérante des communications¹ dans les combinaisons de la stratégie moderne.

De deux nations adverses de force à peu près égale, celle qui possède sur la frontière le réseau le plus complet de routes et de voies ferrées permettant de pénétrer sur le territoire ennemi et qui a tout préparé pour l'utiliser rapidement, est absolument certaine d'obtenir les premiers succès.

1. Ce mot *communications* doit être pris dans son sens le plus étendu qui comprend les routes, les chemins, les canaux et voies navigables, les chemins de fer à voie normale et à voie étroite, les moyens de transport de toute espèce, la télégraphie civile et militaire, l'emploi des ballons, des pigeons voyageurs, etc.

La continuation de ces succès, les investissements des grandes places et toutes les opérations d'une guerre d'invasion dépendent essentiellement de la facilité des communications existantes et de la puissance des moyens matériels dont dispose l'envahisseur pour franchir les obstacles, pour rétablir et conserver les passages de rivière, les viaducs détruits, les tunnels effondrés, et les installations télégraphiques, etc.

C'est une vérité incontestable reconnue par tous les écrivains militaires et démontrée depuis longtemps par des expériences nombreuses et décisives. Ceux qui l'ont méconnue et qui ont eu l'imprudence d'engager leurs armées dans une grande guerre avec des moyens insuffisants d'assurer leurs communications ont presque toujours abouti à des désastres.

A cette question primordiale de la bonne organisation des communications militaires et des lignes de ravitaillement formées d'un réseau de routes et de voies ferrées se rattachent le maintien, la construction et la réparation rapide des ponts et viaducs permanents, qui assurent la continuité des services de l'arrière. De la conservation de ces ouvrages d'art dépendent l'existence et le salut de l'armée. Il faut donc que le général en chef ait à sa disposition un personnel et surtout un matériel spécialement préparés dès le temps de paix en vue de rétablir très rapidement les ouvrages détruits, soit sur les routes, soit sur les voies ferrées.

« Une armée doit avant tout, dit le général Pierron, maintenir et protéger ses lignes de ravitaillement et posséder dans ce but un corps de constructeurs chargés de réparer les dommages causés aux routes et à leurs ouvrages d'art. »

La création et l'entretien des communications constituent donc une des branches les plus importantes de l'art des ingénieurs militaires. Néanmoins, nous sommes obligé de reconnaître que nous avons fait bien peu de progrès dans ce sens depuis les guerres du premier Empire jusqu'en 1870.

Aussi avons-nous eu maintes fois à déplorer l'insuffisance de nos équipages de ponts, l'imperfection de nos procédés surannés et l'absence de tout matériel métallique portatif qui ont souvent placé les meilleurs généraux dans l'impossibilité d'assurer en temps utile la sécurité et la continuité de leurs communications et du ravitaillement de leurs troupes. Pendant la campagne de 1809, Napoléon, avec son génie improvisateur, fit de prodigieux efforts pour établir et surtout pour conserver les grands ponts de l'île Lobau sur le Danube, et cependant il n'obtint que des résultats très incomplets, faute d'une bonne méthode de construction, et surtout par l'absence d'un matériel rapidement utilisable, convenablement préparé d'avance. Malgré la bonne volonté et l'énergie des pontonniers et des sapeurs du génie, qui rivalisèrent de dévouement, les ponts de l'île Lobau n'offraient ni les débouchés, ni la résistance nécessaires. Les travées très courtes et presque au niveau de l'eau, et surtout les piles en pilotis trop rapprochées offraient beaucoup trop de prise aux violents courants du Danube; elles furent fréquemment submergées et plusieurs fois coupées. Ces graves accidents faillirent entraîner la ruine de la Grande Armée et compromirent, en tous cas, très sérieusement le succès définitif. Si les ponts de l'île Lobau avaient été construits à l'aide de hautes poutres métalliques en treillis, à claire-voie et par travées de 20 à 25 mètres de portée, aucune rupture ni submersion ne se fussent produites et les opérations de la campagne de 1809 eussent été couronnées par le succès le plus décisif. Aussi, Napoléon était-il d'avis qu'il y avait de très importants progrès à apporter dans la construction des ponts d'armée.

En Crimée, pendant la campagne d'Italie, plus tard au Mexique, en Chine et dans maintes circonstances, nos généraux ont souvent signalé, avec raison, les difficultés et les lenteurs involontaires qui venaient compliquer les opéra-

tions de passage de rivière et les réparations de ponts, faute d'un matériel convenable et d'un personnel assez nombreux.

Mais c'est surtout pendant la campagne de 1870 que l'on a pu constater sur une vaste échelle les vices du matériel et des procédés traditionnels employés pour les reconstructions des ouvrages d'art. Sous ce rapport, les deux armées en présence n'ont pas fait preuve de beaucoup de puissance ni de génie d'invention et sont restées fort en arrière des Américains qui, pendant la guerre de Sécession, ont accompli de véritables prodiges dans l'art des travaux de campagne improvisés. Pendant le siège de Paris, une des causes qui entravèrent le plus l'énergie et la soudaineté des opérations de la défense fut l'absence d'un matériel tout préparé d'avance, qui eût permis d'établir avec rapidité et sécurité des ponts d'armée à grandes et solides travées de 12 à 20 mètres, insubmersibles, inattaquables par les crues et par les glaçons flottants. Si l'on avait possédé ces engins, il eût été facile à l'armée de défense de franchir rapidement la Seine en aval et en amont de Paris et d'attaquer les assiégés surpris dans leurs cantonnements.

Pendant les opérations autour de Metz, la même pénurie de ressources et le manque d'un matériel préparé pour le montage des ponts d'armée furent cause de difficultés et d'embarras sans nombre en restreignant considérablement les débouchés des colonnes et en rendant pour ainsi dire impossibles les passages d'une rive sur l'autre de la Moselle.

Ce sont là des faits historiques constatés par les relations officielles de la guerre de 1870.

Si nous manquons de ressources matérielles, de personnel technique et d'outillage pratique pour rétablir nos communications militaires ou en accroître la puissance, il faut reconnaître que les généraux et ingénieurs allemands se sont montrés de leur côté bien peu inventifs dans l'art de

passer les rivières ; et, en dehors des ponts de bateaux dont leurs pontonniers ont largement fait usage, ils n'ont inauguré aucune méthode rapide pour la réparation des ouvrages d'art sur les routes et les voies ferrées.

Voici, en effet, d'après l'aide-mémoire du pionnier allemand de 1872 (*Handbuch für den allgemeinen Pionierdienst*), un résumé des dispositions réglementaires qui forment toute la science du corps du Génie allemand pour le rétablissement des ponts en campagne¹.

« Les ponts de campagne comprennent : 1° les passerelles (*Brückenstege*) larges de 1 mètre et au-dessous ;

« 2° Les petits ponts (*Laufbrücken*) pour infanterie et cavalerie, ayant une largeur de voie de 2 mètres ;

« 3° Les ponts de colonnes (*Colonnenbrücken*) ayant 3 mètres de largeur au minimum et devant résister au passage des colonnes et des équipages de toutes armes.

« Sous le rapport du mode de construction on distingue :

« 1° Les ponts d'une seule travée en bois reposant sur des « longerons jetés simplement d'une rive à l'autre et renfor-
« cés au besoin par des contre-fiches ou des fermes en char-
« pente ;

« 2° Les ponts à plusieurs travées en bois portées sur des
« supports fixes (chevalets, palées en pilots, gabions, etc.)
« ou sur des supports flottants, tels que bateaux, radeaux
« de tonneaux ou de troncs d'arbre. »

Ces dispositifs qui diffèrent d'ailleurs très peu des anciens procédés de nos écoles du génie ne sont applicables qu'à la condition de posséder de nombreux charpentiers et de pouvoir rassembler et préparer les bois nécessaires.

Lorsque, ce qui arrive le plus souvent, il y a pénurie d'ouvriers spéciaux et que le bois manque sur place, la

1. *Opérations du corps du Génie allemand*, traduit par MM. les capitaines Grillon et Fritsch (Tome I^{er}, notes). Librairie Dumaine, 1874.

construction du moindre pont de 20 à 25 mètres de portée devient très compliquée et exige plusieurs jours. Dans tous les cas, l'emploi de courtes travées de 6 à 8 mètres, inhérentes aux ponts militaires à tablier en bois, offre de très grands inconvénients sur les fleuves à courant rapide.

Appliqués au rétablissement des viaducs de chemins de fer, ces procédés de fortune ont donné, en général, de très médiocres résultats. Il faut employer des délais fort longs, de 20 à 100 jours, pour n'obtenir que des passages d'une sécurité douteuse se prêtant très mal à une exploitation un peu intensive.

Sans condamner les ponts en bois à courtes travées, nous estimons qu'on ne doit y recourir que dans les cas assez rares où l'on dispose d'ouvriers charpentiers habiles et nombreux et d'un approvisionnement de bois coupés de longueur et amenés à pied-d'œuvre sur wagons.

Du reste, pour faire ressortir l'insuffisance et l'imperfection de ces procédés de fortune, il nous suffira de résumer ci-après les travaux de réparation de ponts exécutés pendant la guerre de 1870 par les armées allemandes qui se trouvaient cependant dans des conditions relativement très favorables :

I. *Ponts de route.* — 1° En 1870, à Blois, le génie du 9^e corps prussien employa 3 jours et 2 nuits (60 heures) pour rétablir le passage du pont de la Loire dont la brèche n'atteignait pas 22 mètres d'ouverture.

2° A Beaugency, le génie du même corps d'armée consacra 3 jours et une nuit d'un travail acharné pour réparer une brèche de 29 mètres d'ouverture.

3° A Vendôme, le génie du 3^e corps prussien employa 3 jours et 2 nuits à reconstruire, sur le Loir, le petit pont de Meslay qui avait à peine 20 mètres de long.

4° Entre Draveil et Juvisy (siège de Paris) une compagnie du génie prussien, bien approvisionnée de bois et pourvue

de tout l'outillage nécessaire, mit 18 jours et 17 nuits, c'est-à-dire 420 heures, pour construire sur la Seine un pont fixe de 169 mètres de long reposant sur 20 piles établies sur pilotis. Les travées de ce pont n'avaient que 7^m,50 de portée. (En employant nos travées en acier de 24 mètres de portée, le même travail aurait pu être exécuté en 3 jours.)

5° A Villeneuve-Saint-Georges (siège de Paris), du 12 au 29 octobre, 2 compagnies de pontonniers et de pionniers wurtembergeois construisirent en 19 jours et 19 nuits un pont en charpente de 153 mètres de long porté sur 22 palées sur pilotis. Chaque travée n'avait pas 7 mètres de longueur et le tablier du pont placé très bas pouvait être submergé par les crues ou brisé par les glaces.

6° A Gournay, du 12 au 15 novembre 1870, la compagnie de pontonniers wurtembergeois employa 290 heures d'un travail acharné pour reconstruire médiocrement un pont de 80 mètres de longueur porté sur 12 palées avec travées de 6 mètres seulement de portée.

7° A Lagny, du 6 au 24 décembre 1870, la 3^e compagnie du génie du 8^e corps prussien employa 19 jours et 18 nuits pour construire un pont de 85 mètres de long sur 14 points d'appui par travées de 6 mètres de portée seulement¹.

II. *Ponts et viaducs de chemins de fer*². — 1° Pont de Richemont sur l'Orme (ligne de Metz à Thionville).

Ce pont, dont la brèche n'avait que 16 mètres d'ouverture, a été réparé en 15 jours par le génie allemand.

2° Le pont de l'Euron sur la ligne de Nancy à Gray offrait une brèche continue de 20 mètres et a été réparé en 17 jours par les Allemands avec 105 ouvriers civils.

3° Le pont biais de Colmey sur la ligne de Charleville à Thionville a été réparé en 17 jours avec des poutres en bois

1. Pour les opérations du siège de Paris, les Allemands ont dû établir 33 ponts sur la Seine, 15 sur la Marne.

2. Renseignements fournis par les ingénieurs de la Compagnie de l'Est.

Howe ; la brèche avait 29 mètres de portée, mais les deux piles du milieu étaient intactes.

4° Pont de Provenchères sur la Marne (ligne de Blesmes à Chaumont). La brèche de 36 mètres avec une pile au milieu a été réparée en 20 jours.

5° Pont d'Isles-lès-Villenoye, sur la Marne (ligne de Paris à Strasbourg), brèche de 30 mètres. Le rétablissement du passage a été exécuté en 33 jours avec 60 ouvriers d'art.

6° Pont de Villers sur la ligne de Blesmes à Chaumont. L'interruption du passage, large de 45 mètres, a été rétablie avec des poutres en bois du type Howe en 25 jours.

7° Pont du Martinet sur la ligne de Nancy à Gray. La réparation de ce pont dont la brèche avait 42 mètres d'ouverture a exigé 77 jours avec 80 charpentiers.

8° Au viaduc de Thonne-les-Prés, sur la ligne de Charleville à Thionville, le rétablissement du passage sur une brèche de 22 mètres avec pile intermédiaire a été opéré en 33 jours.

9° Le viaduc de Xertigny, sur la ligne de Nancy à Gray, dont la brèche principale avait 25 mètres d'ouverture, à 36 mètres au-dessus du fond de la vallée, n'a pas exigé, pour le rétablissement de la circulation, moins de 100 jours de travail continu avec 162 ouvriers charpentiers¹.

10° Viaduc de la Largue sur la ligne de Paris à Mulhouse. Les Allemands ont dû construire, pour rétablir le passage, une grande estacade en charpente d'une hauteur moyenne de 14 mètres. Cet ouvrage a exigé 120 charpentiers et 72 jours de travail continu.

11° La brèche de 25 mètres du viaduc de Bertraménil a été réparée en 32 jours.

Enfin, après la guerre, les ingénieurs de la Compagnie de l'Est ont employé 45 jours pour remplacer par un pont en

1. Cette réparation si longue et si pénible serait exécutée par nos procédés et avec notre nouveau matériel métallique en moins de 40 heures.

charpente le pont de Petit-Bois détruit sur une longueur de 85 mètres, et 60 jours pour réparer deux brèches de 35 mètres sur le viaduc de Nogent-sur-Marne.

De ces divers exemples qu'il serait aisé de multiplier, on doit conclure que les ingénieurs militaires prussiens, pourvus abondamment de toutes les ressources nécessaires et placés dans les conditions exceptionnellement avantageuses que donne la victoire, ne purent parvenir, au prix des plus grands efforts, à construire un pont fixe ordinaire de 100 mètres en grande rivière, dans un délai inférieur à 300 heures, c'est-à-dire à 12 jours et 12 nuits. Quant aux ponts et viaducs de chemins de fer, c'est par mois qu'il faut compter le temps qu'ils ont mis à les rétablir dans des conditions médiocres de solidité et de sécurité¹.

D'après le témoignage de M. Jacquin, directeur de la Compagnie de l'Est, les Allemands, en matière de travaux de chemins de fer improvisés, ont fait preuve en 1870 d'une impéritie et d'une faiblesse de moyens remarquables.

D'ailleurs, on peut affirmer d'une manière générale qu'avant la guerre de 1870 les grandes armées européennes étaient dépourvues de l'organisation et des moyens pratiques propres à créer promptement, à rétablir ou à conserver les communications routières et télégraphiques. Seule, la Russie semblait avoir compris que toutes les mesures importantes qu'exigent le transport des grandes masses armées et l'entretien des voies de communication doivent être centralisées dans un service rattaché à l'état-major général et formant une direction supérieure des communications confiée à un officier général.

En France, aucune amélioration sensible n'a été apportée à l'art de la construction des ponts et viaducs en campagne depuis 1854 jusqu'en 1870, et l'on a cru pouvoir s'en tenir

1. La moyenne du temps employé pour le rétablissement des ponts de chemins de fer en 1870 a été de 22 heures par mètre courant.

aux procédés primitifs et fort incertains qui consistent à rétablir les ouvrages d'art « avec les ressources que l'on pourra se procurer dans les localités ». L'expérience a malheureusement prouvé que cette absence de préparation peut conduire à employer plus de 5 jours à réparer une brèche que l'on aurait pu franchir en 5 ou 6 heures par le lancement d'un pont mobilisable, à éléments portatifs. Or si cette lenteur pouvait être tolérée jadis, elle n'est plus compatible aujourd'hui avec les progrès réalisés ni avec les exigences des nombreux convois des armées modernes.

Cependant en ce qui concerne les chemins de fer, le service du génie n'était pas resté indifférent aux travaux d'art si remarquables que les ingénieurs militaires américains avaient su improviser pendant la guerre de Sécession. Le comité des fortifications, comprenant qu'il devenait indispensable de faire appel à des moyens nouveaux pour reconstruire promptement les grands ponts de chemins de fer détruits par l'ennemi, mit au concours, de 1867 à 1869, la solution de ce difficile problème. Parmi les divers travaux envoyés, deux études dont il a été rendu compte dans le n° 20 du *Mémorial de l'officier du génie* furent particulièrement remarquées. Ces mémoires, très intéressants au point de vue de l'histoire des procédés en usage en Amérique, contenaient quelques dispositifs ingénieux, des indications générales et notamment des tables numériques fort utiles à consulter par les officiers du génie, lorsqu'ils sont appelés à improviser des ponts de petite ouverture en charpente de bois combinée avec des rails de chemins de fer. Malheureusement nulle suite pratique ne fut donnée à ces premières tentatives qui d'ailleurs manquaient un peu d'unité et de méthode. Aucun procédé nouveau et aucun projet ne furent proposés en vue de constituer dès le temps de paix un matériel puissant susceptible d'être employé couramment par les sapeurs du génie pour le rétablissement des ponts et viaducs

de diverses ouvertures existant sur les voies ferrées du continent.

Après la guerre de 1870, la question de la réparation des ponts de chemins de fer fut de nouveau reprise par le corps du génie et par divers ingénieurs civils.

On commença à comprendre que la guerre moderne doit comporter l'emploi des moyens de transport les plus puissants et la mise en œuvre de toutes les ressources de la science et de l'industrie. Dans ces conditions, le système traditionnel des travaux improvisés sur place avec les ressources locales ne pouvait plus offrir que des solutions aléatoires, lentes et surannées, auxquelles on ne devait recourir que dans des cas exceptionnels.

Après diverses tentatives infructueuses pour construire des travées ou des piles à l'aide de rails et de traverses de chemins de fer, on reprit l'historique des études et des travaux exécutés pendant les 10 dernières années pour la réparation des ouvrages d'art des chemins de fer.

C'est ainsi que M. Petsche, ingénieur en chef à la Compagnie de l'Est, présenta en 1878 un très remarquable mémoire dans lequel il faisait ressortir, avec de nombreux exemples à l'appui, les difficultés et les lenteurs des procédés employés pour le rétablissement des ouvrages d'art en 1870 et 1871 et attirait l'attention sur la nécessité urgente de créer des méthodes nouvelles et de constituer dès le temps de paix un approvisionnement de ponts métalliques pour parer aux éventualités d'une nouvelle guerre. M. Petsche démontre très clairement que les 70 réparations de ponts et viaducs exécutées sur les voies ferrées françaises pendant la campagne de 1870-1871 ont exigé au minimum :

15 jours pour chaque travée de 10 à 20 mètres de portée ;

25 à 30 jours pour les travées d'une portée supérieure à 20 mètres ;

50 jours pour des ponts de 50 à 60 mètres.

L'auteur cite notamment le viaduc de Coné sur la ligne de Nancy-Gray dont la brèche n'avait que 41 mètres et que les Allemands mirent plus de 3 mois à réparer.

Enfin il évalue à 1 630 jours le temps employé par le génie militaire allemand pour rétablir 2 000 mètres de ponts de chemins de fer.

De cet enseignement pratique tiré de la plus grande guerre moderne l'éminent ingénieur déduisait des conclusions qui peuvent se résumer comme il suit :

1° La réparation des ponts de chemins de fer par les procédés ordinaires exigeant un temps fort long, il y a lieu, dans l'éventualité d'une nouvelle guerre, d'étudier d'avance les projets de réparations possibles et de préparer une réserve de matériel de ponts de différente longueur pour les exécuter.

2° Il convient de prendre en sérieuse considération les projets de ponts tronçonnés du capitaine Marcille et ceux de MM. les ingénieurs Joyant, Celler et Léger et de procéder à une étude spéciale des piles et supports fixes des travées.

3° Enfin il est urgent de centraliser et de compléter les diverses études présentées afin de constituer promptement à Versailles un matériel permettant de construire au moins 1 000 à 1 200 mètres de travées et de prévoir pour cet approvisionnement les crédits nécessaires.

La Commission supérieure des chemins de fer, reconnaissant l'opportunité d'abandonner les anciens procédés et d'organiser aussi promptement que possible un parc de ponts militaires de chemins de fer à Versailles, examina les propositions de M. Petsche et décida en 1879 qu'il serait fait à l'École du génie de Versailles un approvisionnement du matériel proposé par M. le capitaine Marcille sous le nom de *Ponts amovibles* de chemins de fer.

Les divers types de tronçons à poutres pleines formant ce système paraissaient présenter une solution suffisante du problème, tout au moins en ce qui concerne les travées d'une

portée inférieure à 30 mètres. Quant à l'importante question des piles et palées pour la réparation des viaducs, aucune proposition satisfaisante n'avait été présentée et le concours restait ouvert aux ingénieurs.

On trouvera dans le n° 26 du *Mémorial de l'officier du génie* une description détaillée des ponts amovibles à poutres pleines dont les tronçons sont actuellement approvisionnés au parc des chemins de fer.

Ce matériel a été confectionné avec beaucoup de soin par les usines du Creuzot qui ont également fourni les grues roulantes, les bigues, les trucs-boggies et les nombreux appareils qui sont indispensables pour charger, décharger et manœuvrer les tronçons de ponts dont le poids peut atteindre et dépasser 12,000 kilogr.

Lorsque les culées sont préparées et que l'on dispose d'un personnel convenablement instruit, on peut monter et mettre en place une travée de 30 mètres à voie inférieure en 4 jours et demi. Une travée de 40 mètres à voie inférieure peut être montée et lancée dans un délai de 8 à 12 jours¹. Or, le même travail, construit avec la charpente en bois exécutée sur place, exigerait certainement de 15 à 40 jours d'après les résultats moyens obtenus en 1870 et 1871. On peut donc dire que l'adoption des ponts amovibles à tronçons a constitué au début une très notable amélioration sur les procédés de fortune employés jusqu'alors par le service du génie et par les ingénieurs des chemins de fer.

Cependant les expériences pratiques faites depuis quelques années avec les ponts à grands tronçons ont permis de reconnaître qu'ils n'étaient pas sans présenter, pour les portées comprises entre 25 et 40 mètres, quelques inconvénients dont les principaux sont les suivants qui ont été signalés par divers officiers et ingénieurs compétents :

1. Le pont d'Artemare, près de Culoz, a été réparé, en 1888, en moins de 10 jours, à l'aide d'un pont Marcille de 40 mètres.

1° Il faut que le train qui amène le matériel puisse s'approcher jusqu'au bord même de la brèche ; de plus, les wagons étant numérotés suivant un ordre de colonne qui correspond à la composition du pont, cette condition exige que le train fasse toujours un nombre pair de rebroussements entre le dépôt et le lieu occupé par la brèche.

2° Le montage des éléments ne peut être opéré qu'en suivant un numérotage déterminé, en employant des engins spéciaux et des hommes très exercés.

3° La travée de 45 mètres à voie supérieure n'ayant que 1^m,50 d'axe en axe des poutres offre une largeur beaucoup trop faible pour sa longueur, aussi serait-on obligé dans la plupart des cas d'adopter le type avec voie en dessous qui est plus lourd et dont la mise en place exige un temps beaucoup plus long.

4° Les tronçons des ponts qui dépassent la portée de 30 mètres exigent un mode de transport spécial et compliqué qui s'oppose à la dissimulation du matériel transporté, de telle sorte que l'ennemi, prévenu par des espions du passage d'un train de ponts, peut faire dérailler ou sauter ledit train et empêcher la réparation.

Ces inconvénients, inhérents aux divers ponts à voie supérieure composés de lourds tronçons d'un maniement difficile, ne sont pas très graves lorsqu'il s'agit de rétablir en seconde ligne des passages de faible ouverture sur des points éloignés de tout danger où l'on peut opérer à loisir avec le concours des ingénieurs de la voie et d'engins perfectionnés. Cependant, comme ils peuvent devenir très sérieux dans maintes circonstances, la Commission des chemins de fer et le service du Génie ont reconnu l'utilité de rechercher des dispositifs plus transportables et d'un montage plus facile.

CHAPITRE II

EXPOSÉ DU NOUVEAU SYSTÈME DE PONTS MOBILISABLES A MAILLES TRIANGULAIRES EN ACIER.

Origines et but de l'invention. — Conditions à remplir pour réaliser la mobilisation des ouvrages d'art. — Solution générale du problème consistant à substituer aux ouvrages d'art ordinaires des dispositifs réticulés indéformables obtenus par l'assemblage d'éléments portatifs et interchangeables. — Théorie et propriétés techniques du système proposé. — Énumération des types et appareils divers constituant le système réticulé à mailles triangulaires invariables. — Types à fermettes triangulées en acier. — Types à mailles divisibles en éléments rectilignes portatifs. — Avantages nombreux qu'offrent aux ingénieurs les constructions réticulées mobilisables en acier. — Économie et rapidité de construction.

Pendant que l'École du génie de Versailles et divers ingénieurs civils essayaient de rendre transportables et d'adapter à la réparation des ponts de chemins de fer les types de ponts métalliques de 10 à 40 mètres à poutres pleines en tôle déjà en usage dans les constructions des lignes ferrées, nous poursuivions de notre côté, depuis plusieurs années, la solution générale du problème de la construction ou du rétablissement improvisé des ouvrages d'art par la combinaison d'éléments en acier portatifs et interchangeables d'un petit nombre de modèles. Nos premiers travaux sur ce sujet remontent aux années 1873 et 1874, époque à laquelle nous nous sommes livrés, en Algérie, à l'étude d'une théorie des *Constructions réticulées* divisibles et économiques, susceptibles d'être montées et mises en place par de simples soldats, pour remplacer les ouvrages considérables et dispendieux dont il fallait attendre pendant de longues années les projets et la réalisation. Dans cet ordre d'idées nous avons présenté au général Chanzy, gouverneur de l'Algérie, un

mémoire et deux modèles concernant un système de ponts portatifs et d'estacades ou débarcadères maritimes en charpente divisible à mailles triangulaires¹. (Voir planches I, VII et VIII.)

Nous fûmes ainsi conduits à une étude approfondie des charpentes métalliques et notamment des divers types de ponts américains ; mais aucune de ces dispositions compliquées et encombrantes, d'une réalisation lente et pénible, ne nous parut pouvoir s'adapter à nos constructions militaires telles que nous les avons conçues. C'est alors que nous avons eu la pensée de combiner et de créer un système de charpente entièrement nouveau, se montant rapidement, sans échafaudages, et composé par l'assemblage d'éléments en acier très portatifs, approvisionnés d'avance en magasin en quantité suffisante pour permettre de construire pendant une campagne, avec la seule main-d'œuvre militaire, un certain nombre d'ouvrages d'art tels que ponts, viaducs, estacades, sans qu'il fût nécessaire d'en établir d'avance les projets et les plans de montage.

Avant de donner la description technique de ce système nouveau et de ses applications, nous croyons utile d'entrer ici dans quelques considérations générales qui en feront nettement comprendre les principes et la valeur pratique.

En général, dans l'architecture courante, les ouvrages d'art édifiés lentement avec le concours de tous les hommes de métier offrent un caractère commun de continuité, de permanence et d'appropriation locale qui exclut toute idée d'improvisation dans le travail et de mobilisation des parties essentielles de la construction. Tout édifice tel que : caserne, forteresse, pont, viaduc, etc., constitue un ensemble indivisible résultant de la combinaison définitive de ma-

1. Voir les *Nouvelles Annales de construction*, — 1884 ; et le *Spectateur militaire*, numéro du 1^{er} février 1885, article intitulé : « Constructions militaires improvisées à l'aide d'éléments portatifs. »

tériaux divers préparés et disposés dans un ordre déterminé d'après des plans, dessins et calculs longuement étudiés par des ingénieurs ou des architectes en vue d'une destination spéciale. Aussi tous les ouvrages en pierre sont-ils toujours absolument inamovibles; quant aux ouvrages en métal, tels que les ponts et viaducs, ils sont, il est vrai, plus facilement décomposables en pièces constitutives, mais chaque élément, objet d'une étude spéciale, reçoit une forme et des dimensions particulières calculées en vue du rôle et de la position qui lui sont assignés dans l'édifice.

Chaque tronçon de poutre, chaque pilier, chaque ferme, chaque morceau de pile ou de culée d'un pont possède en quelque sorte une individualité et résulte d'une combinaison de pièces métalliques ouvrées, assemblées à demeure par rivetage, et absolument distinctes les unes des autres par leur forme et par leur poids, de telle sorte qu'il n'est pas possible de substituer dans la construction les pièces homologues les unes aux autres. Depuis quelques années, il est vrai, les ingénieurs tendent à décomposer autant que possible les ouvrages métalliques en éléments préparés à l'usine de manière à pouvoir les transporter sur wagons jusqu'à pied d'œuvre, mais la plupart des tronçons ainsi employés sont encore fort divers, très lourds et très encombrants, et exigent, pour être manœuvrés, des véhicules et des engins spéciaux. D'autre part, le montage et l'assemblage par rivets de ces grandes pièces sur le chantier ne pouvant s'effectuer d'après une méthode uniforme, constituent des opérations de précision toujours fort lentes et pénibles, pour lesquelles il faut avoir recours à des épures, à des tableaux d'assemblage, à des repérages et des numérotages compliqués. Dans ces conditions on ne peut mettre en place un pont ou viaduc métallique par parties, qu'en y consacrant beaucoup de temps et en faisant appel au concours, sur le chantier même, d'un personnel nombreux de constructeurs, d'ajusteurs et d'ouvriers

spéciaux, pourvus d'échafaudages, de machines de levage et de rivetage et d'un outillage accessoire très considérable¹.

Or, toutes ces sujétions et cette complication d'outillage qui sont la conséquence obligatoire de l'exécution industrielle des ouvrages d'art permanents, édifiés sous la direction d'habiles ingénieurs pendant les loisirs de la paix, ont été jusqu'ici des obstacles insurmontables à la création des mêmes ouvrages en temps de guerre. Si nous voulons assurer les communications de nos armées en leur permettant de franchir en quelques heures les fleuves les plus larges et les ravins les plus escarpés ; si nous voulons remplacer en quelques jours les remblais détruits d'une voie ferrée, ou bien improviser un pont ou un viaduc sur une déviation, il faut sacrifier à la rapidité, l'élégance, l'économie et la perfection artistique ou industrielle de l'ouvrage à construire. Toutes les objections et routines de métier doivent disparaître devant la nécessité impérieuse de faire vite, c'est-à-dire de rétablir avec certitude, sans tâtonnements, le passage des troupes ou des trains, dans un nombre d'heures connu, avec un matériel bien préparé, en employant la seule main-d'œuvre militaire, sans avoir à recourir à des ouvriers d'art et à des matériaux de fortune qui feront généralement défaut. Dans ces circonstances pressantes et difficiles, le talent de l'ingénieur ne consiste point à faire une œuvre d'art d'une solidité exagérée, d'une convenance parfaite, mais bien à édifier rapidement et hardiment, avec un approvisionnement indéfini d'éléments portatifs tout préparés d'avance, des appareils de charpente en apparence imparfaits, mais qui soient néanmoins en état de rendre temporairement les mêmes services qu'un ouvrage lentement et sagement construit. La solution du problème ainsi posé revenait donc à

1. Ce sont ces procédés traditionnels de la construction métallique moderne dont le public a suivi, jour par jour, l'application normale pendant les grands travaux de construction de la tour de 300 mètres établie à demeure au Champ de Mars.

faire table rase des procédés usuels et à inaugurer franchement une nouvelle méthode expéditive de construction que nous avons appelée : *La Mobilisation des ouvrages d'art*.

Dans cet ordre d'idées nous avons basé tout notre système sur trois principes essentiels que nous avons formulés dans les termes suivants :

1^{er} Principe. — 1° Tout ouvrage d'art en maçonnerie, en métal ou en charpente de bois, tel que pont, viaduc, estacade, etc., peut toujours être remplacé ou suppléé temporairement par un appareil de construction réticulée métallique décomposable en grandes mailles indéformables, identiques, dont les côtés rigides sont formés de pièces droites symétriques confectionnées d'avance de manière à recevoir ou à transmettre chacune sans déformation l'effort de traction ou de compression maximum qu'elle peut avoir à supporter dans la partie de l'ouvrage où elle travaille le plus.

2^e Principe. — Si nous désignons par t le temps nécessaire à la confection complète à l'usine des éléments constitutifs d'un ouvrage d'art déterminé et par θ la durée du transport, du bardage et du montage sur place, le temps total T nécessaire à l'édification de cet ouvrage aura pour expression : $T = tt + \theta$. Or si l'on veut obtenir la plus grande simplicité et le maximum de rapidité dans la mise en place sur le chantier, il ne faut pas hésiter à augmenter tt de manière à rendre θ minimum. En d'autres termes, on peut réduire au minimum le travail militaire de la réparation d'un ouvrage d'art en poussant à son maximum le travail d'étude du système et la perfection d'exécution des pièces constitutives préparées d'avance à l'usine.

3^e Principe. — La rapidité de la construction dépend essentiellement : 1° de la facilité de transport et de manutention des éléments métalliques qui doivent être portatifs et peu encombrants ; 2° de la simplicité des assemblages obtenus par des boulons d'un petit nombre de modèles ; 3° de la

condition imposée aux éléments homologues d'être tous interchangeables et réversibles.

Pour réaliser cette conception, nous avons constitué l'ossature principale de chaque catégorie d'ouvrages soit par de grandes fermes, soit par des palées, soit par des poutres maîtresses à parois simples ou doubles suivant le cas, ayant pour plans de symétrie les plans déterminés par les résultantes des forces maxima auxquelles la construction est appelée à résister. Comme dans la plupart des cas les efforts les plus considérables sont verticaux ou horizontaux, les poutres maîtresses divisibles ont généralement leur plan de symétrie vertical, ainsi que cela a lieu pour les travées et les piles de nos viaducs portatifs.

Chaque palée ou poutre maîtresse est composée de fortes membrures divisibles réunies par un réseau de mailles très rigides en acier se reproduisant identiquement dans tout l'ouvrage. Ces grandes fermes parallèles (au nombre de 2, 3 ou 4 pour un pont ou une pile, de 4, 5 ou 6 pour une estacade) sont réunies horizontalement par des entretoises égales entre elles, disposées, suivant les cas, de manière à servir soit de pièces de pont inférieures ou supérieures, soit de travures, soit de poutres de planchers, etc. Des barres obliques ou contreventements à tendeurs, d'un modèle unique, assurent la rigidité complète des appareils de charpente dans les plans normaux aux plans des fermes principales.

On voit par ce qui précède que ce système de construction est surtout caractérisé par l'adoption exclusive, pour un genre déterminé d'ouvrages, d'un même type de ferme élémentaire composée d'une ou de plusieurs **mailles rigides**, en acier, indéformables, et dont la reproduction systématique constitue les parties essentielles et résistantes de l'ouvrage.

La forme et les dimensions de la *maille-type* peuvent varier suivant le degré de solidité ou de légèreté que nous

voulons donner aux constructions mobilisables ou au matériel spécial destiné à les édifier.

C'est ainsi que, suivant les efforts que les charpentes démontables doivent supporter, nous avons adopté :

1° *La Maille-type triangulaire isocèle ou équilatérale.* Cette maille, réalisée par 3 pièces rectilignes articulées avec enfourchement à leurs extrémités, et convenablement calculées pour résister suivant leurs axes à des efforts de traction ou de compression déterminés, jouit de la propriété d'être absolument indéformable, quelle que soit la partie de l'ouvrage qu'elle occupe. — L'emploi de cette maille répétée par juxtaposition et superposition fournit ce que nous avons appelé les appareils triangulaires réticulés, isocèle ou équilatéral (fig. 1, planche I).

C'est dans *l'appareil équilatéral* que nous avons créé notre premier type de pont léger en acier pour routes.

2° *La Maille-type quadrangulaire*, qui doit être généralement contreventée par un tirant en diagonale. — Elle donne lieu à l'appareil réticulé quadrangulaire orthogonal, ou à l'appareil rectangulaire que nous avons appliqué aux piles démontables à étages cubiques.

3° Les *Mailles pentagonales et hexagonales*, qui peuvent s'assembler soit par les sommets, soit par les côtés accolés, et qui fournissent certains appareils utiles, mais moins nécessaires que les précédents.

Dans l'appareil triangulaire isocèle, auquel nous avons donné généralement la préférence, la fermette élémentaire type, composée d'une ou de plusieurs *mailles*, peut être constituée de toutes pièces à l'usine ou bien peut elle-même se décomposer en éléments rectilignes portatifs s'assemblant entre eux avec des axes ou des boulons en acier. Nous avons constitué ainsi deux classes de constructions réticulées mobilisables à mailles triangulaires.

1° Les types à *fermettes triangulaires identiques indivisi-*

bles, formés par la combinaison de triangles portatifs en acier reliés entre eux par des pièces droites.

2° Les types à *mailles triangulaires identiques divisibles* dont les côtés rigides sont formés de pièces rectilignes en acier portatives et interchangeables.

Nous avons figuré sur la planche I les diagrammes des principales combinaisons appartenant à ces deux catégories du nouveau système.

La figure 1 représente en A, B, C, les 3 types de mailles ou fermettes triangulaires indivisibles qui entrent dans la composition des appareils de la 1^{re} catégorie. L'association de ces fermettes rigides avec des pièces droites identiques formant tirants, entretoises et contreventements, permet d'obtenir les fermes et poutres simples ou tubulaires représentées par les tracés 2, 3 et 4.

Les appareils ainsi obtenus ont été appliqués par nous assez avantageusement à la construction de travées légères démontables de 6 à 25 mètres pour ponts de radeaux ou pour passerelles de route. Il convient dans ce cas que les triangles portatifs en acier ne pèsent pas plus de 80 kilogr. et n'aient pas une longueur supérieure à 5 mètres¹.

Le dispositif (fig. 5), composé par l'assemblage de triangles équilatéraux identiques et interchangeables, s'applique à la construction de fermes verticales, de palées et surtout d'estacades ou appontements maritimes.

Les appareils de la deuxième catégorie sont composés de *mailles identiques divisibles* en pièces rectilignes très rigides, pleines ou creuses, réduites au nombre minimum de types essentiels. Nous appliquons cette disposition aux grands ouvrages d'art, qui exigent l'emploi de pièces très résistantes d'une exécution très soignée, tels que les travées

1. La maison Eiffel a dépassé cette limite de poids de la maille indivisible en l'appliquant aux ponts de chemin de fer, mais alors les éléments sont lourds et encombrants et les semelles sont trop faibles pour supporter le lançage.

et les piles de longueur et de hauteur variables pour ponts et viaducs de chemins de fer.

La figure 6 représente divers diagrammes de poutres à mailles triangulaires isocèles pour travées de 10 à 30 mètres.

La figure 7 représente une travée variable de 7 à 35 mètres, composée de mailles en triangles rectangles identiques.

Les dessins et les considérations qui précèdent suffisent déjà pour faire ressortir la simplicité et la fécondité de cette nouvelle méthode de construction qui se plie à toutes les exigences et dont les applications sont aussi nombreuses que variées. Pourvu que nos ingénieurs militaires possèdent un approvisionnement convenablement préparé d'éléments portatifs en acier, ils seront en mesure de parer à toutes les éventualités, même dans les pays les plus sauvages et les plus dépourvus de bois et de ressources.

En effet, notre *Système réticulé divisible*, pouvant se développer régulièrement, *maille par maille*, soit en hauteur, soit en longueur, soit en largeur, permet au constructeur d'improviser sûrement, *sans projet préalable*, de grandes fermes verticales, des poutres à simple ou à double paroi de toute hauteur et de toute portée, très rigides, et dont les dimensions totales n'ont pour limites que celles qui sont imposées par la résistance de sécurité de la *pièce-type* qui supporte l'effort maximum de compression ou de traction. En disposant parallèlement un certain nombre de ces poutres maîtresses ou fermes principales à des intervalles variables suivant les efforts maxima qu'elles auront à supporter, en les reliant entre elles par des entretoises, châssis ou pièces de pont, et en rigidifiant les panneaux rectangulaires par des tiges de contreventement identiques, l'ingénieur militaire pourra faire exécuter à volonté et sans hésitation un pont, un viaduc avec piles, un soutènement de tunnel, etc., en un mot un ouvrage d'art quelconque. La simi-

litude des éléments portatifs et l'identité des assemblages rendent interchangeables toutes les parties homologues de l'ouvrage, de telle sorte que le travail de montage des pièces s'opère *sans échafaudages et sans numérotage* avec une étonnante facilité. Les pièces apportées à la hâte en wagons, voitures ou bateaux, sont immédiatement mises en œuvre au fur et à mesure de leur arrivée sur le chantier où elles forment un approvisionnement indéfini. Quel que soit l'état d'avancement du travail, il peut toujours être activement poursuivi, de jour ou de nuit, sans interruption, par des équipes d'hommes embrigadés ¹.

Ainsi se trouve réalisé le problème de la *Mobilisation des constructions* par l'application exacte des principes que nous avons formulés plus haut et qui peuvent se résumer ainsi :

1° Ramener tout ouvrage d'art à n'être plus qu'une combinaison systématique d'éléments métalliques rigides, portatifs et interchangeables, réduits au nombre minimum de modèles-types.

1. Les expériences faites depuis six ans sur le montage des ponts et des piles mobilisables en acier ont mis en évidence l'extrême rapidité de ce mode de construction lorsque les éléments sont à pied d'œuvre. C'est ce qu'indique le tableau suivant :

GENRE D'OUVRAGE D'ART MOBILISABLE ESSAYÉ.	NOMBRE de travailleurs.	DURÉE du travail.	POIDS total mis en place.	POIDS PAR HEURE et par homme.
	Hom.	heures.	kil.	kil.
Pour un pont de route de 360 mètres à éléments légers pesant moins de 120 kilogr.	120	40	200 000	45
Pour un pont de chemin de fer à grands éléments pesant moins de 500 kilogr.	90	46	245 000	59
Pour une pile de 20 mètres à grands éléments pesant moins de 1,000 kilogr	20	27	35 000	64

Si la Tour Eiffel, qui pèse 6,000,000 de kilogr., avait été construite et montée par la méthode des pylônes mobilisables, à raison de 60 kilogr. de métal par homme et par heure, elle aurait pu être édifiée par 200 ouvriers dans un délai de six mois.

2° Combiner le système et ses éléments constitutifs de telle sorte que la plus grande partie du travail technique *lente et difficile* soit réalisée d'avance à l'usine en temps de paix, afin de n'avoir plus à exécuter, en temps de guerre, sur le chantier, que le travail *simple et facile*, c'est-à-dire le bardage des pièces et le serrage des assemblages.

Telles sont les formules et les combinaisons théoriques qui ont présidé à l'élaboration de notre système. Nous allons montrer dans les chapitres suivants comment nous avons appliqué ces idées à la création des ponts mobilisables en acier.

CHAPITRE III

PONTS ET VIADUCS MOBILISABLES A MAILLES TRIANGULAIRES EN ACIER POUR CHEMINS DE FER A VOIE NORMALE ET A VOIE DE 1 MÈTRE.

Applications du Système de constructions mobilisables à mailles triangulaires à la création d'un matériel portatif pour ponts et viaducs de chemins de fer de dimensions quelconques. — Premier modèle de pont portatif à mailles triangulaires essayé en Algérie. — Résumé des projets présentés par l'inventeur au comité du génie et au ministre de la guerre de 1880 à 1884. — Expérimentation décisive d'une travée mobilisable lancée sur la ligne ferrée de Questembert à Ploërmel. — Adoption officielle des ponts mobilisables en 1887. — Essais pratiques des piles et des grandes travées mobilisables tubulaires de 40 à 60 m. — Type de pont du même système pour la voie de 1 mètre. — Viaducs à travées et à piles de dimensions variables. — Dispositif spécial pour franchir une brèche de 55 à 80 mètres. — Avantages que présente ce système pour les grandes Compagnies de chemins de fer.

La nouvelle méthode de *Constructions mobilisables* à montage rapide que nous venons d'exposer dans le chapitre précédent a donné lieu de notre part à diverses applications pratiques dont la plus importante est la création d'un système complet de ponts portatifs en acier pour chemins de fer.

Notre premier modèle fut un type de pont léger de 18 mètres à triangles rigides portatifs, qui fut présenté, en 1875, au général Chanzy, gouverneur de l'Algérie.

Dans les premières expériences, nous avons dû nous borner, par raison d'économie, à construire de simples passerelles de notre système, soit avec des triangles isocèles en bois de 2^m,50 de longueur, soit avec des pièces rectilignes en fer, interchangeables, boulonnées entre elles de manière à constituer des poutres réticulées à mailles triangulaires

indéformables. Ces travées légères, ayant la forme de cages rectangulaires à claire-voie de 1^m,70 de hauteur sur 2 mètres ou 2^m,50 de largeur, pouvaient servir à franchir des brèches d'une ouverture variant entre 6 mètres et 19 mètres. Le nombre de pièces élémentaires était réduit à 6 ou 7 types, dont la plus lourde ne dépassait pas 30 kilogr. et la plus longue 2^m,50. Le poids total d'un pont portatif de ce genre de 20 mètres de portée maxima ne dépassait pas 4,000 kilogr. et il pouvait supporter le passage des prolonges de 2,400 kilogr. La mise en essai de ces modèles a suffi pour démontrer très nettement les propriétés et les avantages de notre système réticulé mobilisable et sa supériorité sur les ponts ordinaires à poutres pleines, notamment en ce qui concerne la rapidité du montage et la grande légèreté des éléments portatifs. Nous proposâmes alors à M. le général Farre, ministre de la guerre, de construire, dans les mêmes conditions mais avec des pièces plus robustes et calculées en conséquence, un matériel permettant d'improviser rapidement des travées et des piles réticulées pour la réparation des ponts de chemins de fer. Mais la mise à exécution des projets que nous avons présentés dans ce but au comité du génie devant entraîner des dépenses assez considérables, la construction de ce nouveau système fut ajournée, pendant trois ans, faute de fonds, et nos propositions furent renvoyées à un nouvel examen ultérieur.

D'après les mémoires et dessins d'exécution présentés, nous nous proposons de réaliser le programme suivant :

1° Création et approvisionnement en magasin d'un matériel portatif suffisant pour construire à volonté 600 mètres de travées à portées variables, depuis 6 mètres jusqu'à 50 mètres, et 200 mètres de piles démontables du même système, de hauteurs variables comprises entre 4 et 25 mètres ;

2° Combinaison des travées à portée variable avec les

pires de hauteurs différentes, afin de permettre de construire, suivant les besoins et sans le secours de projets spéciaux, un viaduc de chemin de fer à plusieurs travées, franchissant une brèche de longueur quelconque, ainsi que l'indique la figure de la planche II;

3° Ces travées ou ces piles réticulées sont formées d'une combinaison de mailles triangulaires identiques indéformables dont les côtés ou arêtes rigides sont des pièces en acier calculées de manière à résister suivant leur axe de figure aux efforts maximums de traction ou de compression auxquelles elles seront exposées dans les parties les plus fatiguées de l'ouvrage;

4° Les assemblages simples, formés par des boîtes ou par des plaques en acier recevant les abouts (tenons ou fourchettes) des pièces qui y sont fixés par des boulons ou par des axes d'articulation, sont symétriques, de manière que les efforts passent toujours par les axes des boulons, afin d'éviter les couples et les cisaillements qui faussent et gauchissent les pièces;

5° Nos mailles triangulaires rigides peuvent se juxtaposer dans le sens longitudinal et se superposer par étages successifs dans le sens vertical. Cette propriété permet de composer à volonté avec les mêmes éléments, des poutres réticulées très stables et très rigides, à double paroi, dont la longueur variable est un multiple de la longueur de l'élément de cordon ou de la membrure et dont la hauteur comprend un, deux, trois ou quatre étages de triangles ainsi que le montre la planche III représentant notre travée de 40 à 60 mètres;

6° Les éléments portatifs principaux sont réduits à un petit nombre de modèles, ainsi que les boulons. Les pièces de même ordre doivent être identiques et rigoureusement interchangeables, d'après la définition même du système;

7° L'élément le plus lourd ne doit pas atteindre le poids de 500 kilogr. pour être facilement manœuvré et la longueur des pièces ne dépassera pas 5 mètres, de manière qu'elles puissent, sans difficulté ni encombrement, être engerbées dans des magasins ordinaires et transportées par tous les véhicules ou bateaux militaires ;

8° Les travées mobilisables ainsi constituées à l'aide de un ou plusieurs étages de triangles rigides ont été combinées de manière à pouvoir être montées rapidement et mises en place par voie de lancement, par les sapeurs du génie aidés de soldats d'infanterie, sans numérotage des pièces ni projet d'exécution préalable.

Telles sont les conditions que nous nous étions imposées et auxquelles nous sommes parvenus à satisfaire en nous attachant à obtenir une exécution extrêmement soignée de toutes les pièces constitutives de nos ponts.

En 1885, la Commission supérieure des chemins de fer, tout en approuvant en principe la méthode nouvelle, voulut se rendre compte par des expériences comparatives pratiques de la valeur du système à mailles triangulaires ¹.

A cet effet, cette Commission, mettant à profit le rétablissement d'un pont de chemin de fer entrepris par la Compagnie d'Orléans sur la ligne de Questembert à Ploërmel, s'entendit avec cette Compagnie pour faire expérimenter, par voie de concours, divers types de travées démontables de 30 mètres de longueur maxima. Dans ce but, nous nous adressâmes à M. Duval, l'éminent ingénieur directeur général de la Compagnie de Fives-Lille, qui, confiant dans notre invention, consentit à faire, à ses risques et périls, et sans frais pour l'État, l'expérimentation complète d'une travée de notre système sur une portée de 30 mètres.

1. La Commission supérieure était alors présidée par M. le général de La Jaille, président du comité d'artillerie, et par M. le général de Cools, vice-président, aujourd'hui commandant le 2° corps d'armée.

Le matériel de cette première travée fut exécuté du 15 décembre 1885 au 9 février 1886, en 54 jours, aux ateliers de Givors, avec une habileté remarquable, sous la direction de M. Lantrac, ingénieur en chef des travaux de ponts de la Compagnie Fives-Lille.

Une commission spéciale fut constituée sous la présidence de M. le colonel du génie Lallemand¹, membre de la Commission supérieure des chemins de fer, pour diriger les expériences et constater les résultats du concours.

Les divers types de travées démontables essayés au commencement de l'année 1886 par cette commission furent les suivants :

1° Une travée de 30 mètres du système des ponts dits amovibles, à tronçons pleins et à voie supérieure du commandant Marcille (construit par le Creusot) ;

2° Un type de travée à mailles triangulaires identiques et indivisibles (application du système réticulé), construit par la maison Eiffel ;

3° Un type de travée de notre système composée de deux poutres à double paroi à mailles triangulaires identiques divisibles (construit par la Compagnie de Fives-Lille) ;

4° Un type de grande travée de portée maxima de 60 mètres, composée de mailles quadrangulaires divisibles en éléments rectilignes portatifs (application du système réticulé), présentée par MM. Boyer et Marion, ingénieurs, et construite par les ateliers Cail.

Cette dernière travée, d'une exécution difficile et compliquée, était en fer ; elle ne fut essayée qu'en 1887 au polygone du génie de Versailles. Elle ne résista pas au passage des machines d'épreuve.

Ces quatre types de travées ont été très consciencieuse-

1. M. le général Lallemand, qui fit faire un examen très approfondi de notre nouveau système de ponts, est aujourd'hui commandant supérieur du génie du 16^e corps d'armée.

ment discutés et comparés par la commission sous les divers points de vue suivants :

- 1° Nombre d'éléments-types différents ;
- 2° Poids et dimensions de l'élément le plus lourd, le plus grand et le plus encombrant ;
- 3° Nombre et diversité des boulons, valeur et solidité des assemblages ;
- 4° Chargement, déchargement et bardage des éléments. Facilité de transport ;
- 5° Facilité de montage. Simplicité de l'outillage employé ;
- 6° Facilité, rapidité et sécurité du lançage des travées avec ou sans avant-bec ;
- 7° Durée totale de la mise en place du pont de 30 mètres ;
- 8° Résistance, rigidité transversale et flèches élastiques des travées sous le passage de 2 machines de 55 tonnes à la vitesse de 15 kilomètres à l'heure ;
- 9° Facilité d'emmagasinage du matériel et du renouvellement des approvisionnements ¹.

Sans entrer dans le détail des expériences et de la discussion approfondie dont elles ont été l'objet, nous pouvons dire que la supériorité du système réticulé à mailles triangulaires sur le système à tronçons pleins a été unanimement reconnue et que le type que nous avons présenté a eu l'avantage sur les autres aux divers points de vue de la facilité du transport des pièces, de la rigidité des assemblages, de la rapidité du montage et de la mise en place, qui furent exécutés en 32 heures.

Le tableau comparatif ci-contre résume les résultats obtenus avec les différents types de ponts démontables existant en 1886.

1. Plusieurs journaux techniques ont donné la description de ces intéressantes expériences en 1883 et 1887.

TABLEAU COMPARATIF des types de ponts démontables expérimentés sur la ligne ferrée de Questembert à Ploërmel, en 1886.

DÉSIGNATION du système ou du type de pont.	NOMBRE d'éléments-types.	POIDS de l'élément le plus lourd.	LONGUEUR de l'élément le plus grand.	POIDS DU MÈTRE COURANT DU PONT.			FLÈCHE prise par le pont au passage de deux machines pour 30m de portée.	DURÉE totale de la mise en place pour 30m de portée.
				Type de 30m.	Type de 45m.	Type de 60m.		
PONT AMOVIBLE SYSTÈME MARCILLE (1879) Tronçons pleins Portée de 10 à 45 mètres. Construit par le Creusot.	11 modèles de pièces, 72 types de boulons, Lançage avec un avant- bec spécial.	Tronçons : 12,100 k. pour le pont de 30 mètres; 18,100 kil. pour le pont de 45 mètres. (Grue spéciale).	10 mètres. (Tronçon.)	à voie en dessus 1,420 kil. à voie en dessous 1,750 kil.	2,080 kil. avant- bec 2,400 kil. voie inférieure	N'existe pas.	0,070 ^m / _m .	49 heures. Adopté depuis 1879.
PONTS MOBILISABLES SYSTÈME HENRY (inventé en 1880) Grandes mailles identiques di- visibles à éléments portatifs et interchangeables, en acier. Portée de 6 à 55 mètres. Construit par FIVES-LILLE.	7 modèles de pièces, 5 types de gros boulons. Pas d'avant- bec.	375 kil. Poids de la pièce de pont.	5 mètres. (Bracon.)	à voie supérieure ou inférieure 1,525 kilog.	2,200 kil. sans avant- bec jusqu'à 47m.	Poids 2,600 kilog. de 47m à 55m.	0,025 ^m / _m . (Flèche la plus faible.)	32 h. 1/2. Adopté en 1887.
TYPE BOYER ET MARION proposé en 1884 Grandes mailles divisibles en fer. Portée de 40 à 60 mètres. Construit par les ateliers CAIL.	12 modèles de pièces, 5 types de boulons. Lançage avec un avant- bec spécial.	600 kil. (Pièce de pont)	6 mètres. (Montant.)	2,000 kil. (environ).	2,500 kil. (environ).	3,400 kil.	0,035 ^m / _m .	60 heures (environ).
PONT DE LA MAISON BIFFEL (1884) Mailles triangulaires indivisibles. Portée de 9 à 25 mètres.	14 modèles de pièces, 3 types de boulons, 1 avant- bec spécial.	365 kil. (Pièce de pont et panneau triangulaire.)	6 mètres. (Grand triangle de 3m de hauteur.) Peu maniable. Poids : 365 k.	1,600 kil. à voie inférieure.	2,000 kil. voie inférieure pour 43m de portée.	N'existe pas.	0,028 ^m / _m .	55 h. 3/4.
Type de travée présenté en 1887 par COMMENTRY ET FOURCHAULT Mailles triangulaires identiques divisibles. Portée de 8 à 32 mètres.	13 modèles de pièces. Assemblages à clavettes, 1 avant- bec.	570 kil. (Pièce de pont)	5m, 60.	1,700 kil.	2,800 kil.	N'existe pas.	Inconnue.	N'a pas été essayé.

A la suite de ces constatations jugées décisives, le département de la guerre adopta officiellement, en 1887, la mise en pratique dans le service militaire des chemins de fer de notre système de ponts mobilisables en acier. Le service du génie fit exécuter tout d'abord pour l'École de Versailles 7 travées du type de 6 à 32 mètres disposées de manière à former avec les mêmes éléments deux grandes travées de 47 mètres de portée maxima à 2 étages de triangles superposés. Ce matériel a été construit par la Compagnie de Fives-Lille.

Dans le courant de l'année 1889, M. de Freycinet, ministre de la guerre, et les membres de la Commission supérieure des chemins de fer assistèrent à Versailles au montage et au lancement de la travée mobilisable de 33 mètres. Au mois de mai 1890, la Commission fit monter et mettre en place, devant M. le général Saussier, gouverneur de Paris, et les généraux présidents des comités de l'artillerie et du génie, un pont de chemin de fer de 94 mètres de longueur, composé de 2 travées mobilisables tubulaires à 2 étages, supportées par 3 points d'appui. Le lançage de ce grand pont fut opéré avec la plus grande facilité en 80 minutes. Le montage des éléments avait été exécuté par 90 sapeurs en 40 heures. (Voir planches n^{os} III et IV.)

Tel qu'il est organisé définitivement, notre système de ponts et piles mobilisables de chemins de fer comporte les éléments interchangeables, dont la nomenclature est indiquée sommairement dans le tableau suivant qui ne donne d'ailleurs pour ces pièces que des poids simplement approximatifs¹ :

1. Les calculs de résistance concernant nos travées et leurs pièces constitutives ont fait l'objet de mémoires spéciaux, soumis à l'approbation de la Commission supérieure des chemins de fer.

Tableau des Éléments rectilignes constitutifs des Ponts et Piles mobilisables du système Henry.

1° Éléments des Travées types 1, 2, 3.

NOMS des pièces.	MODÈLES DIVERS.	POIDS approché.
		kilogr.
A. Membrure et longerons.	Type a_1 . — Membrure supérieure, en caisson.	450
	Type a_2 . — Membrures inférieures et longerons sous rails.	400
B. Pièce de pont.	Type b_1 . — Pièce de pont du cours	450
	Type b_2 . — Pièce de pont d'about pour travée tubulaire.	800
C. Montant	Type c_1 . — Montant inférieur pour les types de travée 1 et 3.	205
	Type c_2 . — Montant supérieur pour travée à 2 étages.	200
	Type c_3 . — Montant inférieur sur les appuis (type n° 3).	650
D. Bracons	Type d_1 . — Bracon en caisson, comprimé.	187
	Type d_2 . — Bracon en barre tendue	75
E. Contreventement	Un seul modèle. Barre de contreventement.	65
F. Entretoise	Entretoise supérieure à contre-fiches de la travée n° 3.	410
G. Plaques d'assemblage.	Type g_1 . — Plaque inférieure et supérieure du cours	30
	Type g_2 . — Plaque rayonnante du milieu.	50
	Type g_3 . — Plaque-secteur d'about.	33
H. Abouts de membrures	Type h_1 . — About mâle de membrure inférieure a_2	127
	Type h_2 . — About femelle de membrure inférieure a_2	130
	Type h_3 . — About mâle de membrure supérieure a_1	93
	Type h_4 . — About femelle de membrure supérieure a_1	90
I. Fourrures	Fourrures-entretoises de 4 modèles	24
K. Boulons	Modèle K_1 . — Gros boulon d'articulation.	30
	Modèle K_2 . — Boulon des longerons.	15
	Modèle K_3 . — Boulon des pièces de pont	8
	Modèle K_4 . — Boulon de 0 ^m ,038.	3
	Modèle K_5 . — Boulon de 0 ^m ,023.	2
	Modèle K_6 . — Petits boulons	0,250

NOTA. — La maille triangulaire divisible constitutive des poutres est composée par :
 2 membrures formant la base ;
 2 bracons formant les côtés ;
 1 montant vertical formant la hauteur.

2° Éléments des Piles mobilisables.

NOMS des pièces.	MODÈLES DIVERS DES ÉLÉMENTS.	POIDS approché.
		kilogr.
L. Pilier	Type l_1 . — Pilier de 3 ^m ,50 de hauteur.	700
	Type l_2 . — Pilier court de 1 ^m ,20 de hauteur.	230
M. Entretoise	Type m_1 . — Entretoise de 4 mètres	120
	Type m_2 . — Entretoise de 1 ^m ,70	50
N. Diagonale	Diagonale en deux pièces avec tendeur	40
O. Entablement.	Entablement de 4 ^m ,76 de longueur.	900
P. Entretoise du couronnement.	Poutre en treillis de 3 ^m ,75	600
Q. Boisseau d'assemblage.	Boisseau	40
R. Boulons	Trois types de boulons	»

NOTA. — Dans ce type de pile mobilisable, la maille triangulaire est un triangle rectangle indéformable dont l'un des côtés est formé par le pilier L, l'autre côté par l'entretoise M, et l'hypoténuse par la diagonale N.

Toutes les pièces dont les formes et dimensions ont été déterminées par le calcul sont confectionnées en acier doux susceptible de travailler avec sécurité sous une charge d'épreuve de 12 kilogrammes par millimètre carré.

Suivant l'agencement que nous donnons aux mêmes éléments nous pouvons construire 3 types de travées, n° 1, n° 2, n° 3, permettant de franchir les portées maxima de 33 mètres, 40 mètres et 55 mètres.

Type n° 1. — *Travée pour les portées variant depuis 6 mètres jusqu'à 33 mètres.* — Ce modèle de travée se compose de 2 poutres-maîtresses, à double paroi, résultant de la combinaison de triangles isocèles opposés de 3^m,35 de base sur 3^m,50 de hauteur ABC, A'B'C' (fig. 1).

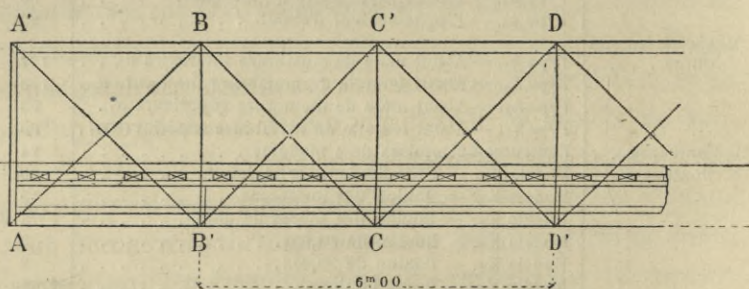


Fig. 1. — Schéma de la poutre principale du pont de 33 mètres (type n° 1).

Les bases inférieures telles que AC des triangles élémentaires sont formées par l'assemblage bout à bout de 4 membrures types a_2 travaillant à l'extension et au lançage, tandis que les bases supérieures : A' C' résultent de l'assemblage de 2 membrures type a_1 travaillant à la compression.

Les côtés des triangles inclinés à 45° environ vers le milieu de la travée sont des bracons en caisson type d_1 comprimés; les côtés opposés, inclinés vers les appuis, sont formés de 2 bracons parallèles type d_2 travaillant à l'extension.

Cette distinction rationnelle entre les pièces comprimées et les pièces tendues s'oppose à toute déformation des éléments et a donné d'excellents résultats aux expériences.

Les deux triangles opposés : ABC , $A'B'C'$, ont une hauteur commune qui assure la parfaite invariabilité du panneau. Cette hauteur est réalisée par un *Montant* BB' construit en caisson, d'une largeur suffisante pour embrasser dans ses deux fourchettes extrêmes les deux cours de membrures supérieures et inférieures, disposition qui donne aux poutres à double paroi une rigidité transversale et une stabilité complètes (fig. 2).



Fig. 2.
Élévation d'un montant ($\frac{1}{50}$)
de la travée type n° 1.

Ces deux poutres triangulées sont montées en même temps et réunies entre elles à la partie inférieure par une *Pièce de pont* FG (fig. 4) d'une construction spéciale qui s'assemble avec les deux montants par deux boulons disposés de manière à rendre invariables les angles droits DFG et EGF qu'elle forme avec les poutres, ce qui supprime l'inconvénient que présenterait l'adjonction d'une contre-fiche réunissant le montant à la pièce de pont.

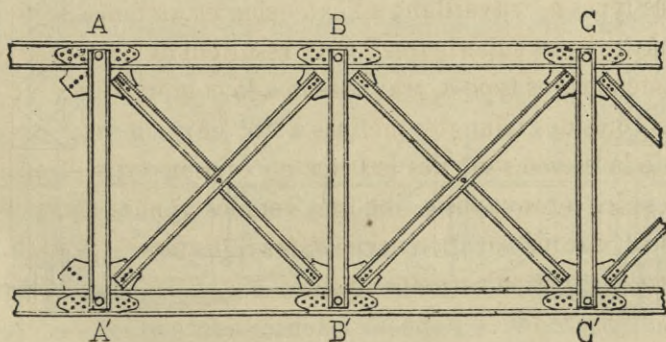


Fig. 3. — Élévation d'une poutre principale du pont de 33 mètres ($\frac{1}{112}$) [type n° 1].

Les montants sont calculés pour servir indifféremment d'appuis aux travées de portée inférieure à 33 mètres.

Les pièces de pont sont réunies deux à deux par deux longérons sous rails qui supportent les traverses, la voie et le plancher destiné au passage des voitures. Des barres de contreventement forment avec les membrures inférieures et les pièces de pont des triangles invariables.

La voie se compose de châssis portatifs comprenant les traverses et les rails, qui se mettent très rapidement en place. Quant au plancher, il est formé de plateaux en chêne tout préparés et que l'on pose en même temps que les châssis de la voie.

Notre type de travée n° 1 de 33 mètres pèse environ 1,750 kilogr. par mètre courant, ossature, voie et plancher compris. La figure 3 montre une portion de l'élévation du pont, dont la coupe est indiquée par la figure 4.

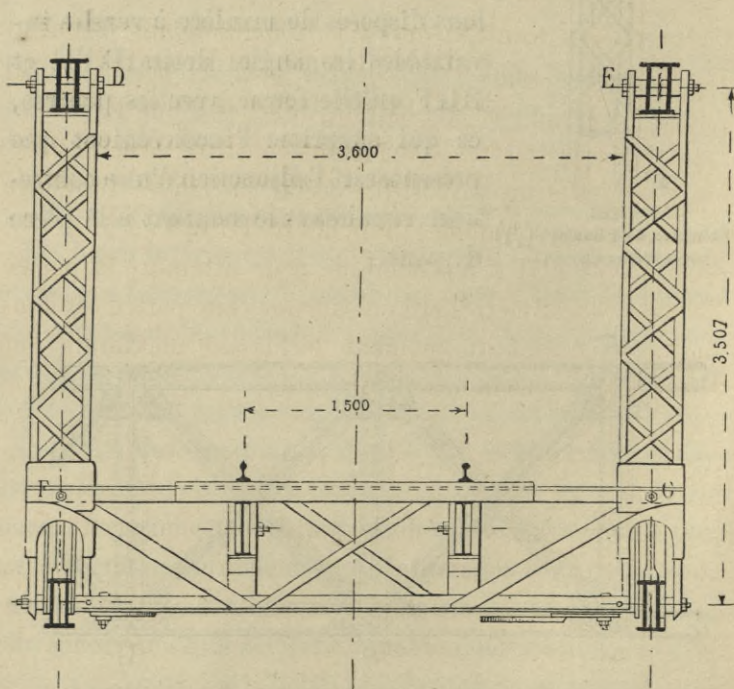


Fig. 4. — Coupe transversale de la travée (type n° 1) de 6 à 33 mètres de portée.

Type n° 2. — *Travée pour les portées de 33 à 40 mètres.*
 — On passe du type n° 1 au type n° 2, en remplaçant simplement les montants de 3^m,50 par le deuxième type de montant qui a 4^m,50. Toutes les autres pièces sont les mêmes que dans la travée précédente, la disposition seule de 2 triangles ABC, A'B'C' opposés constituant les parois de chaque poutre est différente. Pour augmenter la hauteur de ces triangles et par suite la hauteur de la poutre on redresse les bracons qui forment alors un angle de 70° avec l'horizon et qui viennent s'assembler alternativement sur les plaques des montants et sur les plaques fixées au milieu des membrures supérieures et inférieures. Cette simple transformation, en renforçant les parois des poutres, a l'avantage de diminuer de moitié le porte-à-faux des membrures inférieures pendant le lançage qui s'effectue sur rouleaux comme pour la mise en place de la travée n° 1.

Type n° 3. — *Grande travée mobilisable tubulaire à mailles triangulaires identiques superposées, pour les portées de 40 à 60 mètres.* — Pour franchir les brèches d'une ouverture supérieure à 40 mètres, nous avons constitué avec nos éléments portatifs un dispositif spécial de travée tubulaire représenté en diagrammes planches n°s III et IV.

Notre type n° 1 a été combiné pour atteindre la portée maxima $L_1 = 33$ mètres et l'on sait que cette portée est donnée par l'équation du moment fléchissant maximum que nous écrivons sous la forme suivante :

$$(1) \quad 2R \omega H_1 = \frac{pL_1^2}{8}, \text{ d'où} \quad (2) \quad L_1 = 4 \sqrt{\frac{R \omega H_1}{p}}$$

p étant la charge totale de la travée par mètre courant, ω la section droite constante d'une membrure inférieure ou supérieure et H_1 la distance verticale des centres de gravité des sections des cordons supérieurs et inférieurs des poutres.

Si, en supposant que toutes les autres quantités ne varient pas, nous doublons la hauteur des poutres, c'est-à-dire si nous remplaçons dans notre formule (2) H_1 par $H_2 = 2 H_1$, nous obtiendrons la portée maxima L_2 d'une travée de hauteur double du type n° 1, nous obtenons ainsi :

$$L_2 = 4 \sqrt{\frac{R \omega 2 H_1}{p}} = L_1 \times \sqrt{2} = L_1 \times 1,4142,$$

ou $L_2 = 33 \times 1,4142 = 47$ mètres.

C'est ainsi que nous avons pu constituer une travée ayant la portée maxima de 47 mètres en doublant la hauteur des poutres-maîtresses du type n° 1, ce que nous avons obtenu très simplement par la superposition de deux rangs de mailles triangulaires identiques, conformément aux principes que nous avons formulés au chapitre II. Nous avons ainsi été conduits à superposer deux montants verticaux de 3^m,50 dans chaque panneau.

En réunissant à la partie supérieure ces deux poutres de 7 mètres de hauteur par des traverses à contre-fiches boulonnées aux sommets des montants et maintenues par les barres de contreventement, nous avons constitué un type de grande travée tubulaire simple et robuste dont le montage s'opère avec une grande rapidité.

Type n° 3 *bis*. — Enfin, il nous a suffi de remplacer les membrures supérieures du type n° 1 par des couples de grandes membrures solidarisées pour accroître considérablement la résistance à la compression des deux cordons supérieurs de la travée; ce qui nous a permis de réaliser, sans autre modification et sans introduire de pièce nouvelle, un type 3 *bis*, de travée tubulaire capable d'atteindre la portée maxima de 60 mètres, et dont le poids par mètre courant ne dépasse pas 2,600 kilogr.

Afin de soulager les membrures inférieures pendant l'opération du lançage, nous renforçons les panneaux qui travail-

lent le plus, par des jambes de force obliques dont les extrémités inférieures sont boulonnées dans l'œil du milieu de chaque membrure, ce qui diminue de moitié le porte-à-faux. Le calcul et l'expérience nous ont démontré que cette disposition fort simple donnait une sécurité complète pendant la période critique du lançage et, qu'avec des rouleaux à balancier convenablement établis, cette opération s'accomplissait avec une facilité et une rapidité étonnantes.

Les types de travées que nous venons de décrire ont parfaitement supporté les épreuves à charge roulante, consistant dans le passage réitéré d'un train d'essai composé de deux machines de 87 tonnes et de 3 ou 4 wagons du poids de 15 tonnes.

Pontes mobilisables pour chemins de fer à voie de 1 mètre.

— Nous avons appliqué à la voie d'un mètre les trois types de travées de notre système en diminuant convenablement les dimensions et les poids des éléments constitutifs, calculés pour une charge d'épreuve réduite à 3,600 kilogr. par mètre courant, les machines locomotives étant supposées peser 36 tonnes en ordre de marche. La travée de 30 mètres ayant 3 mètres de haut et 3^m,50 de largeur les poids des éléments sont les suivants :

A. — Membrure double pesant . . .	300 kilogr. environ.	
B. — Pièce de pont.	290	—
C. — Montant.	170	—
D. — Bracon simple	40	—
E. — Contreventement	30	—
F. — Entretoise supérieure. . . .	200	—
G. — Longeron sous rails. . . .	150	—

Dans ces conditions, le type de travée de 33 mètres pèse 800 kilogr. seulement par mètre courant ; celui de 33 à 40 mètres 1,200 kilogr., et celui de 40 à 54 mètres 1,500 kilogr.

Les opérations du montage et du lançage, simplifiées par la réduction du poids des pièces et des masses à manier,

s'exécutent avec plus de promptitude encore que pour les travées à voie large.

Les ponts mobilisables à voie d'un mètre ont l'avantage de pouvoir être employés au besoin comme ponts de routes stratégiques à défaut d'un matériel spécial plus léger.

Piles mobilisables pour viaducs. — La figure 4 de la planche II représente l'élévation transversale d'une de nos piles à mailles triangulaires en acier, et la figure 5 montre la pile en cours de construction.

Ce type de pile de forme prismatique a 4^m,20 de largeur sur 2 mètres d'épaisseur et se compose d'autant d'étages de 3^m,30 et de 1^m,20 superposés qu'il en faut pour atteindre une hauteur quelconque comprise entre 4 mètres et 25 mètres.

Chaque étage rectangulaire est formé de 4 piliers verticaux réunis horizontalement par des entretoises et contreventés par des barres diagonales à tendeurs. Le dispositif d'assemblage des pièces est conçu de telle sorte que l'on peut à volonté doubler ou tripler la largeur de la pile afin d'augmenter sa stabilité comme l'indique le dessin (fig. 4).

Les expériences pratiques exécutées en 1889 au polygone du régiment des chemins de fer à Versailles, ont démontré qu'une pile mobilisable de 20 mètres de hauteur, pesant en tout 36 tonnes, peut être facilement montée par vingt sapeurs du génie dans un délai de 30 heures, lorsque la fondation est préparée¹.

Durée de la mise en place des travées à mailles triangulaires. — D'après les derniers essais de montage de ponts

1. L'École de chemins de fer a également essayé un type de pile métallique démontable à mailles triangulaires présenté par M. le commandant du génie Lerosey, et basé sur les mêmes principes.

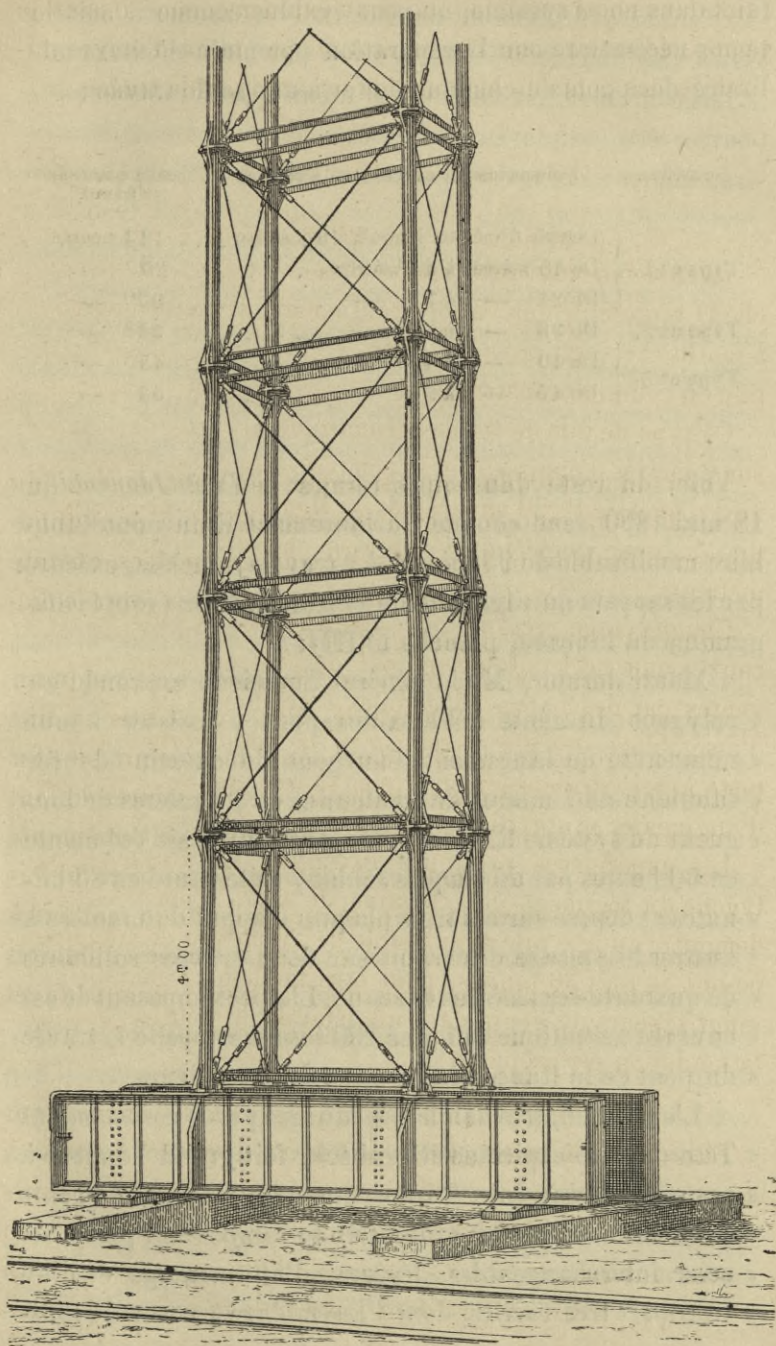


Fig. 5. — Pile de viaduc mobilisable à éléments portatifs en acier.

faits dans notre système, on peut évaluer comme il suit le temps nécessaire pour la réparation par main-d'œuvre militaire des ponts de chemins de fer à une seule travée :

TRAVÉES.	OUVERTURES DE LA BRÈCHE A FRANCHIR.	DURÉE MOYENNE du travail.
Type n° 1.	Depuis 6 mètres jusqu'à 18 mètres . . .	12 heures.
	De 18 mètres à 24 mètres	20 —
Type n° 2.	De 24 — à 33 —	30 —
	De 33 — à 40 —	38 —
Type n° 3.	De 40 — à 47 —	45 —
	De 47 — à 55 —	53 —

Voici du reste dans quels termes le *Petit Journal* du 18 mai 1890 rend compte du lancement d'un pont tubulaire mobilisable de 94 mètres, à 2 travées jumelées, exécuté par les sapeurs du régiment de chemins de fer (voir le diagramme du lançage, planche n° III) :

« Mardi dernier, M. le général Saussier s'est rendu au polygone du génie à Versailles pour y assister à une manœuvre de lancement d'un pont de chemin de fer tubulaire de 7 mètres de hauteur et de 94 mètres de longueur du système R. Henry. Ce pont, qui avait été monté en 30 heures par de simples soldats, a été lancé en 80 minutes et déposé sur ses trois plaques d'appui de manière à assurer le passage des trains sur deux travées solidaires de quarante-sept mètres chacune. L'aspect imposant de cet ouvrage métallique qui pèse 200 tonnes rappelle la travée du pont de la Rance bien connue des ingénieurs.

« L'opération, très habilement dirigée par le commandant Tétard et le capitaine Rigenbach, fait grand honneur à nos officiers du génie. Tout ce nouveau matériel de ponts construit avec le plus grand soin se compose de pièces en acier interchangeables, légères, d'un montage et d'un transport très faciles, dont l'assemblage permet de cons-

« tituer des réseaux de triangles d'une rigidité parfaite¹. Le
« gouverneur de Paris qui s'intéresse vivement aux ques-
« tions techniques, si importantes dans la guerre moderne, a
« examiné dans tous ses détails le système Henry et a vive-
« ment félicité cet officier ainsi que le régiment des che-
« mins de fer des progrès accomplis dans le rétablissement
« des communications stratégiques. »

Lorsque le pont se compose de plusieurs travées distinctes dont les points d'appui existent ou ont été réparés, on établit sur chaque rive un chantier qui construit la moitié du pont en travées réunies entre elles par des pièces de jonction. Puis les deux chantiers opèrent simultanément le lançage des deux parties du pont que l'on pousse jusqu'à ce que les extrémités mobiles viennent s'appuyer sur la pile du milieu.

Lorsqu'on a à franchir un intervalle dépassant 55 mètres sans la possibilité d'établir de pile en rivière, on peut appliquer le dispositif spécial que nous avons représenté sur la planche n° VI. La solution consiste à obtenir un point d'appui à l'aide de deux grandes contrefiches mobilisables à mailles triangulaires arc-boutées l'une contre l'autre et s'appuyant sur trois rotules.

Les ingénieurs français n'ont pas tardé à apprécier les ponts mobilisables et à se rendre compte de leur utilité pratique non seulement en temps de guerre, mais encore en temps de paix pour rétablir promptement la circulation sur une voie ferrée. La mise en expérience de ce nouveau système par le corps du génie a démontré d'une façon définitive qu'il donnait une solution générale du rétablissement rapide des ponts de chemins de fer d'une ouverture quelconque.

1. D'après M. E. Duval, les ponts mobilisables à éléments rectilignes en acier se comportent sous les efforts des trains de chemins de fer comme de véritables machines statiques, et chaque pièce doit être confectionnée selon les mêmes règles que les pièces mécaniques appelées à résister à des forces de direction et de sens donnés.

Composés à l'aide d'éléments d'un petit nombre de modèles très portatifs, les ponts mobilisables, dit une notice extraite du *Génie civil*, sont d'une construction simple, d'une mise en place rapide et d'une grande rigidité. « Les « éléments interchangeables et peu encombrants qui consti-
« tuent ce système nouveau pourraient être facilement ap-
« provisionnés d'avance dans des magasins non seulement
« pour faire les réparations les plus urgentes sur les lignes
« ferrées en cas d'inondation, mais aussi pour construire
« économiquement et, sans l'intervention d'ouvriers d'art
« des ponts définitifs dans nos colonies et dans les pays
« d'outre-mer où l'industrie du métal n'est pas encore dé-
« veloppée. Du reste, nous devons constater que depuis
« quelques années, nos grandes compagnies de chemins de
« fer ont fréquemment eu recours aux ponts mobilisables
« du Génie militaire pour rétablir en quelques jours des pas-
« sages qui, sans ce secours précieux, seraient restés inter-
« rompus pendant plusieurs mois¹ ».

Enfin, les ponts mobilisables en acier à grandes mailles présentent sur les ponts en charpente de bois, le double avantage d'être inattaquables par les crues ou par l'incendie. Aussi, M. le général Annenkoff, l'illustre ingénieur du chemin de fer transcaspien, M. Boulangier et d'autres ingénieurs compétents ont-ils émis l'avis que le grand viaduc en bois à courtes travées sur lequel la ligne asiatique franchit l'Amou-Daria pourrait être avantageusement remplacé par un pont mobilisable à longues travées en acier de 15 à 24 mètres, solution qui écarterait tout danger de destruction par l'incendie ou par les crues violentes.

1. C'est ainsi que le Génie a rétabli les ponts d'Artemare, près de Culoz (ligne de Genève), de Pantin, et récemment le pont de Flandres sur le canal de l'Oureq (chemin de fer de ceinture).

CHAPITRE IV

PONTS ET PASSERELLES MOBILISABLES EN ACIER POUR ROUTES STRATÉGIQUES ET COLONIALES.

Avantages que présentent les ponts mobilisables à éléments très portatifs et à longues travées en acier sur les ponts semi-permanents à court pontage en bois pour les opérations d'armée et pour les routes coloniales. — Description de nos trois types de ponts-route : A. Pont d'armée mobilisable, à plusieurs travées. — B. Pont portatif de campagne pour divisions et corps d'armée. — C. Pont léger pour la cavalerie indépendante et les expéditions coloniales. — D. Passerelle pour piétons et mulets en pays de montagnes.

La pensée de remplacer les ponts de routes à courtes travées lentement construits avec des bois débités sur place, par des ponts *rapides* à éléments portatifs en acier, à longues travées portées sur des palées en pieux à vis, nous a été inspirée en Algérie où nous avons pu maintes fois constater avec quelle facilité les crues des rivières torrentielles telles que le Chélif, le Sébaou, la Mekerra, détruisent et emportent les ponts ordinaires en charpente ou même en maçonnerie dont les petites travées et les piles trop nombreuses obstruent le débouché des eaux. Tous les ingénieurs savent d'ailleurs qu'un pont est d'autant plus exposé à être emporté par les crues et par les corps flottants que les piles ou palées sur lesquelles il repose sont plus rapprochées l'une de l'autre. L'expérience a démontré que les ponts modernes à grandes travées métalliques de 20 à 40 mètres sont les seuls qui résistent aux inondations et aux débâcles de glaces. Nous avons d'ailleurs énuméré dans notre premier chapitre les retards et les innombrables difficultés que l'armée allemande a éprouvés pendant le siège de Paris avec ses ponts en bois

sur chevalets et pilotis, constamment emportés par la Seine. Les mêmes difficultés ont été constatées pour les ponts militaires du Danube en 1877¹.

Comme conséquence des enseignements qui précèdent, nous avons conçu et présenté en 1879 et 1880 un système complet de ponts mobilisables en acier pour routes, basé sur les mêmes considérations que nos ponts et viaducs de chemins de fer. Nos propositions favorablement accueillies par le général Farre donnèrent lieu à divers essais pratiques qui furent entrepris au polygone de l'École du génie de Versailles. En même temps quelques officiers et ingénieurs expérimentèrent des dispositifs de circonstance à l'aide de matériaux mixtes ou de rails de chemins de fer. Au milieu de ces tâtonnements et des discussions d'école engagées sur les divers types présentés, la question n'avancait guère et aucune solution décisive ne fut adoptée.

Au printemps 1889, sur la demande des généraux commandant les XIV^e et XV^e corps d'armée, le ministre de la guerre ordonna de créer dans le plus bref délai un pont d'armée sur le Var, à 13 kilomètres de l'embouchure de ce fleuve torrentiel, pour assurer les communications stratégiques du camp retranché de Nice avec les places de Toulon et de Marseille. Nous proposâmes alors comme devant donner la solution la plus prompte, de jeter sur le Var un pont mobilisable en acier de 18 travées de 21 mètres d'ouverture combiné suivant notre système et reposant sur des palées en pilotis qui seraient établies en quelques jours par la Compagnie des chemins de fer du sud de la France.

Ce projet fut accepté et le pont de la route stratégique de Nice (dont nous donnons la description dans le chapitre suivant) fut transporté tout démonté en chemin de fer de Givors au Var, déchargé, porté à pied d'œuvre sur charrettes

1. Voir l'ouvrage du général Pierron : *Stratégie et grande tactique*, tome II.

de réquisition, monté et mis en place, en cinq jours, par 240 soldats. Le montage et le lancement de cet ouvrage de 370 mètres de longueur furent opérés en 50 heures.

Cette expérience décisive, faite en présence de M. le général Haillot, chef d'état-major général de l'armée, du commandant du XV^e corps et d'un grand nombre d'ingénieurs compétents, mit en pleine lumière les avantages des ponts mobilisables pour routes stratégiques, et cette nouvelle méthode de franchissement rapide des rivières fut adoptée en principe.

D'autre part, l'application des ponts portatifs, pour routes à mailles triangulaires en acier, essayée en Cochinchine, au Tonkin, en Algérie, démontrait que cette invention était appelée à rendre de réels services dans nos colonies et dans les pays lointains où les ouvriers d'art font défaut.

En résumé, aujourd'hui ce nouveau système est bien connu des spécialistes et son utilité n'est plus contestée, il ne s'agit plus que de faire confectionner un matériel portatif répondant le mieux possible au programme que doit remplir tout système de ponts mobilisables de campagne.

Nous résumerons ce programme comme il suit :

Construire 4 types de ponts mobilisables correspondant aux principales opérations militaires qui sont :

1^o Les mouvements d'armée avec convois d'approvisionnement et parcs de siège exigeant des ponts durables et très solides.

2^o Les opérations de corps d'armée ou de divisions marchant avec l'artillerie de campagne et leurs convois ordinaires.

3^o Les opérations rapides des divisions de cavalerie indépendante avec artillerie légère — la guerre de montagne — les expéditions coloniales — qui exigent des passerelles légères de 2 types.

Type A ou Pont d'armée. — Le premier type que nous désignons sous le nom de type A ou *Pont d'armée* est un pont portatif composé de plusieurs travées à portée variable de puis 6 mètres jusqu'à 24 mètres, analogue au pont mobile du Var et capable de supporter le passage des convois les plus lourds et du matériel de siège. Il satisfait aux conditions suivantes :

1° Chaque travée se subdivise en mailles triangulaires d'environ 5 mètres de base sur 2 mètres de hauteur formées chacune de 2 membrures jumelées à joints croisés, de 2 bracons et d'un montant formant poinçon et pièce d'appui.

2° Tous les montants peuvent servir indistinctement de *montants d'appui* sur pile de façon à permettre de former le pont en plusieurs grands tronçons comprenant 2, 3 ou 4 travées et à placer les points d'appui à des distances égales, s'il y a lieu.

3° Les deux bracons d'un même panneau sont armés de goussets triangulaires percés de trous permettant un assemblage croisé très rigide avec les membrures et la fourchette inférieure de chaque montant.

4° Le tablier du pont doit laisser un passage libre de 3^m,50 et résister à une surcharge de 1,200 kilogr. par mètre courant pour la longueur de la travée de 8 panneaux, qui est de 21^m,60.

5° Les 7 pièces élémentaires rectilignes d'une travée de 21^m,60 répondant à ces conditions sont très transportables, peu encombrantes et d'un montage facile ; la plus lourde qui est la pièce de pont ne pèse que 115 kilogr. et le poids de la travée par mètre courant n'atteint pas 380 kilogr.

Le matériel métallique nécessaire pour la construction d'un pont d'armée de 150 mètres à 7 ou 8 travées sur pâlées ou pieux à vis, pèse environ 70 tonnes et peut être ai-

sément transporté par un train de 14 wagons ou par un convoi de 50 voitures.

Ainsi constitué, ce type de pont mobilisable d'armée offre une rigidité et une résistance suffisantes pour assurer pendant plusieurs mois le service très actif d'une route de ravitaillement. C'est le type de pont semi-permanent le plus convenable pour remplacer avec sécurité les ponts de bateaux ou de chevalets provisoires jetés par les troupes de première ligne et qui doivent être reportés sans cesse en avant. De l'avis des hommes compétents, ce genre de pont est celui qui semble le mieux répondre aux besoins des grandes armées en mouvement et aux nécessités de la défense mobile d'un camp retranché s'appuyant sur un grand fleuve.

Type B ou pont portatif de campagne. — Le type de pont divisionnaire doit être léger, transportable sur 6 voitures, se monter rapidement et fournir les moyens de franchir dans un délai de deux heures environ une brèche de 15 à 30 mètres d'ouverture.

Le pont de campagne que nous avons essayé et présenté en 1889 à l'Exposition universelle réalise ces conditions :

Il se compose essentiellement de deux poutres triangulées de 1^m,70 de hauteur, divisées en panneaux de 3 mètres et réunies par des pièces de pont portant un platelage en bois. Le passage libre entre poutres a 3 mètres de largeur. — Voir planche n° VII.

L'ossature métallique est composée par l'assemblage d'éléments rectilignes, peu encombrants, de six modèles distincts, savoir :

DÉSIGNATION DES ÉLÉMENTS.	POIDS.	LONGUEUR.
A. — <i>La Membrure</i> supérieure et inférieure.	70 kilogr.	3 ^m ,50
B. — <i>Le Bracon</i>	26 —	3 ,60
C. — <i>Le Montant</i> du cours servant de montant d'appui.	25 —	1 ,70

DÉSIGNATION DES ÉLÉMENTS.	POIDS.	LONGUEUR.
D. — <i>La Traverse</i> ou pièce de pont	76 kilogr.	3 ^m ,15
E. — <i>Le Longeron</i> sous roues.	74 —	3 ,00
F. — <i>L'Écharpe</i> ou barre de contreventement.	16 —	3 ,50
<i>Le Madrier</i> du platelage en bois	25 —	3 ,00

Tous les assemblages se font à l'aide de 2 espèces de boulons seulement.

On voit par ce tableau que le poids de l'élément le plus lourd n'atteint pas 80 kilogr., et que la longueur de la plus grande pièce ne dépasse pas 3^m,50. Il résulte de ces dimensions restreintes que tous les éléments de notre pont léger peuvent être portés et maniés à bras d'homme et montés avec la plus grande facilité par les sapeurs du génie ou par des ouvriers quelconques.

Le poids par mètre courant de la partie métallique du pont est d'environ 230 kilogr. Le matériel complet nécessaire au montage et au lancement d'un pont de 24 mètres pèse 9,600 kilogr. et peut être transporté sur 6 prolonges de parc.

Montage et lançage d'un pont type B de 24 mètres de portée.
— Pour mettre en place sans échafaudage et par lançage à bras un pont de 24 mètres, il faut arrimer sur le sol de la rive de départ le matériel nécessaire pour la construction de 36 mètres de travée, de manière à former à la partie antérieure du pont un avant-bec avec les éléments de 2 panneaux et à conserver à la partie postérieure une culasse de 12 mètres destinée à recevoir un contrepoids.

Nous plaçons de chaque côté du pont une équipe de 8 hommes, soit en tout 16 hommes, placés sous les ordres d'un sous-officier et de deux caporaux du génie. Ces deux équipes opèrent au commandement le montage sur cales de l'avant-bec du pont et de sa culasse ou arrière-bec, le tout formant une longueur de $6 + 24 + 6 = 36$ mètres de travée.

Ce montage s'opère en 40 minutes. En même temps 4 hommes chargent sur le dernier panneau de la travée un contrepoids de 1,600 kilogr. environ composé à l'aide de longerons et de tous les madriers du platelage; la tare du contrepoids peut être formée par 6 ou 8 hommes assis sur les madriers.

Le pont une fois monté est décalé et descendu d'une part sur 2 groupes de galets de lançage espacés de 15 mètres et sur les 2 châssis à balancier, qui, installés sur la culée de départ, soutiennent l'avant-bec à 12 mètres en avant de la deuxième paire de galets simples. On place en même temps les 6 jambes de force destinées à renforcer les 6 membrures qui travaillent le plus au roulement sur les galets.

Les deux équipes se placent alors chacune le long d'une poutre de façon que chaque homme puisse agir sur un montant. Au commandement : « En avant », les hommes poussent la travée qui avance rapidement dans le vide, maintenue en équilibre par son contrepoids. Au commandement de « halte », les hommes arrêtent la travée dont les montants correspondant au pont de 24 mètres sont à l'aplomb des culées préparées pour recevoir le pont. — On détache aussitôt l'avant-bec et la culasse, on descend le pont sur ses appuis et l'on pose le plancher en madriers.

Ces diverses opérations du montage et du lançage sont exécutées aisément en une heure et demie par des sapeurs du génie, après deux séances d'exercice.

Ce pont de campagne que nous avons essayé plusieurs fois en 1889, supporte facilement le passage des voitures pesant 4 tonnes attelées de 6 chevaux.

En réunissant 2 ponts portatifs divisionnaires de 27 mètres de portée et en supportant la travée totale sur une palée métallique intermédiaire, on obtient un pont de 54 mètres. — Avec 4 travées et 3 points d'appui improvisés, on pourra franchir en moins de 3 heures une rivière de 104 mètres de

largeur en construisant le pont sur les deux rives en même temps.

Type C. — *Passerelle de 2 mètres de largeur pour la cavalerie indépendante et pour les expéditions coloniales.* — On admet actuellement la nécessité de munir les divisions de cavalerie indépendante des moyens de franchir rapidement un petit bras de rivière, un canal, une tranchée de voie ferrée. Il faut également que les escadrons d'éclaireurs envoyés à la poursuite d'un ennemi qui détruit les ponts derrière lui puissent trouver au besoin dans le matériel de leur division les moyens de rétablir une travée de pont rompu¹. C'est dans ce but que nous avons créé un type de passerelle mobilisable destiné à franchir des brèches depuis 6 mètres jusqu'à 26 mètres de portée et dont le matériel n'exige pas plus de 4 voitures pour son transport.

Ce type de passerelle représenté par la planche n° VIII se compose de l'assemblage d'éléments rectilignes très légers en acier, réduits à 6 modèles distincts, qui forment, lorsqu'ils sont boulonnés ensemble, des mailles triangulaires parfaitement rigides.

	POIDS.	LONGUEUR.
A. — Membrane supérieure ou inférieure . . .	55 kilogr.	3 ^m ,08
B. — Bracon	20 —	3 ,15
C. — Montant vertical	25 —	1 ,65
D. — Traverse ou pièce de pont	58 —	2 ,35
E. — Longeron sous roues.	54 —	2 ,62
Panneau de platelage de 2 mètres sur 0 ^m ,60.	20 —	2 ,00

Ces éléments rectilignes dont le plus long n'a pas plus de 3^m,20 et dont le plus lourd ne pèse pas 60 kilogr., sont très maniables à bras d'hommes, plus légers et beaucoup moins encombrants dans les voitures divisionnaires que les pan-

1. L'histoire de la guerre de 1870 fournit de nombreux exemples de poursuites arrêtées pendant une journée faute d'une passerelle de 12 à 15 mètres, permettant à la cavalerie de rétablir promptement un pont rompu.

neaux triangulaires en acier dont nous avons fait autrefois l'essai et auxquels il convient de renoncer pour les ponts qui doivent être très portatifs.

Ainsi constitué, un pont ordinaire de 23 mètres de portée maxima ne pèse pas plus de 4,000 kilogr. et peut résister à une surcharge roulante de 800 kilogr. par mètre courant. Il supporte parfaitement le passage au pas d'une batterie d'artillerie à cheval et répond aux besoins de la cavalerie.

Montage et lançage de la passerelle. — Seize hommes dirigés par 2 sous-officiers peuvent monter et lancer à bras une passerelle de 26 mètres en moins de 40 minutes, avec six galets de roulement, en employant le procédé décrit à propos du pont de campagne type B.

Passerelle sur supports flottants. — En raison de leur grande légèreté, nos passerelles de cavalerie de 12 mètres à 19 mètres peuvent être très facilement disposées sur des supports flottants, radeaux ou bateaux et réunies par des brides articulées spéciales. Si donc un corps d'armée était pourvu du matériel suffisant pour construire 6 passerelles de 20 mètres, il pourrait établir en moins de deux heures un pont flottant de 120 mètres de longueur plus résistant et offrant plus de stabilité et de sécurité qu'un pont d'équipage ordinaire.

Mais c'est surtout dans les expéditions coloniales comme celles du Sénégal, de la Cochinchine et du Tonkin que ces passerelles, dont les éléments sont transportables à dos de mulet par les plus mauvais chemins, pourront rendre de grands services pour assurer les communications.

Type D. — *Passerelle légère à mailles triangulaires pour les troupes de montagne.* — Ce type de passerelle, le plus léger qui puisse être construit actuellement pour franchir une brèche de 20 mètres, est destiné spécialement aux

chasseurs alpins. — Il est composé de triangles équilatéraux identiques et indéformables.

En supportant le pont en son milieu par deux chaînes de suspension, la force du support du tablier augmente et la portée peut aller jusqu'à 40 mètres.

Notre passerelle de montagne étant réduite à la largeur de 1^m,10, porte son plancher à la partie supérieure. Elle est munie d'un garde-fou très léger formé d'une corde réunissant de petits montants en tubes d'acier.

Les éléments rectilignes qui, par leur assemblage, permettent de construire rapidement des travées variables depuis 6 mètres jusqu'à 40 mètres de portée, sont énumérés dans le tableau ci-après :

ÉLÉMENTS PORTATIFS.	POIDS.	LONGUEUR.
A. — Membrure	16 kilogr.	2 ^m ,20
B. — Bracon	5 —	1 ,00
C. — About triangulaire	24 —	0 ,85
D. — Contreventement	3 —	0 ,73
E. — Demi-châssis de contreventement	11 —	0 ,50

Deux types de boulons en acier.

Comme le poids de l'élément le plus lourd n'atteint pas 25 kilogr. et la longueur de la pièce la plus grande n'est que de 2^m,20, il est facile de faire transporter tout le matériel d'une passerelle, à bras d'hommes, dans les sentiers les plus abrupts.

Une passerelle de 18^m,50 de portée toute montée pèse 1,250 kilogr., ce qui ramène le poids par mètre courant à 67 kilogr. environ. — Elle supporte un poids de 100 kilogr. par mètre courant.

La planche n° IX représente sommairement les dispositions de la passerelle de montagne montée avec ou sans ses chaînes de suspension.

Il suffit de 14 mulets pour porter un pont de 20 mètres.

Ce type de passerelle peut rendre de grands services aux

explorateurs qui tracent des voies commerciales dans les pays sauvages tels que le Haut-Sénégal, le Congo et les régions du centre de l'Afrique occupés par des nègres.

En effet les éléments de ce petit pont étant très légers et peu encombrants, peuvent être exclusivement portés à dos par une escouade de nègres ou de coolies.

Soixante porteurs transporteront ainsi sans difficulté une passerelle de 20 mètres à travers les chemins les plus difficiles et les moins frayés.

En résumé les 4 types de travées mobilisables en acier A, B, C, D, que nous venons de décrire brièvement constituent un *système complet* qui semble devoir répondre aux besoins les plus variés des expéditions coloniales. Combinés avec des supports divers tels que : pilotis ou pieux à vis, chevalets et palées métalliques démontables, radeaux composés de corps d'arbres ou de flotteurs métalliques creux, bateaux d'équipage ou du commerce, ces ponts divisibles et facilement transportables permettront toujours au chef d'une expédition d'assurer sa ligne de communication et de poursuivre promptement ses opérations sans avoir la crainte d'être arrêté pendant plusieurs jours par un ouvrage détruit ou par des rivières ou des ravins qui seraient infranchissables sans matériel spécial.

CHAPITRE V

APPLICATIONS DIVERSES DU NOUVEAU SYSTÈME DE PONTS MOBILISABLES EN ACIER.

Réfutations de quelques objections. — Différences qui existent entre les ponts mobilisables et les ponts dits américains. — Pont mobilisable de 370 mètres établi sur le Var en 1889. — Applications du nouveau système par divers constructeurs. — Types de ponts mobilisables de ce système qui ont figuré à l'Exposition de 1889. — Appontement ou débarcadère maritime mobilisable à éléments portatifs pour débarquements improvisés. — Extension du système des constructions mobilisables. — Économie de temps et d'argent que présente ce système. — Applications à l'édification des grandes tours à signaux et des grandes charpentes métalliques.

1° Réponse à quelques objections faites au système des ponts mobilisables.

Toute combinaison nouvelle dont l'application tend à modifier la routine et les traditions d'un art pratique soulève toujours à son apparition de nombreuses objections de la part de certains critiques qui paraissent s'être donné la mission de résister à la loi du progrès. Plus une innovation semble devoir être utile, moins elle est encouragée « non pas « seulement, comme l'a si bien dit l'illustre académicien, « M. Berthelot, par les compétiteurs, ceci est dans la na- « ture, mais par les maîtres qui devraient être juges impar- « tiaux ».

Les ponts mobilisables, à mailles triangulaires en acier, n'ont pas échappé à cette loi commune et ce n'est qu'après une lutte persévérante contre certains préjugés enracinés qu'ils ont pu faire reconnaître leur réelle utilité par les ingénieurs les plus compétents¹. Aujourd'hui que le système est bien

1. Il faut reconnaître que MM. les directeurs des compagnies de chemins de fer ont été les premiers à apprécier les ponts mobilisables et à faire mettre ce système en expérience sur les réseaux d'Orléans, de l'Ouest, de P.-L.-M. et de l'Est.

connu des hommes techniques et qu'il a fait ses preuves, nous ne nous attacherons pas à discuter à fond les critiques souvent bizarres ou décourageantes qu'il a inspirées à ceux-là même qui auraient dû en apprécier toute l'importance. On nous a dit, par exemple, que nous n'obtiendrions jamais nos éléments interchangeables et qu'il était préférable de les numéroter, que l'adoption exclusive des boulons au lieu de rivets ferait perdre aux poutres leur rigidité, que les boulons se desserreraient et que nous aurions des flexions exagérées, qu'il y avait plus de sécurité à employer le fer que l'acier dont la résistance était irrégulière, que le montage de ces nouveaux ponts serait long, difficile et ne pourrait être exécuté par des soldats ; que nos travées seraient trop lourdes et ne pourraient être lancées par la main-d'œuvre militaire, etc. A ces diverses objections nous n'avons maintenant qu'une seule réponse à faire : *l'expérience pratique a prouvé qu'aucune de ces critiques n'était fondée.* En effet, nous avons obtenu des éléments parfaitement interchangeables à $\frac{1}{16}$ de millimètre près ; les assemblages avec nos boulons spéciaux à écrous en bronze sont solides et durables, les travées sans être plus lourdes que les travées des ponts ordinaires, sont aussi rigides et aussi résistantes que si les pièces étaient rivées. Enfin la construction si rapide du pont mobilisable du Var, que nous décrivons plus loin, a démontré publiquement avec quelle facilité le nouveau système de ponts pouvait être manœuvré, monté et mis en place par des sapeurs du génie aidés de soldats d'infanterie. Du reste, l'état actuel de l'opinion du monde savant et des ingénieurs au sujet de l'invention des ponts mobilisables a été résumée avec précision par M. Louis Figuier dans ses *Années scientifiques* de 1889 et de 1890 :

« Ce système de ponts mobilisables, dit l'éminent publiciste, se compose de pièces rectilignes en acier, interchangeables, légères, d'un montage et d'un transport très

« faciles, dont l'assemblage permet de constituer des poutres.
« en réseaux de triangles d'une rigidité parfaite.

« Le problème des ponts mobilisables en acier peut donc
« être considéré dès aujourd'hui comme résolu, et l'armée
« se trouve en possession d'un matériel perfectionné qui lui
« permettra de rétablir, dans un délai très court, les com-
« munications sur les fleuves les « plus larges ».

Différences entre les ponts mobilisables et les ponts américains. — Les Américains, depuis 1871, construisent sur les chemins de fer des ponts fixes, composés de fermes en fer et non pas en acier, résistant seulement à 6 ou 7 kilogr. par millimètre carré.

Les fermes constitutives des ponts américains sont généralement : soit de longues poutres armées avec poinçons inférieurs et tirants, soit des poutres droites de grande hauteur composées de 2 plates-bandes en tôle réunies par des pièces inclinées agissant les unes comme tirants, les autres comme arbalétriers¹. Les dimensions des pièces de même ordre ne sont pas identiques, elles varient en raison de la position qu'elles occupent. Ces pièces sont assemblées entre elles par des broches d'articulation, mais le montage définitif s'opère en employant les rivures concurremment avec les boulons. Les pièces travaillant à la tension sont des tirants en fer rond, flexibles, de grande longueur, munis de tendeurs à vis servant à assurer le réglage des fermes. Les pièces comprimées sont généralement des colonnes creuses, à section circulaire ou rectangulaire en fonte ou en tôle rivée; elles s'assemblent avec des manchons spéciaux ordinairement en fonte. Les pièces de pont ou entretoises sont suspendues par leurs extrémités par un ou deux étriers,

1. Voir le rapport de mission de M. Malézieux, 1873, et l'ouvrage de M. Résal sur les ponts métalliques, 1885.

mode d'attache qui offre de nombreux inconvénients. Les pièces de contreventement un peu trop faibles et médiocrement assemblées ont donné lieu à de nombreuses critiques. Ces éléments constitutifs ne sont pas tous rigides ni rigoureusement interchangeables ; de plus, ils sont d'un poids considérable et de dimensions encombrantes qui s'opposent à un transport facile.

Le mode de construction des ponts américains à grandes fermes à tirants et contretirants longs et flexibles s'oppose complètement à l'emploi du procédé de lançage sur rouleaux à balanciers que nous appliquons couramment pour nos ponts de chemins de fer. Les constructeurs sont obligés pour monter un pont de dresser préalablement un pont de service et des échafaudages supportant un tablier provisoire et des fermes en bois pour soutenir les plates-bandes supérieures des poutres. Lorsque tous ces préparatifs très onéreux sont terminés, on procède à l'aide de grues au montage successif des pièces du pont, opération difficile qui est accomplie assez rapidement en Amérique où la plupart des ouvriers monteurs sont d'habiles charpentiers. MM. Lavoigne et Pontzen citent comme l'exemple le plus remarquable la construction du pont de Nicholson, long de 120 mètres, à 3 travées pesant en tout 170 tonnes, qui fut exécutée en 54 jours dont 7 ont été consacrés à la mise en place sur échafaudage par des ouvriers d'art¹. Le montage d'un pont américain étant terminé, il faut compter encore 2 ou 3 jours pour la pose de la voie, le réglage des pièces à tendeur de l'âme des poutres et pour les épreuves de résistance. D'ailleurs il ne faut pas oublier que les dispositifs d'échafaudages nécessaires pour le montage des ponts américains présentent de nombreux inconvénients surtout sur les fleuves

1. Ce montage peut être comparé avec la construction militaire du pont du Var, long de 370 mètres et pesant 250 tonnes, qui a été complètement exécuté en 35 jours et monté en 50 heures par de simples soldats, sans échafaudages.

à crues fréquentes qui emportent les charpentes et palées provisoires.

De cet exposé sommaire on peut évidemment conclure :

1° Que les ponts américains ne sont pas composés par un assemblage exclusif d'éléments *légers portatifs et parfaitement interchangeables* en acier d'un très petit nombre de modèles de faible longueur et qu'ils comportent des pièces longues et flexibles d'un ajustage compliqué ;

2° Qu'ils ne se prêtent pas à la surélévation et à l'allongement facultatif des travées par la superposition de deux ou trois étages de mailles triangulaires ;

3° Que le montage des travées ne peut être opéré que par des ouvriers très habiles, avec le secours d'échafaudages considérables et d'engins spéciaux non admissibles dans les constructions de ponts militaires ;

4° Qu'il est complètement impossible de mettre en place les ponts américains par la méthode de lancement sûre et expéditive que nous appliquons en France à nos ponts mobilisables en acier, méthode qui offre le précieux avantage de fournir un moyen certain de contrôler exactement la solidité du pont en le soumettant à une épreuve décisive.

Il est donc nettement démontré que les ponts métalliques des États-Unis diffèrent complètement des ponts mobilisables français comme agencement, comme mode de montage et comme mise en place.

2° Description sommaire du montage du pont mobilisable en acier de 370 mètres établi en 1889 sur le fleuve du Var en face de Gattières ¹.

Parmi les applications de notre nouveau système de ponts mobilisables en acier pour routes, la plus importante a con-

1. Consulter pour plus de détails la notice très complète rédigée sur cette opération par MM. le capitaine du génie Clergerie et le lieutenant Calmel ainsi que la *Revue du génie* de 1890.

sisté dans l'établissement rapide, par la seule main-d'œuvre militaire, d'un pont destiné à assurer le passage du fleuve du Var, près de Gattières, de la route militaire de Toulon à Nice.

Ce pont, dont le projet d'exécution a été rédigé et présenté à l'approbation des Ministres de la guerre et des travaux publics, dans un délai de 15 jours, devait satisfaire à des conditions multiples assez difficiles à remplir.

a) Il devait être construit à l'usine de Givors, transporté au Var et mis en place par main-d'œuvre militaire dans un délai de 45 jours à partir de l'ordre d'exécution.

b) Il devait jouir de toutes les propriétés de divisibilité, de légèreté et de facilité de montage qui caractérisent le système des ponts mobilisables à éléments portatifs.

c) *Comme pont stratégique* il devait :

1° Donner simultanément passage au matériel de guerre, aux convois les plus lourds et à deux files de troupes à pied, ce qui exige une voie charretière bordée de 2 petits trottoirs, soit une largeur entre poutres de 3^m,50 ;

2° Supporter une surcharge de 1,200 kilogr. par mètre courant de tablier ;

3° Permettre la circulation des voitures à 4 roues chargées à deux tonnes par essieu.

d) *Comme pont de service*. — Il devait supporter la circulation, prolongée pendant plusieurs mois, d'ouvriers, de chevaux et de lourds tombereaux de terrassement, ainsi que le roulement des trains d'un chemin de fer Decauville à voie de 0^m,60, composés de wagonnets chargés chacun de 4,000 kilogr. de matériaux.

e) *Comme pont de chemin vicinal*. — Le pont devait desservir le chemin vicinal de Gattières à Nice et, par suite, satisfaire aux règlements de la voirie publique en supportant le passage de voitures du poids de 4 tonnes, sans éprouver d'oscillations.

Les calculs de résistance des travées ont été établis d'après ces conditions.

Le pont comprenait 18 travées mobilisables de 21 mètres de portée appuyées sur 17 palées en pilotis et charpente qui furent rapidement établies dans le lit du Var par les soins de M. Martin, directeur de la Compagnie des chemins de fer du sud de la France.

L'ossature de chaque travée se composait de 2 poutres maîtresses parallèles, de 2 mètres de hauteur, espacées de 3^m,50 et réunies par des pièces de pont supportant les longerons et le tablier en bois.

Chaque poutre était formée de triangles identiques de 6 mètres de grande base dont l'entrecroisement constituait un réseau rigide et résistant. Chaque maille triangulaire a pour poinçon un montant vertical en acier, disposé de manière à servir de montant d'appui au besoin.

Le plancher du tablier se trouvait placé au $\frac{1}{3}$ de la hauteur de la poutre, disposition qui a l'avantage de permettre de faire le montage des membrures supérieures et des bracons à bout de bras sans échafaudages. Les éléments, tous très portatifs, appartenaient à 6 modèles distincts et les pièces occupant des positions homologues étaient rigoureusement interchangeables.

Le poids du mètre courant de travée était de 500 kilogr. Ce poids qui dépasse celui de notre type A de pont d'armée avait été fixé par le Conseil général des ponts et chaussées appelé à examiner et à approuver notre projet d'exécution au point de vue des règlements de la voirie publique. Tout le matériel fut construit avec une rapidité et une précision remarquables dans le court délai de 33 jours, par la Compagnie de Fives-Lille dans les ateliers de Givors, dirigés par M. l'ingénieur Dufès.

Chaque travée terminée a été montée à Givors et soumise par nous à une épreuve de résistance statique sous une

surcharge de 1,200 kilogr. par mètre courant, augmentée d'un poids additionnel de 6,000 kilogr. de rails placés sur le panneau du milieu.

La flèche maxima prise par les poutres de la travée sous la surcharge d'épreuve a été de 0^m,016. Après quatre heures d'épreuve la surcharge étant enlevée, le pont a pris une flèche permanente variant entre 0^m,0035 et 0^m,005.

La flèche prise au lançage par une travée continue de 42 mètres a été de 0^m,09 à 0^m,10 pour un porte-à-faux de 21 mètres sans employer d'avant-bec.

Accessoires pour le lançage des travées. — Les dispositions que nous avons adoptées pour opérer le lançage de nos ponts soit avec leviers, soit à bras d'hommes, soit avec palans, suivant les circonstances, entraînent l'emploi de châssis de lançage à galets, de vérins et de contrefiches de renfort.

Châssis de lançage. — Nous avons employé un type de châssis spécial à balancier, muni de guides latéraux et de 2 galets équilibrés, qui permettent de maintenir exactement les semelles inférieures des poutres en contact d'appui et en bonne direction pendant l'opération.

Lorsque les dispositions des lieux ne permettent pas de pousser les travées à bras d'hommes, ce qui est le procédé le plus expéditif, ou de les haler au palan, nous imprimons au pont un mouvement de propulsion horizontal, en agissant directement sur le galet à dé clic de chaque châssis au moyen d'un levier à rochet auquel deux hommes placés sur le tablier impriment un mouvement alternatif de va-et-vient.

Vérin. — Nous avons adopté un type assez pratique de vérin de la force de dix tonnes à simple vis, rendu mobile horizontalement par un chariot de ripage. Ces vérins permettent aux sapeurs dirigés par leurs sous-officiers, de soulever et de déplacer latéralement des groupes de 2 ou 3 tra-

vées, pendant les opérations du calage, du montage, du décalage et de la descente sur les sommiers d'appui des piles.

Contrefiches de renfort. — Afin d'éviter le faussement des membrures inférieures par la pression des galets au moment du porte-à-faux maximum des travées pendant l'opération du lançage, nous renforçons les panneaux les plus exposés par l'adjonction de jambettes de secours ou contrefiches en acier, que les hommes boulonnent pendant le montage entre la croisée des bracons et le milieu de chaque membrure de manière à diminuer de moitié la longueur libre de cette membrure; ce dispositif fort simple ne retarde en rien le montage et offre l'avantage de permettre un lancement sûr et rapide, sans avoir à craindre d'accidents.

La nomenclature des modèles d'éléments composant les mailles triangulaires des travées mobilisables du pont du Var différant très peu de celle que nous avons donnée dans le chapitre précédent en décrivant notre type A de pont d'armée, nous n'y reviendrons pas ici.

Opération de mise en place du pont du Var :

Travaux préparatoires. — Ces travaux consistant à établir deux plates-formes de montage sur chaque rive et à construire les 18 palées en pilotis destinées à supporter les travées du pont eussent été, en campagne, exécutés par une compagnie de sapeurs, pourvue de 6 sonnettes à vapeur démontables et transportables, dont nous avons étudié un type militaire; mais, par économie, il fut admis sur la proposition de M. Félix Martin, directeur de la compagnie des chemins de fer du sud de la France, que cette compagnie qui devait utiliser le pont stratégique pour ses grands travaux du viaduc et des endiguements du Var, se chargerait de faire les plates-formes et les piles et d'assurer le transport sur

voitures du matériel métallique portatif du tablier depuis la gare du Var jusqu'à l'emplacement du passage en face le village de Gattières.

Grâce à l'activité et à l'intelligence déployées par M. Martin et ses ingénieurs MM. Ferrier, Métivier et Taconnet, grâce aussi au concours énergique de M. Richard, entrepreneur de la Compagnie-Sud, les 18 piles furent battues en moins de 14 jours avec une seule sonnette à vapeur Lacour. En employant 4 sonnettes à vapeur et en travaillant jour et nuit, comme on l'eut fait en temps de guerre, les palées eussent été construites en 4 jours; mais il ne nous a pas paru nécessaire de faire cet effort exceptionnel qui eût entraîné un accroissement de dépense considérable.

Le personnel militaire envoyé au Var pour opérer le transbordement, le montage et le lancement du pont mobilisable comprenait :

Une compagnie de sapeurs du 5^e régiment (chemins de fer) comprenant 120 hommes commandés par le capitaine du génie Clergerie et par les lieutenants Calmel et Bernard;

Une compagnie d'infanterie du 159^e régiment, commandée par le capitaine Le Châtelier¹;

En tout 240 travailleurs militaires, commandés par un chef de bataillon, 3 officiers du génie et 3 officiers d'infanterie.

La Compagnie de Fives-Lille qui avait confectionné le matériel portatif et pris la responsabilité de la solidité du pont avait envoyé sur le chantier un de ses meilleurs ingénieurs, M. Flachet, assisté de deux chefs-monteurs pour vérifier le montage et la pose sur appuis des travées, attendu que les sapeurs du génie exécutaient pour la première fois ce travail auquel ils n'étaient nullement accoutumés.

Nous fîmes rédiger rapidement une instruction pratique

1. Le capitaine Clergerie est actuellement à l'École de guerre et le capitaine Le Châtelier est officier d'ordonnance du ministre de la guerre.

pour régler la formation et le service technique des équipes de soldats chargés des travaux ; cette instruction était basée sur les principes suivants :

1° Obtenir le maximum de célérité et de continuité dans le travail, en employant simultanément sur chaque chantier le plus d'hommes possible sans dépasser la limite au delà de laquelle l'accumulation de personnel devient un embarras ;

2° Assigner aux diverses équipes des tâches de durée équivalentes, afin d'éviter les chômages sur le chantier et d'obtenir un rendement maximum ;

3° Embrigader les travailleurs de façon à obtenir un travail régulier et continu, de nuit et de jour, sans épuiser les forces des hommes.

Les deux compagnies furent campées sous la tente sur la rive gauche du Var, à proximité des baraquements de l'entrepreneur de la Compagnie des chemins de fer du sud de la France.

Transport et arrimage du matériel mobilisable du pont du Var. — Le 27 juin tous les éléments portatifs en acier des 17 travées du pont furent chargés en 8 heures à l'usine de Givors sur un train spécial, formé par la Compagnie P.-L.-M. Chaque wagon emportait une travée complète. Le train, comprenant en tout 20 wagons, arriva le 29 juin à 11 heures du matin au quai militaire de la station du Var. Un détachement de 30 sapeurs du génie et de 60 hommes d'infanterie était spécialement affecté au transbordement du matériel sur 70 charrettes, fournies par la Compagnie du Sud. Il ne fallait qu'une heure pour décharger trois wagons de 10 tonnes et charger 12 charrettes.

Le transport complet du matériel, commencé le 30 juin à midi, était terminé le 1^{er} juillet à minuit. Pendant ce temps, la compagnie du génie s'était transportée à l'emplacement

du passage et avait commencé la préparation des plates-formes de montage en arrière des culées des deux rives. Tout étant prêt, le matériel à pied d'œuvre et les équipes formées, on commença les opérations du montage le 2 juillet à 2 heures de l'après-midi, conformément au programme arrêté par l'état-major général.

A 4 heures du soir, le groupe de trois travées de la rive gauche formant 63 mètres de pont était terminé, et le groupe de 4 travées, soit 84 mètres, de la rive droite était en montage. A 6 heures les trois travées de la rive gauche étaient lancées ensemble et mises sur leurs plaques d'appui; on monta aussitôt deux autres travées en arrière des trois premières, puis on posa le platelage de telle sorte que, le 3 juillet à 9 heures du matin, il y avait une portion de 105 mètres du pont entièrement terminée sur la rive gauche et un groupe de quatre travées long de 84 mètres monté sur la rive droite.

Le travail avait donc marché avec une énergie et une régularité remarquables à raison de 9 travées de 21 mètres, soit 190 mètres de pont en 18 heures. L'opération se serait continuée avec la même vitesse s'il ne s'était produit sur la rive droite un affaissement de la plate-forme de montage, accident tout à fait imprévu qui retarda les travaux de 12 heures environ. Néanmoins, malgré cet accident, malgré un violent orage, et certains retards produits par l'insuffisance de châssis de roulement, le pont entier fut complètement terminé le 5 juillet à minuit; il mesurait 370 mètres de développement et représentait un poids total de 260 tonnes de matériel mis en place en 52 heures de travail effectif par 240 soldats non préparés à ce genre de travail. Ainsi que le font remarquer M. le général Leplus et M. l'ingénieur en chef de Noircarme dans leurs rapports officiels, lorsque l'on aura à recommencer la même opération avec un personnel exercé et un outillage plus complet,

la durée de la mise en place des travées sur chaque rive sera nécessairement beaucoup moindre. Cette durée a été évaluée par le capitaine Clergerie à 30 heures, soit environ 12 mètres de pont à l'heure.

Essais de résistance. — Le passage des troupes devant avoir lieu le 6 juillet à 7 heures du matin, nous fîmes à 6 heures l'essai du pont à l'aide d'un tronçon de voie Decauville de 30 mètres de longueur sur lequel nous fîmes voiturier à bras d'hommes cinq wagonnets chargés chacun de 4,000 kilogr. de pierres. Cette épreuve, qui donna aux deux premières travées une flèche de 0^m,006 à 0^m,008, fut jugée satisfaisante pour livrer le pont à la circulation.

Défilé des troupes et de l'artillerie. — Le 6 juillet à 7 heures du matin, les troupes venues de Nice la veille, et qui étaient campées sur les hauteurs de Carros et de Gattières, défilaient avec leur artillerie sur le pont mobilisable du Var, à la suite de la compagnie de sapeurs de chemins de fer et de la compagnie d'infanterie qui avaient opéré le montage des travées¹.

Le pont supporta ce défilé au pas redoublé sans accuser aucune oscillation ni flexion apparente. On constata une rigidité parfaite.

A partir de ce jour le pont mobilisable du Var fut utilisé couramment comme pont de route vicinale et comme pont de service pour le chemin de fer Decauville employé par l'entrepreneur des endiguements et du grand viaduc que la Compagnie des chemins de fer du Sud faisait construire sur le Var.

Le tablier supporta journallement pendant treize mois le passage des trains de matériaux dont les wagonnets pesaient

1. M. le général Haillot, chef d'état-major général, délégué par le Ministre de la guerre à l'inauguration du nouveau pont du Var, adressa les plus vives félicitations au nom du Ministre à l'inventeur du pont ainsi qu'aux officiers, aux ingénieurs et aux troupes « qui avaient accompli ce travail considérable avec une énergie et une rapidité extraordinaires ».

chacun 4,200 kilogr. Pendant ce long service les travées n'éprouvèrent aucune flexion ni déformation transversale et n'exigèrent aucune réparation.

Chaque semaine on procédait à une visite des assemblages qui se maintinrent très bien ; aucun écrou n'eut même besoin d'être resserré.

Au mois de septembre 1890, après la mise en service du viaduc de la Compagnie des chemins de fer du Sud, un détachement du génie fut envoyé au Var pour opérer le repliement du pont mobilisable. Ce travail fut exécuté avec la même rapidité que le montage, et le rapport officiel constate qu'il a suffi en moyenne de 2 heures et demie pour démonter, transporter et engorger sur la rive du fleuve toutes les pièces d'une travée de 21 mètres. En campagne 240 hommes, travaillant sur les deux rives en même temps, ne mettraient pas plus de 35 heures pour replier un grand pont de 370 mètres comprenant 17 travées. A la suite, le démontage, la visite des pièces permit de constater qu'après 13 mois de service aucun élément du pont n'avait été détérioré ni faussé, qu'ils restaient interchangeables et que l'on pouvait utiliser de nouveau le matériel sans déchet pour reconstruire les mêmes travées.

Aussi M. de Noircarme, ingénieur en chef du contrôle, délégué par le Ministre des travaux publics, a-t-il déclaré, d'accord avec la plupart des ingénieurs et officiers du génie présents aux opérations du passage du Var, que ce nouveau système de pont permettait de réaliser les opérations suivantes avec facilité :

« 1^o Montage et lancement rapides d'une travée unique
« de 6 mètres à 21 mètres par de simples soldats dirigés par
« un sous-officier ;

« 2^o Montage et mise en place d'un pont de 370 mètres, à
« raison de 210 mètres par jour de travail ;

« 3^o Déplacement en quelques jours du point de passage

« d'un fleuve et transport du pont mobilisable à 30 kilomètres en amont ou en aval de l'emplacement primitif. »

La création rapide d'un grand pont sur le Var en un point où la nécessité de cette communication se faisait sentir depuis de longues années produisit une vive impression dans les départements du Var et des Alpes-Maritimes appelés à profiter de ce passage inespéré. De nombreux journaux de Paris ayant leurs correspondants à Nice signalèrent à l'attention du grand public les ponts mobilisables du Génie comme réalisant un nouveau progrès dans l'art militaire.

C'est ainsi que le *Temps* et le *Petit Journal* résumèrent les manœuvres du Var dans les termes suivants :

« La mission militaire chargée par le Ministre de la guerre d'assister au passage du Var vient de rentrer à Paris.

« Ce passage avait pour but d'expérimenter définitivement le système des ponts militaires mobilisables en acier du commandant Henry, déjà appliqués aux chemins de fer militaires.

« Cette expérience a réussi à la satisfaction de tous. Voici exactement comment elle a été réalisée. Le pont Henry, long de près de 400 mètres, pesant 220 tonnes seulement, c'est-à-dire moins de 500 kilogr. par mètre courant, a été monté et lancé en 52 heures par 120 sapeurs du génie et 120 soldats d'infanterie.

« C'est une rapidité absolument inconnue jusqu'à ce jour dans la construction des ponts stratégiques sur pilotis.

« Ces travaux exécutés sans désespérer, sous un soleil brûlant, malgré l'orage et les difficultés locales, font le plus grand honneur à notre État-Major général, qui en a pris l'initiative, et aux troupes qui les ont accomplis. »

De son côté, le *Figaro* du 6 juillet 1889 terminait ainsi un long article sur le pont stratégique en acier du Var :

« Nos braves sapeurs du génie ont rivalisé de zèle et

« d'intelligence pour monter et lancer ce pont mobilisable
 « de 370 mètres de long.... En 3 jours, malgré la chaleur
 « et les orages, le pont entier fut terminé.

« Ce matin à 8 heures les troupes et l'artillerie ont défilé
 « sur le pont à toutes les allures. Les travées ont parfaite-
 « ment résisté. Aucun fléchissement.

« MM. les généraux Haillot, Berge, Japy, des Garets,
 « Coustou, Le Lorrain, etc., les colonels Leplus, Lasvignes
 « et de nombreux ingénieurs et officiers venus de Marseille,
 « de Lyon et de Toulon, ont assisté à ces intéressantes opé-
 « rations, qui ont pris les proportions d'un événement con-
 « sidérable à notre frontière du Sud-Est. »

Nous avons cru devoir reproduire ces deux extraits de la presse parisienne pour bien marquer la place que les ponts mobilisables occupent actuellement, non seulement dans le monde militaire, mais dans l'opinion générale.

3° Applications et imitations diverses du système de ponts mobilisables à mailles triangulaires en acier.

Depuis quelques années l'invention des ponts mobilisables, appréciée par divers ingénieurs et constructeurs, s'est répandue assez rapidement en Europe, en raison des avantages et de l'économie que présentent ces ponts dans un grand nombre de circonstances. C'est ainsi que l'on vit apparaître à partir de 1886 divers dispositifs de ponts mobilisables à mailles triangulaires divisibles ou indivisibles en acier ou en fer.

Parmi les applications de ce genre qui ont figuré à l'Exposition universelle de 1889, et dont les dessins et les descriptions ont été publiés dans les notices des constructeurs¹, nous citerons principalement :

1. Voir notamment les brochures, avec dessins détaillés, des types de ponts des usines de Commentry et Fourchambault et de la maison Eiffel, le *Génie civil*, le *Dictionnaire encyclopédique industriel* de Lami et la *Nature*, 1889, etc.

1° Un modèle de passerelle mobilisable à mailles triangulaires équilatérales en acier, type de M. l'ingénieur Brochocki, exposé par la Société de Commentry et Fourchambault;

2° Deux modèles de ponts mobilisables à mailles triangulaires indivisibles, présentés à l'administration de la guerre par l'usine Eiffel;

3° Trois modèles de ponts mobilisables à mailles triangulaires divisibles en éléments rectilignes portatifs et interchangeables pour routes et chemins de fer, exposés par la Compagnie de Fives-Lille;

4° Passerelle à mailles triangulaires divisibles, analogue aux précédentes, exposée par M. l'ingénieur Seyrig;

5° Deux petites passerelles à piétons, exposées par la maison Schryver.

Les constructeurs de ces spécimens ont cherché à réaliser plus ou moins les conditions spéciales et les propriétés inhérentes au système que nous avons exposé au chapitre II de cette notice. En général, les types dans lesquels la maille triangulaire est composée par l'assemblage de 3 éléments rectilignes ont paru les plus simples et les plus faciles à transporter et à monter.

Le Pont de M. Brochocki se compose d'une série de triangles équilatéraux formés par l'assemblage de pièces rectilignes interchangeables réunies entre elles par des clavettes. Les travées, qui peuvent varier de 6 mètres à 30 mètres, ont une hauteur uniforme de 4 mètres, ce qui entraîne la forme tubulaire par suite de la nécessité d'adjoindre au dispositif des pièces de contreventement supérieur. Les pièces, ne travaillant pas exactement suivant l'axe, peuvent être faussées par un usage prolongé. Le montage et la mise en place de ce pont exigent l'installation préalable d'échafaudages en bois. Cependant le type de M. Brochocki peut

rendre d'utiles services comme pont économique sur les chemins vicinaux, ou comme passerelle pour la traversée des voies ferrées, de préférence aux ponts en charpente, qui manquent d'élégance et exigent un entretien continu.

Les modèles de ponts mobilisables pour routes et pour chemins de fer exposés par la Compagnie de Fives-Lille sont composés de mailles triangulaires divisibles indéformables obtenues par l'assemblage de 3 éléments types légers, rectilignes et interchangeables en acier : la *membrure* qui est très rigide, le *bracon* simple ou double et le *montant* vertical. Les travées, dont la portée varie de 6 mètres à 27 mètres pour les routes, et de 6 mètres à 50 mètres pour les chemins de fer, réalisent les propriétés et les conditions du système mobilisable à mailles triangulaires et ont de plus l'avantage de se mettre en place par une méthode simple et rapide de lancement sans avant-bec¹.

L'usine Eiffel a exposé, comme application du nouveau système, deux types de travées à voie inférieure, formés de deux poutres parallèles réticulées décomposables en mailles triangulaires identiques et invariables de 6 mètres de base sur 3 mètres de hauteur. Le type de 6 à 30 mètres, à un rang de mailles, est constitué par l'assemblage, avec boulons, de pièces de 14 modèles distincts dont la principale est le grand élément triangulaire, panneau en cornières rivées sur goussets qui pèse 440 kilogr. On passe du type de 30 mètres à un type tubulaire de 30 à 43 mètres en doublant la hauteur des poutres par la superposition de 2 rangs de mailles conformément aux dispositions de notre système. Le

1. Les ponts de la Compagnie de Fives-Lille sont construits avec des aciers du Creusot d'une qualité exceptionnelle ; ils ont été récompensés d'une médaille d'or par le jury de la classe 63. (Voir le rapport de la Commission de l'Exposition de 1889.)

matériel nécessaire à la composition de ce second type comporte 22 modèles de pièces différentes.

Une expérience de montage d'une travée de 43 mètres a été faite à la gare de Châlons par des ingénieurs de la Compagnie de l'Est. L'atelier, dirigé par un ingénieur et un contremaître de l'usine Eiffel, comprenait 40 ouvriers d'art. Le montage proprement dit a été exécuté sur cales en 48 heures avec assez de facilité, mais les préparatifs nécessaires au lançage et à la mise en place ont pris un temps considérable. En effet, le dispositif spécial auquel on est obligé de recourir pour ne pas briser les membrures inférieures exige la construction préalable de 2 voies ferrées de 0^m,80 de largeur sur une plate-forme solide, et l'emploi de 8 wagonnets de roulage à boggies pesant chacun 1,200 kilogr. ¹.

La méthode de mise en place essayée à Châlons soulève, d'après le rapport de la commission de l'Exposition de 1889, de sérieuses objections ². Elle est d'ailleurs inapplicable :

1° Au cas assez fréquent où l'on a à mettre en place deux travées bout à bout pour le franchissement de deux brèches successives séparées par une pile intermédiaire (Voir planche n° 3);

2° Au cas où, ayant à réparer une brèche pratiquée dans un ouvrage d'art métallique à plusieurs travées et à deux voies, on serait obligé de faire passer, pour la lancer, la travée démontable sur les travées existantes.

L'usine Eiffel construit également pour les pays étrangers des passerelles démontables de 6 à 21 mètres, composées de mailles triangulaires ou panneaux de 6 mètres de long, dont le poids varie de 150 à 200 kilogr. Ces ponts, dont les dessins détaillés sont reproduits dans les prospectus de la mai-

1. D'après l'avis des ingénieurs de la Compagnie de l'Est, il faudrait compter un délai de dix jours au moins pour mettre en place, avec la voie, une travée de 40 mètres en employant le matériel dont il s'agit.

2. Voir ce rapport publié dans la *Revue du Génie militaire*, avec les dessins et les coupes des travées.

son Eiffel, ont donné d'assez bons résultats pour établir des passages provisoires, mais on reproche aux éléments d'être lourds et encombrants.

Type exposé par M. Seyrig. — Ce type de pont est une reproduction assez fidèle d'un modèle de pont-route à triangles rectangles divisibles construit antérieurement par la Compagnie de Fives-Lille.

Une passerelle de ce type, longue de 18 mètres, a été montée à l'Exposition universelle, pour assurer le passage du public par-dessus le boulevard de Latour-Maubourg et réunir la place des Invalides aux annexes du quai d'Orsay.

Le pont présenté par M. Seyrig possède en partie les qualités inhérentes à notre système, mais les membrures inférieures n'ont pas la rigidité nécessaire pour permettre la mise en place par lancement avec ou sans avant-bec. On est obligé de construire ce pont comme les ponts américains, à l'aide d'échafaudages en bois dont l'établissement préalable absorbe un certain temps.

Ces divers types de travées et les tentatives d'imitations faites en Belgique et en Angleterre témoignent suffisamment de l'importance que les ingénieurs et les constructeurs civils attachent aujourd'hui à l'emploi des ponts mobilisables. Du reste le jury international des récompenses a tenu à reconnaître la valeur des nouveaux ponts mobilisables français en décernant 3 médailles d'or aux modèles exposés par le génie militaire et par la Compagnie de Fives-Lille.

4° Système nouveau d'appontement ou débarcadère maritime à éléments portatifs en acier.

En exposant notre théorie des constructions mobilisables à mailles triangulaires en acier (chap. II) nous avons fait remarquer que nous appliquions cette méthode à la plupart

des ouvrages d'art à établir dans les pays éloignés dépourvus d'usines et de main-d'œuvre industrielle.

Dans cet ordre d'idées nous avons combiné pour le service de la marine et des colonies un dispositif simple et économique de débarcadère métallique à mailles triangulaires décomposables en éléments rectilignes très portatifs d'un petit nombre de modèles.

La plate-forme supérieure est un plancher en panneaux de chêne dont la largeur peut varier depuis 3 mètres jusqu'à 12 mètres et supporter deux ou trois voies ferrées pour le service des embarquements et débarquements de troupes, de matériel et de vivres. (Pl. n° XI.)

Chaque poutre-maitresse est composée de mailles triangulaires rigides et indéformables obtenues par l'assemblage systématique d'éléments rectilignes en acier combinés de manière à résister aux efforts maximum de traction ou de compression, passant par leurs axes de symétrie.

Ces pièces, qui appartiennent à 4 modèles seulement, sont :

- A. — *Membrure inférieure* ;
- B. — *Membrure ou entretoise supérieure* ;
- C. — *Montant vertical* ;
- D. — *Barre oblique ou Bracon*.

Le montant s'assemble à la partie supérieure et inférieure sur le joint des semelles par enfourchement; ce montant assure la rigidité transversale de la poutre et la fixité des entretoises.

Les trois, quatre ou cinq poutres-maitresses formant l'ossature de la jetée sont réunies à la partie inférieure par des entretoises identiques D D', et à la partie supérieure par des traverses solides E E', destinées à porter au besoin une voie ferrée, ainsi que l'indique la coupe (fig. 6 et 7).

Le rectangle DD'EE' formé par les deux entretoises bou-

lonnées aux montants des poutres est rendu indéformable par un contreventement triangulaire DFD' , composé de pièces interchangeables.

Tous les éléments sont assemblés à l'aide de trois types de boulons. Les pièces élémentaires ont été calculées et combinées de telle sorte que la pièce la plus longue ne dépasse pas 5 mètres, et que le poids de l'élément le plus lourd n'atteigne pas 500 kilogr.; il en résulte que tout le matériel métallique nécessaire à la construction d'un débarcadère d'une longueur de plusieurs centaines de mètres peut être chargé, transporté, déchargé et monté sur place avec la plus grande facilité, sans exiger de plan de montage ni le concours d'ouvriers d'art spéciaux.

Ainsi construite, l'ossature de notre débarcadère offre l'aspect d'une cage rigide à claire-voie d'une longueur indéfinie et d'une largeur proportionnelle au nombre des poutres parallèles qui entrent dans la construction. Elle peut d'ailleurs être facilement agrandie par panneaux successifs, soit dans le sens de la longueur, soit dans le sens de la largeur.

L'ouvrage est indéformable dans les trois sens de l'éten due, puisqu'il résulte de l'assemblage de triangles identiques, rigides et invariables de forme dans toutes les directions.

Points d'appui. — Palées composées de pieux à vis démontables. — L'ossature ou carcasse métallique du débarcadère est supportée à l'aplomb des montants par des dispositifs d'appui espacés suivant la nature du fond et la charge du tablier, à des intervalles qui peuvent varier depuis 6 mètres jusqu'à 24 mètres, et aller même au delà si cela est nécessaire.

Dans les terrains ordinaires résistants ou pierreux, nous établissons pour points d'appui des palées composées de six ou huit pilotis armés, enfoncés au refus avec une sonnette à vapeur ou autre. Les pieux sont contreventés avec les

mêmes triangles métalliques que les poutres-maîtresses du débarcadère.

Sur les plages et dans les terrains sablonneux ou vaseux peu résistants, nous composons les supports par la combinaison de pieux à vis en acier formés d'éléments démontables portatifs et interchangeables.

Les figures 6 et 7 représentent une palée simple ainsi formée de trois pieux à vis réunis à la partie supérieure par ce que l'on nomme le cadre de contreventement. Ce cadre est composé de deux traverses horizontales G G' moisées qui embrassent le corps des trois pieux sur lesquels elles sont serrées par de grands boulons ; ces traverses sont contreventées par des bracons H H' obliques du même modèle que ceux des poutres principales.

Suivant les cas, nous pouvons doubler ou même tripler la palée simple de manière à former une véritable pile composée de six ou neuf pieux à vis solidarisés entre eux.

Chaque pieu à vis comporte : 1^o Un *pieu-fiche* cylindrique en acier de 4 mètres de longueur portant à la partie inférieure une vis de pénétration et d'appui dont le tracé est calculé suivant la nature du terrain.

Le pieu-fiche peut être indéfiniment allongé par des tronçons de cylindre portatifs de 2^m,50 de longueur qui s'assemblent les uns à la suite des autres à l'aide de manchons à clavettes, d'un modèle spécial.

Lorsqu'une palée est terminée par le fonçage des pieux et la pose du cadre de contreventement sur la traverse supérieure duquel on place les plaques d'appui des poutres maîtresses de la charpente, il faut, afin de permettre le lancement à niveau du quai, exhausser chaque palée à l'aide d'un cadre spécial muni des rouleaux de lancement K K.

Montage et lancement d'un débarcadère mobilisable sur une

plage sablonneuse. — Voici comment s'opère la mise en place de notre nouveau débarcadère mobilisable.

Les éléments portatifs qui doivent constituer l'ossature du débarcadère et les piles ou palées ayant été débarqués à l'aide de chalands ou de pirogues, et étant rangés en tas sur le rivage, on se met à construire avec six pilotis la plateforme d'appui de l'enracinement du débarcadère, en la plaçant au niveau le plus commode pour le service des embarquements.

On dispose ensuite sur le rivage, de chaque côté de la ligne prolongeant l'axe du débarcadère, les pièces nécessaires pour construire une portion de tablier continu comprenant deux travées et demie, soit environ 45 mètres de charpente.

Sur le sol bien dressé on établit 3 paires de châssis de lançage dont l'un est calé à l'aplomb de la culée, le deuxième à 12 ou 15 mètres en arrière, le troisième à 25 mètres en arrière du second, presque à l'extrémité.

On procède alors au montage sur cales d'une double travée continue de 42 mètres ou 48 mètres par la main-d'œuvre d'ouvriers quelconques, de marins ou de soldats, puis on place cette travée sur ses rouleaux. A l'aide d'un dispositif convenable de palans, on fait avancer cette travée au delà de la culée de départ jusqu'à ce que l'extrémité antérieure en porte-à-faux arrive à l'aplomb de la première palée.

On amène ensuite les trois pieux à vis formant la première palée, couchés la pointe en avant, sur un chariot métallique à galets que l'on fait rouler sur les plates-bandes supérieures des poutres extrêmes de l'ossature qui fonctionnent comme des rails, ainsi que l'indique l'élévation longitudinale (fig. 3).

Arrivés à l'extrémité, les pieux sont descendus verticalement et foncés par un atelier spécial d'ouvriers munis de l'outillage nécessaire pour cette opération qui peut être exécutée en quelques heures.

On place ensuite le cadre de contreventement, par-dessus lequel on assemble le cadre d'exhaussement de la pile, puis on y assujettit le châssis de lançage avec ses rouleaux. Pendant ce temps une équipe d'ouvriers a dû prolonger en arrière, de la longueur d'une travée, l'ossature du débarcadère.

On hale alors sur les palans et l'on fait avancer tout le système d'une longueur égale à l'intervalle qui doit séparer la deuxième palée de la première. On construit la deuxième palée par le même procédé que la première, en se servant toujours, comme échafaudage et pont de service, de l'extrémité en porte-à-faux du débarcadère dont l'arrière se trouve encore prolongé par les monteurs d'une nouvelle longueur de travée.

Après avoir terminé et mis en place l'ossature du débarcadère, on la fait descendre tout d'une pièce à l'aide de vérins, de manière à amener sa partie supérieure au même niveau que le sol, dans la position représentée figure 1.

A cet effet on décale les manchons montés sur les pieux. Le cadre de contreventement est, une fois l'opération terminée, placé dans la position représentée figure 7.

Au lieu de faire descendre l'ossature du débarcadère, on peut la laisser dans la position qu'elle occupe après le lançage et raccorder sa surface supérieure avec le sol au moyen d'un plan incliné.

Nous appliquons cette méthode rapide et économique à tous les appontements, débarcadères ou estacades que les ingénieurs construisent habituellement en maçonnerie ou en charpente, d'après des projets et des plans de montage et de repérage longuement élaborés.

Le système décrit ci-dessus est caractérisé par les avantages suivants :

- 1° Il permet de construire un débarcadère à la mer ou à l'embouchure d'un fleuve à l'aide d'un matériel tout préparé, apporté sur bateaux, d'un déchargement rapide et facile ;

2° Il n'exige ni projet préalable, ni plan de montage, ni l'intervention d'ouvriers d'art spéciaux ;

3° Le montage et le lançage des travées solidaires formant l'ossature de l'ouvrage peuvent être exécutés avec la plus grande facilité, en quelques jours, par des marins, par des soldats, ou même par des équipes de coolies ou de nègres, placés sous la direction de contremaîtres ou de sous-officiers du génie militaire.

Si l'on en juge par l'expérience pratique de l'établissement du pont du Var, nous estimons que l'on pourrait construire en 2 mois le matériel mobilisable complet nécessaire pour un appontement de 400 mètres. Ce matériel sera transporté sans frais et comme lest à bord d'un navire de l'État jusqu'au rivage où l'on veut installer des moyens de débarquement ; puis il sera débarqué dans des chalands ou des pirogues, et des équipes de matelots dirigées par les ingénieurs mécaniciens de la marine et aidés par les naturels du pays mettront l'appontement en place en moins de 15 jours de travail.

Si l'expérience fait reconnaître ultérieurement que l'appontement n'a pas été installé dans l'endroit le plus favorable de la côte, il sera facile de le démonter de toutes pièces et de le faire reconstruire sur un autre point.

5° Extension du système des constructions mobilisables.

Considéré au point de vue général de l'art des constructions, le système réticulé à éléments interchangeable, tel que nous l'avons exposé dans cette notice, est appelé, suivant l'avis de M. Armengaud et des constructeurs, à rendre des services très variés.

Non seulement nous avons adapté nos combinaisons des mailles triangulaires divisibles et indéformables à l'édification rapide et économique des ponts, passerelles et estacades

de toutes dimensions, mais nous sommes parvenus également, à l'aide de quelques modifications dans nos pièces-types, à constituer des dispositifs résistants, fréquemment employés par les ingénieurs militaires et civils. C'est ainsi que notre système nous permet d'étayer les tunnels éboulés pour y rétablir le passage des trains, de remplacer des murs de soutènement effondrés, d'improviser des tours d'observation à éléments portatifs, de monter des charpentes légères pour hangars, pour hôpitaux, pour magasins d'approvisionnements dans les expéditions militaires ou coloniales¹.

Parmi les divers projets d'applications que nous venons d'énumérer, nous avons notamment présenté un type de *Tour d'observation mobilisable* dont la hauteur peut varier depuis 5 mètres jusqu'à 50 mètres. Ce dispositif composé de mailles rigides, identiques, obtenues par l'assemblage de pièces légères en acier, portatives à bras d'hommes, peut être construit en quelques heures. Un petit ascenseur à treuil, disposé à l'intérieur de la cage verticale formant la tour, permet d'élever rapidement et sans danger les observateurs sur la plate-forme du belvédère disposé à la partie supérieure. Ce type de tour en pylône démontable dont un modèle figurait à l'Exposition de 1889, peut rendre des services aux armées en campagne et dans les colonies pour installer des postes de surveillance faciles à déplacer.

Il peut également être utilisé comme échafaudage et ascenseur de matériaux dans la construction des édifices de dimensions considérables, tels que églises, palais, gares de chemins de fer, etc.

Un des plus précieux avantages de ces nouvelles constructions mobilisables, c'est de se prêter très facilement à la subdivision méthodique du travail entre des équipes de composition identique. Ces équipes travaillant simultanément,

1. Voir la notice intitulée : *Constructions militaires improvisées*, dans le *Spéctateur militaire* (année 1885).

sans avoir besoin de plans de montage ni de repérage, sont remplacées de 6 heures en 6 heures par des équipes semblables, de telle sorte que l'édification d'un ouvrage d'art quelconque s'opère sans tenir compte de la nuit avec une régularité et une rapidité qui étonnent les ingénieurs non familiarisés avec cette nouvelle manière d'opérer.

Cette propriété a été mise en évidence en présence de juges compétents, lors de la construction du pont mobilisable du Var, opération dans laquelle les hommes embrigadés par petites équipes ont pu travailler sans aucune interruption, jour et nuit, et fournir ainsi le maximum d'efforts; c'est ainsi qu'ils sont parvenus à mettre en place et à ajuster 260 tonnes de matériel en 50 heures, c'est-à-dire 25 kilogr. de métal par homme et par heure de travail, repos compris.

En raison même de la simplicité et de la symétrie qui caractérisent les appareils de la construction réticulée mobilisable, nous avons pu calculer d'avance, par des formules élémentaires, le nombre d'heures nécessaires pour construire, avec un effectif de travailleurs donné, un ouvrage d'art répondant à des besoins nettement définis.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de construire un *pont mobilisable en acier* d'une longueur totale L et pesant un poids π par mètre courant, ossature et platelage compris. Désignons : par N le nombre maximum d'hommes correspondant à la meilleure organisation des ateliers de montage, par α le poids moyen de matériel que chaque homme peut monter et assembler en une heure de travail effectif, étant admis qu'il ne travaille que six heures sur douze; α est ce que nous appelons dans notre système *le coefficient horaire du montage*.

Prenons pour inconnue x la durée totale en heures de l'opération; N hommes travaillant x heures, mettront en place un poids de matériel égal $\frac{N \alpha x}{2}$ et ce poids devra être

égal à celui du pont qui est représenté par le produit πL ; nous pouvons donc poser l'équation fondamentale :

$$\frac{N \alpha x}{2} = \pi L$$

d'où l'on tire :

$$(1) \quad x = \frac{2 \pi L}{N \alpha}$$

Cette formule appliquée au montage du pont du Var, en supposant, ainsi que l'a montré l'expérience, $\pi = 650$ kilogr., $L = 370$ mètres, $\alpha = 50$ kilogr. et $N = 300$, donnerait pour la durée du travail total :

$$x = \frac{650 \times 370}{300 \times 25} = \frac{240\,000}{7\,500} = 32 \text{ heures.}$$

Ce délai de 32 heures est bien voisin de celui de 30 heures calculé par le capitaine Clergerie comme représentant le temps suffisant pour l'établissement du pont du Var avec 300 hommes.

En supposant de plus que chaque travailleur soit payé à raison de 0 fr. 40 c. par heure de travail, le montage du pont du Var aurait coûté, transports non compris :

$$\frac{32 \times 300}{2} \times 0^f 40^c = 1,920^f$$

ce qui donne une dépense de $\frac{1920}{240} = 8$ fr. par tonne de matériel mis en place.

Si l'on compare cette dépense aux frais de montage des ponts rivés sur place qui s'élèvent à environ 50 fr. par tonne et à ceux des ponts américains qui sont évalués à 12 fr. la tonne, par MM. Lavoigne et Pontzen¹, on peut en conclure que le montage des ponts mobilisables est encore le plus économique.

1. *Les Chemins de fer en Amérique*, tome I^{er}.

En général, si P désigne le poids total d'un grand ouvrage métallique dont le montage peut être opéré par un nombre N d'ouvriers, dont chacun possède un coefficient de montage horaire égal à α , la durée x du montage aura pour expression :

$$(2) \quad x = \frac{2 P}{N \alpha}.$$

L'expérience nous a montré que dans le montage des piles mobilisables à étages composées par la combinaison de 4 types d'éléments d'un poids inférieur à 500 kilogr., un atelier de 20 hommes dirigés par un contremaître emploie 25 heures pour monter et assembler en place 35 tonnes de matériel en employant des grues ordinaires et en supposant que l'approvisionnement de matériel se fasse d'une façon continue. Il résulte de ces données qu'un homme peut mettre en place 70 kilogr. de matériel par heure de travail effectif dans la construction des pylônes mobilisables, c'est-à-dire que le coefficient de montage horaire α des piles est égal à 70.

En appliquant ce calcul à la tour de 300 mètres du Champ de Mars dont le poids total est d'environ 6 000 000 de kilogrammes, nous trouvons pour la durée du montage t_1 depuis le sol jusqu'à la première plate-forme : $t_1 = 35$ jours, pour la durée t_2 de la portion comprise entre la première et la deuxième plate-forme : $t_2 = 48$ jours, et $t_3 = 69$ jours pour le reste de la tour jusqu'à la plate-forme supérieure, ce qui donne pour la durée totale du montage $t_1 + t_2 + t_3 = 152$ jours, c'est-à-dire environ six mois.

Ainsi en construisant cette tour d'après les procédés de la charpente réticulée à éléments rectilignes interchangeables on aurait réalisé une économie de temps et d'argent considérable, tout en se réservant la possibilité de démonter le monument et de le transporter sur un autre point, si ce déplacement devenait nécessaire.

Si nous envisageons maintenant la construction d'un viaduc métallique mobilisable de chemin de fer tel que celui dont la planche II représente le diagramme, il est facile de déterminer la durée du montage de cet ouvrage avec un nombre donné N de travailleurs en appliquant les formules (1) et (2) aux travées et aux piles de dimensions variables qui le composent.

Soit n le nombre de piles dont les hauteurs sont $h_1, h_2, h_3 \dots h_n$, le nombre des travées successives de longueurs variables $l_1, l_2, l_3 \dots l_{n+1}$, sera représenté par $n + 1$.

En appliquant d'abord la formule aux n piles mobilisables dont le poids par mètre courant est égal à p , nous trouvons pour la durée du montage des piles exécutées successivement en partant des deux berges de la vallée pour marcher vers le milieu :

$$(3) \quad T_1 = \frac{p(h_1 + h_2 + h_3 \dots + h_n)}{N \alpha}$$

α étant le coefficient de montage horaire relatif aux piles.

Calculons maintenant la durée du montage des $n + 1$ travées supposées montées et lancées en partant des deux extrémités du viaduc, nous aurons la formule suivante :

$$(4) \quad T_2 = \frac{\pi(l_1 + l_2 + l_3 \dots + l_{n+1})}{N' \beta}$$

N' étant le nombre d'hommes affectés au montage des travées et β le coefficient de montage horaire relatif aux travées mobilisables de chemins de fer.

En faisant la somme $T_1 + T_2$, on aura le temps maximum nécessaire à l'opération ; mais il faut remarquer que dans la plupart des cas cette durée pourra être considérablement abrégée, lorsque l'on pourra commencer le lancement des travées aussitôt après l'achèvement des deux piles extrêmes.

Il est facile d'appliquer les formules (3) et (4) au type de viaduc représenté planche II, dont les données numériques sont les suivantes :

1° Piles : $h_1 = 7^m, 20$, $h_2 = 12^m, 80$, $h_3 = 15^m, 20$, $h_4 = 21^m, 60$ et $h_5 = 12^m, 60$.

Poids p par mètre de pile — $p = 1\ 800$ kilogr.

Coefficient de montage horaire $\alpha = 70$ kilogr.

2° Travées : $l_1 = 15^m$, $l_2 = 15^m$, $l_3 = 18^m, 20$, $l_4 = 48^m, 50$, $l_5 = 28^m, 30$, $l_6 = 18^m, 20$.

Poids π par mètre de la travée du type de 6^m à 33^m — $\pi = 2\ 000$ kilogr.

Poids π' par mètre des grandes travées tubulaires de 40^m à 50^m — $\pi' = 2\ 600$ kilogr.

Coefficient de montage horaire $\beta = 80$ kilogr.

la formule (3) donne en supposant $N = 60$ hommes :

$$T_1 = \frac{1\ 800 \times (7,20 + 12,80 + 15,20 + 21,60 + 12,60)}{60 \times 70 \times \frac{1}{2}}$$

ou bien

$$T_1 = \frac{1\ 800^k \times 70^m}{2\ 100} = \frac{1\ 260}{21} = 60 \text{ heures.}$$

Pour la durée de la mise en place des travées, en supposant deux ateliers de 60 hommes travaillant sur chaque rive, ce qui donne $N' = 120$, nous obtiendrons en appliquant la formule (4) :

$$T_2 = \frac{2\ 000 \times (15 + 15 + 18,20 + 28,30 + 18,20) + 2\ 600 \times 48,50}{120 \times 80 \times \frac{1}{2}}$$

ou

$$T_2 = \frac{2\ 000 \times 94,70 + 2\ 600 \times 48,50}{4\ 800} = \frac{315\ 500}{4\ 800} = 66 \text{ heures,}$$

donc $T_1 + T_2 = 60 + 66 = 126$ heures, soit cinq jours et cinq nuits environ.

En nous plaçant dans l'ordre d'idées qui précède, et en remarquant que $\frac{\alpha + \beta}{2} = 2 \times 37$ environ, nous avons pu formuler les deux règles pratiques suivantes que nous appliquons à tous les viaducs composés de travées et de piles mobilisables, dont la construction peut être exécutée simul-

tanément par deux groupes de travailleurs établis sur les deux rives du fleuve ou du ravin à franchir :

1^{re} Règle. — La durée en heures du montage d'un viaduc mobilisable est égale au quotient obtenu en divisant le poids total P du matériel des travées et des piles par 37 fois le nombre de travailleurs maximum que comporte le bon fonctionnement des chantiers.

2^e Règle. — Le nombre de travailleurs nécessaires pour opérer le montage d'un viaduc mobilisable est égal au quotient obtenu en divisant le poids total P du matériel des travées et des piles par 37 fois le nombre d'heures que l'on peut consacrer à l'exécution complète de l'ouvrage¹.

Durée de la création d'un pont mobilisable sur un grand fleuve. — Depuis une dizaine d'années, divers ingénieurs ont publié des projets de construction de ponts fixes de chemins de fer sur de grands fleuves, et notamment sur le Rhin. Dans le tome II de son ouvrage sur la stratégie, M. le général Pierron expose en détail le dispositif et les opérations de construction d'un pont fixe stratégique de 250 à 300 mètres à établir sur le Rhin. L'auteur de ce projet estime qu'il faudrait environ 20 jours pour établir les piles du pont sur pilotis, et 35 jours pour faire des piles tubulaires remplies de béton de ciment. Quant au tablier métallique, il le suppose composé de travées en acier de 40 mètres de portée, pesant 120 tonnes chacune et formées par la réunion de grands tronçons que l'on transportera sur des wagons spéciaux. Dans ces conditions, il évalue à 30 jours le temps nécessaire pour mettre en place les 7 travées formant un pont de 280 mètres. Il faudrait donc 65 jours, d'après ce projet, pour assurer le passage des trains d'une rive sur l'autre du fleuve.

1. En appliquant ces calculs au célèbre pont du Forth, qui contient 40,000 tonnes de matériel, on trouverait pour la durée du montage, avec 400 ouvriers, 3,600 heures, c'est-à-dire une année environ.

Il est facile de se rendre compte que l'application du système à mailles triangulaires divisibles et de la méthode employée au pont du Var permettrait d'établir dans un délai bien plus court un pont de 350 mètres de longueur, composé de piles mobilisables de 12 à 20 mètres de hauteur et de 10 travées de 35 mètres de portée. En effet, le poids P des 9 piles et des 10 travées de notre système n'atteindra pas 1,300 tonnes. En appliquant au calcul du temps notre règle n° 1 formulée ci-dessus, et en supposant que l'on emploie sur chaque rive un atelier actif maintenu à 240 hommes, nuit et jour, la durée totale t du montage des piles et des travées sera donnée par la formule :

$$t = \frac{1\,300\,000}{240 \times 35} = 158 \text{ heures.}$$

Ainsi les nouveaux procédés permettront d'établir avec un matériel et un personnel tout préparés, un pont de chemin de fer de 350 mètres de longueur dans un délai de moins d'une semaine.

Il est à désirer que, dans l'intérêt même des progrès de la construction des chemins de fer, une de nos grandes compagnies saisisse l'occasion de la création d'une ligne nouvelle pour y établir un viaduc mobilisable à 3 ou 4 travées de 35 mètres, ce qui permettrait de faire une nouvelle expérience décisive sur le temps et le nombre d'hommes nécessaires à l'édification rapide d'un grand ouvrage d'art de 100 à 150 mètres de longueur. La dépense d'un viaduc mobilisable de 100 mètres ne dépasserait pas 220,000 fr., c'est-à-dire qu'elle serait encore inférieure au prix de revient du même ouvrage fixe, exécuté par les procédés actuellement employés par la plupart des constructeurs.

En résumé, depuis l'Exposition universelle de 1889, l'idée de la *Mobilisation des grands ouvrages d'art*, accueillie d'abord avec une hésitation mêlée d'incrédulité, a fait de rapides progrès, par suite de la mise en pratique de notre

système de construction à mailles triangulaires en acier. Cette méthode rapide et économique commence à entrer dans la pratique de l'art de l'ingénieur, elle est enseignée dans les écoles techniques et nous souhaitons vivement que nos jeunes camarades de l'École polytechnique, qui ont été les plus empressés à adopter nos idées et à en reconnaître l'utilité, s'attachent à les mettre en application et à les développer, en recherchant les perfectionnements de nature à accélérer et à simplifier les procédés de la construction moderne.

APPENDICE

I. — APPRÉCIATIONS CONCERNANT LES PONTS MOBILISABLES

Le nouveau système de construction qui fait l'objet de cette notice ayant donné lieu depuis quelques années, dans le monde des ingénieurs militaires et civils, à de savantes discussions et à diverses expériences importantes dont la presse technique a fréquemment rendu compte, il nous a paru utile de bien préciser l'état actuel de l'opinion en résumant dans le présent appendice les appréciations formulées sur les ponts mobilisables par les personnes ou les journaux dont le jugement fait autorité.

Ces appréciations peuvent se grouper en 3 catégories suivant qu'elles se rapportent :

- 1° A l'utilité générale de l'invention ;
- 2° Aux ponts mobilisables pour routes stratégiques ou coloniales ;
- 3° Aux ponts mobilisables de chemins de fer à voie normale ou à voie étroite.

1° Appréciations générales du système.

(1) La suprématie continentale en Europe appartiendra dans l'avenir à la nation qui possédera les moyens les plus rapides et les plus puissants pour interrompre ou rétablir les communications stratégiques.

Général Farre.

(2) Ce système de ponts renferme une idée neuve et très pratique. La facilité de construction, d'engrèment et de transport du matériel est une qualité des plus précieuses à la guerre.

Général Lewal.

(3) Cette invention constitue un nouveau mode de construction simple, pratique, rationnel, qui, en permettant d'improviser avec les mêmes éléments portatifs des travées de toute portée en augmentant la hauteur des poutres, résout très heureusement le problème du rétablissement des ponts sur les voies ferrées.

(1885, Jacqmin, Inspecteur général des ponts et chaussées, directeur de la Compagnie de l'Est.)

(4) Votre système nouveau de ponts divisibles en acier est fort ingénieux et me paraît susceptible de bien des applications utiles en cas de guerre. Ce que j'apprécie surtout dans vos combinaisons, c'est l'adoption de mailles triangulaires identiques indéformables et la facilité du lancement.

(M. Renaudot, ingénieur de la Compagnie P.-L.-M.)

(5) La préparation et l'emploi d'un matériel mobilisable pour la construction ou la réparation rapide des ponts et viaducs permanents forment aujourd'hui une des branches principales de l'art de l'ingénieur militaire et civil.

(*La Revue industrielle*, 1888.)

(6) Dans le domaine du génie civil l'utilité des ponts mobilisables en acier, quoique moins absolue, présente cependant non moins d'intérêt.

Le développement des colonies, activement poursuivi de nos jours, oblige à l'établissement de voies de communication en rapport avec les exigences de l'industrie et du commerce appelés à s'y établir. Ces voies de communication, peu coûteuses au début, demandent des ponts d'un montage et d'un transport faciles, car les moyens dont on y dispose sur place pour l'exécution de travaux sont toujours limités et souvent insuffisants.

(Brochocki, ingénieur civil.)

(7) A propos des ponts de campagne nous devons mentionner une importante découverte relative à la rapide installation d'une communication à travers les fleuves et les ravins. Nous voulons parler des *Ponts stratégiques mobilisables* dont une expérience a été faite sur le Var par le ministre de la guerre.

(Louis Figuier. — *Lès Merveilles de la science*.)

(8) Nous enseignons maintenant aux élèves de l'École polytechnique le système de ponts mobilisables du lieutenant-colonel Henry. Non seulement on expose ce système dans les conférences faites sur les voies de communication, mais on conduit les élèves au polygone de Versailles, pour leur montrer sur place le nouveau matériel de ponts portatifs militaires.

(Général Borius, commandant de l'École polytechnique.)

(9) En résumé, la construction d'un pont militaire sur le Var dans les conditions spéciales où elle vient d'avoir lieu, est un véritable succès pour l'armée française. Nos soldats ont construit par jour 150 mètres de pont. C'est une vitesse dix fois supérieure à celle des Allemands.

(*Le Figaro* du 6 juillet 1889.)

(10) El sistema de puentes movilizables, en los que se ocupa actualmente la prensa militar y tecnica, ha sido definitivamente adoptato por el ministerio de la Guerra para el restableimiento de las comunicaciones en los caminos de hierro estrategicos.

(*Revista científico militar*, 1890, page 608.)

2° Appréciations concernant les ponts mobilisables en acier pour routes.

(11) Parmi les inventions nouvelles, nous devons signaler les ponts portatifs légers composés d'éléments rectilignes en acier démontables comme constituant un réel progrès dans notre matériel de guerre.

(*Avenir militaire*, 1^{er} janvier 1885.

Voir aussi les *Nouvelles Annales de construction*, novembre 1884.)

(12) Le rapide établissement d'un pont mobilisable en acier de 380 mètres sur le Var est d'un intérêt considérable pour le département de la guerre et fait le plus grand honneur au commandant Henry inventeur de ce système.

(Rapport de M. de Noircarme, ingénieur en chef des ponts et chaussées, délégué à l'inauguration du pont du Var par le Ministre des travaux publics.)

(13) Le pont mobilisable établi sur le Var par le génie militaire est considéré par les ingénieurs compétents qui l'ont expérimenté comme le meilleur type de pont démontable à adopter pour les routes dans les colonies et pour les chemins de fer à voie étroite sur lesquels les locomotives ne dépassent pas 12 à 15 tonnes. Ce système de ponts trouvera donc d'utiles applications dans tous les pays neufs dépourvus d'ouvriers spéciaux et de l'outillage nécessaire pour les constructions ordinaires.

(F. Drudin, ingénieur civil.)

(14) Les travaux considérables des ponts de l'île Lobau en 1809 et les gigantesques constructions des Américains pendant la guerre de Sécession ne donnent qu'une bien faible idée des résultats prodigieux qu'un général entreprenant et audacieux pourra obtenir dans une campagne européenne, quand il aura à sa disposition ce puissant matériel de constructions métalliques mobilisables.

(Henri Noiret. — *Spectateur militaire*, 1885.)

(15) « L'invention du colonel Henry a résolu le problème de l'établissement très rapide des ponts et viaducs métalliques par la main-d'œuvre exclusivement militaire. Grâce à cette nouvelle méthode, les sapeurs du génie pourvus de leur matériel portatif transportable sur voitures, peuvent franchir, dans un très court délai, les fleuves, les ravins, les marécages, par le lancement de travées légères, à claire-voie, insubmersibles, dont la portée varie depuis 12 mètres jusqu'à 30 mètres. Les supports de ces ponts d'armée sont composés par des pilotis ou par des palées en acier, démontables, formées de pieux à vis réunis entr'eux par des mailles triangulaires en acier. L'utilité de ce système a été confirmée par l'application que le Ministre de la guerre en a fait faire en 1889 pour le passage stratégique du Var. »

(*Dictionnaire des arts industriels* par O. Lami.)

(16) L'expérience des ponts mobilisables de route doit être considérée comme décisive et l'on peut dire qu'aujourd'hui nos armées en campagne seront en possession d'un matériel leur permettant de rétablir en quelques jours les communications sur les fleuves les plus larges. Ce nouveau système n'est donc pas seulement un matériel d'exposition ; il a eu pour lui la sanction de la pratique et à ce titre il fait grand honneur à l'officier supérieur du Génie qui en est l'inventeur.

(Compte rendu de l'exposition du ministère de la guerre par l'*Avenir militaire*, 1889.)

(17) Le Ministre de la guerre a adopté en principe pour les régiments du génie, le système des ponts mobilisables à éléments portatifs en acier déjà appliqué pour la réparation des ponts de chemins de fer.

(*Petit Journal*, 1888.)

(18) Nous avons prédit un succès certain à ce nouveau système de ponts qui décuple la puissance des troupes du génie dans le rétablissement des communications stratégiques. Le temps et l'expérience sont venus justifier nos prévisions. Aujourd'hui, parmi les ingénieurs militaires et civils, les ponts stratégiques mobilisables en acier sont considérés comme constituant un réel progrès.

(*Le Spectateur militaire*, 1^{er} janvier 1890.)

(19) L'intervention de l'Infanterie dans les travaux du Génie est devenue encore plus importante par suite de l'adoption du nouveau système de ponts et viaducs mobilisables en acier. Les expériences récentes ont montré que, grâce à cette invention, l'infanterie est actuellement en mesure de jeter en quelques heures, avec une facilité inconnue jusqu'à ce jour, sur les rivières les plus larges, des ponts portatifs aussi résistants que des ouvrages définitifs.

(*L'Album de l'armée française du Monde illustré*, 1890.)

(20) En résumé, l'expérience du pont du Var a démontré que nos troupes du génie peuvent construire des ponts de route en acier par travées de 15 à 24 mètres, sur pilotis ou pieux à vis, à raison de 10 à 15 mètres à l'heure.

(*Revue du Cercle militaire*, numéro du 16 mars 1890.)

(21) *Avantages au point de vue des travaux civils des ponts mobilisables à éléments portatifs en acier.*

On aura une idée des avantages de ce nouveau système, lorsque je dirai, qu'en quelques heures, il permet de relier les deux rives d'un cours d'eau par un solide passage en fer.

Si l'on veut établir rapidement un passage sur une rivière, il suffit de s'adresser à une usine construisant des ponts mobilisables en acier en lui télégraphiant : « Expédiez 20 à 30 mètres de ponts portatifs ». Inutile d'avoir des monteurs et des ouvriers spéciaux. Vous mettez votre pont vous-même en place en 2 ou 3 heures, avec les gens du pays.

(*Petit Journal*, novembre 1890.)

(22) Au nombre des inventions récentes dont l'utilité est le plus généralement reconnue se trouve celle des ponts métalliques mobilisables. Que ce soit pour les pays où les transports sont difficiles et par conséquent très coûteux, ou bien pour les armées en campagne, les services que ces ponts ont rendus sont des plus précieux et méritent d'être signalés. — L'expérience faite sur le Var, avec un pont mobilisable en acier, monté en 52 heures par des soldats du Génie, a montré tout l'intérêt que prennent à ce genre d'ouvrages nos ingénieurs militaires.

(*Magasin pittoresque*, année 1889, p. 303.)

3° Appréciations concernant les ponts mobilisables de chemins de fer.

(23) La reconstruction rapide des ponts et viaducs de chemins de fer est une question très difficile dont il importe de rechercher la solution en vue des prochaines guerres...

La réparation des ouvrages d'art détruits devient particulièrement longue et compliquée lorsque leur hauteur est considérable et quand la largeur des brèches dépasse 20 mètres, comme cela s'est présenté aux viaducs de la Largue et du Coné où les Allemands ont été obligés d'employer respectivement 70 jours et 100 jours de travail.

Il y a donc lieu de doter l'armée française d'un matériel métallique qui permette d'assurer la reconstruction rapide des ponts et viaducs de chemins de fer.

(M. Petsche, ingénieur en chef de la voie à la Compagnie de l'Est.)

(24) L'invention du commandant Henry permet de résoudre toutes les questions relatives à la mobilisation des ponts métalliques et de construire rapidement avec des éléments simples et très portatifs des travées et des piles de ponts de chemins de fer de toute hauteur et de toute portée.

(Henri Noirot. — *Les Constructions militaires improvisées.*
Spectateur militaire, 1885.)

(25) Il faut pour créer des ponts provisoires et suffisamment résistants que la construction soit simple, rapide, et que l'on ait les éléments préparés sous la main... Nous insistons sur ce nouveau système, parce qu'il vient de recevoir la sanction de la pratique sur le Var dans des dimensions exceptionnelles.

(Daniel Bellet. — *La Nature*, 31 août 1889.)

(26) Les ponts mobilisables en acier résolvent d'une manière générale le problème de l'établissement rapide d'un passage de voies ferrées pour une portée quelconque. Les pièces qui les composent sont de types très peu nombreux; elles sont toutes interchangeables, faciles à approvisionner d'avance en magasin et à adapter immédiatement aux besoins qui peuvent se présenter. Ces ponts sont à la fois légers, facilement montables et démontables, très rigides, d'une construction simple et sont appelés certainement à rendre les plus grands services, non seulement comme ponts provisoires, soit en cas d'interruption accidentelle, soit en temps de guerre, mais encore comme ponts définitifs dans les pays lointains où les ouvriers sont rares et la main-d'œuvre difficile.

(*Le Génie civil*, 1886.)

(27) L'école du régiment des chemins de fer à Versailles poursuit la constitution du système de ponts et viaducs mobilisables à mailles triangulaires en acier adopté par la commission supérieure.

Les travées du type de 6 à 33 mètres sont terminées. Cette année l'école procède à la réception du type de grande travée tubulaire de 40 à 50 mètres de portée...

On peut conclure de ces résultats que nos troupes de chemins de fer sont en mesure de rétablir un pont de plusieurs arches ou travées dans un délai qui variera de 2 à 7 jours au plus. C'est là, de l'avis des ingénieurs, un progrès très sérieux au point de vue du service militaire et de l'art des constructions métalliques.

(*Revue du Cercle militaire*, 1890.)

(28) La Compagnie de Fives-Lille a livré en vingt jours à une sucrerie de la Guadeloupe un viaduc portatif et démontable en acier composé de 2 travées de 30 mètres destiné à un chemin de fer Decauville ayant des

locomotives de 16 tonnes. Cet ouvrage, qui n'a coûté que 25,000 fr., aurait entraîné 6 mois de travail et une dépense totale de 40,000 fr. s'il avait fallu l'exécuter et le monter sur place par les procédés ordinaires.

(*La Nature*, 2 février 1889.)

(29) Le système de ponts mobilisables adoptés par le Génie pour les chemins de fer satisfait à la condition essentielle de pouvoir se mettre en place par voie de lancement et sans le secours d'un pont de service toujours long et difficile à installer.

(Rapport de la commission militaire de l'Exposition universelle de 1889.)

(30) Ce matériel des ponts mobilisables de Versailles, d'une construction très soignée, a été exécuté par la Compagnie de Fives-Lille à qui on doit la construction si savante et si remarquable du Palais des machines au Champ-de-Mars, conservé comme grand manège militaire.

Les diverses épreuves et manœuvres opérées depuis trois années au polygone des chemins de fer à Versailles avec les ponts mobilisables, en présence du Ministre de la guerre, du gouverneur de Paris et des membres du conseil supérieur de la guerre, ont démontré que, grâce à cette nouvelle invention, les sapeurs de chemins de fer sont maintenant en mesure de reconstruire un pont détruit, avec une rapidité et une précision inconnues jusqu'alors.

Les grandes compagnies de chemins de fer ont immédiatement apprécié les avantages pratiques qu'elles peuvent tirer des ponts mobilisables pour le rétablissement rapide des ponts détruits par accident ou par suite des inondations sur les voies ferrées.

(*Le Magazine français*. — *La Guerre scientifique*, 1891.)

(31) En résumé, grâce au nouveau système de ponts mobilisables en acier que possède aujourd'hui le génie militaire, les grandes compagnies de chemins de fer peuvent, avec le concours des sapeurs, rétablir un pont ou viaduc écroulé dans un délai qui varie de 4 à 10 jours au maximum, tandis qu'employant les moyens en usage, il y a quelques années, il aurait fallu plus d'un mois pour rétablir la circulation.

(*Le Rappel et La Liberté*, 12 mars 1891.)

(32) A plusieurs reprises déjà, les Compagnies de chemin de fer ont eu recours aux ponts mobilisables du Génie pour obvier à la rupture imprevue d'un pont ou d'un viaduc, et grâce au zèle et à l'habileté des détachements de troupes techniques mises à leur disposition par le Ministre de la guerre, la circulation a été partout rétablie dans le plus

bref délai. Les travaux de ce genre exécutés dans le Var ont excité le plus vif intérêt dans le monde des ingénieurs.

(*Journal des Débats*, du 29 mai 1891. *Les Ponts mobilisables.*)

II. — BIBLIOGRAPHIE

1882. — *Mémorial de l'officier du génie* (Gauthier-Villars, éditeur). Tome XXVI, pages 1 à 12 : — Rapport sur le matériel de ponts métalliques du capitaine Marcille. — Description de ce matériel.

Pages 13 à 18 : — Rapport sur le système de charpente et de ponts divisibles à mailles triangulaires en acier du capitaine R. Henry.

L'Art militaire et la Science, par le colonel Hennebert (Masson, éditeur). — IV^e partie. Communications, page 222 : — Description détaillée du matériel de ponts amovibles à tronçons pleins de M. le colonel Marcille.

1884. — *Nouvelles Annales de construction*, d'Oppermann. — Notice sur les ponts démontables à éléments portatifs en acier.

1885 et 1890. — *Dictionnaire encyclopédique de l'industrie*, de O. Lami. — Ponts militaires divisibles à mailles triangulaires en acier.

1885. — *Le Spectateur militaire*. — Constructions militaires improvisées à l'aide d'éléments portatifs en acier, système Henry, pour les ponts et viaducs mobilisables.

1885-1886. — *Notice sur les Ponts portatifs pour routes à mailles triangulaires en acier*, par la Compagnie de Fives-Lille.

1886. — *Notice sur les ponts portatifs économiques à triangles en acier pour chemins vicinaux*, par l'ingénieur Eiffel.

1887. — *Notice sur un pont démontable et portatif en acier*, par la Société Commentry-Fourchambault.

1887. — *Revue du Génie militaire*, numéros de septembre et octobre. — Ponts et viaducs mobilisables à éléments portatifs en acier.

1887. — *Conférences de l'École de guerre*. — Les ponts mobilisables en acier pour chemins de fer.

1888. — *Compte rendu de la séance du 3 août 1888* de la Société des ingénieurs civils. — Communication de M. Durupt. — Discussion sur les ponts mobilisables à mailles triangulaires.

1888. — *Revue industrielle*. — Exposé sommaire du système nouveau des ponts mobilisables pour routes et chemins de fer. — Avantages que ces ponts présentent pour les colonies.

1889. — *La Nature*, par G. Tissandier. — Les ponts mobilisables en acier du commandant Henry. — Avec figures.

1889. — *Catalogue général officiel de l'Exposition universelle*. —

(Tome VI). — Groupe VI. — Outillage et procédés des industries mécaniques :

1° — *Classe 63.* — N° 112. — Brochocki. — Petit modèle de pont portatif démontable en acier à mailles triangulaires.

N° 190. — Compagnie de Fives-Lille à Paris, rue Caumartin, 64. — Modèles de ponts mobilisables à mailles triangulaires en acier, à éléments très portatifs, pour routes et chemins vicinaux.

N° 283. — Eiffel, constructeur. — Ponts portatifs à mailles triangulaires en acier; dessins et modèles.

N° 643. — Schryves et C^{ie}. — Passerelle démontable en acier.

Seyrig, ingénieur civil. — Passerelle mobilisable à mailles triangulaires en acier.

2° — *Classe 66.* — N° 47. — Compagnie de Fives-Lille. — Pont militaire en acier. — Portion de travée de pont mobilisable du système Henry pour voie de chemin de fer.

N° 62. — Pont mobilisable à mailles triangulaires pour chemin de fer.

1889. — *Notice de la Compagnie des chemins de fer du sud de la France* sur la construction du pont mobilisable de 370 mètres sur le Var.

1889. — *Illustration*, numéro du 20 juillet. — Avec dessins. — Pont stratégique mobilisable du commandant Henry établi en 3 jours sur le Var.

1889. — *La Nature*, numéro du 31 août. — Avec figures. — Les ponts mobilisables militaires en acier. — Pont du Var.

1889. — *Avenir militaire*, numéros des 3 et 6 septembre. — A l'Exposition. — La reconstruction rapide des ponts détruits par l'ennemi. — Ponts mobilisables du lieutenant-colonel R. Henry.

1889. — *Zeitung des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen*, n° 77, du 5 octobre 1889. — Description des types de ponts mobilisables du nouveau système qui figurent à l'Exposition de 1889.

1889. — *Magasin pittoresque*, 57^e année, page 303. — Les ponts militaires mobilisables en acier.

1889. — *Compagnie de Fives-Lille.* — Notices sur les objets exposés en 1889. — 1° Classe 63. — Ponts démontables à éléments portatifs en acier pour routes et petits chemins de fer. — Classe 66. — Ponts mobilisables à mailles triangulaires en acier, pour le rétablissement rapide des communications sur les chemins de fer. — Matériel pour l'armée et matériel pour les compagnies de chemins de fer.

1890. — *Journal des ingénieurs.* — Saint-Pétersbourg, Russie, numéro du 1^{er} janvier 1890. — Exposé de la nouvelle invention des ponts mobilisables français à mailles triangulaires en acier. — Description du pont de 380 mètres lancé en 50 heures sur le Var par le génie militaire.

1890. — *Bulletin de la Société de géographie.* — Notices et photographies concernant le pont du Var et les ponts mobilisables en acier, pour les colonies.

1890. — *Revue du Cercle militaire*, numéros du 16 mars et du 6 avril. — Les ponts stratégiques mobilisables en acier. — Leurs avantages. — Pont militaire du Var.

1889. — *Le Petit Marseillais*. Juillet — Description du pont militaire du Var. — 13 avril 1890. — Ponts stratégiques mobilisables en acier.

1890. — *La Géographie*, 12 juin. — Pont mobilisable de 92 mètres monté en 48 heures. — Avantages que présentent les ponts à éléments rectilignes de la Compagnie de Fives-Lille pour les colonies.

1890. — *Revista científico militar*. — Barcelone, numéro du 15 septembre. — Puentes militares sistema R. Henry.

1890. — *Petit Journal*. — Emploi des ponts mobilisables à éléments portatifs pour rétablir en quelques jours les ponts détruits par les inondations du Midi.

1889 et 1890. — *L'Année scientifique*, par Louis Figuier. — Les ponts militaires mobilisables en acier. — Le pont du Var.

1890. — *Revista das Sciencias militares*. — Lisbonne. — Description du nouveau système de ponts mobilisables en acier et des types de ce système exposés en 1889.

1890. — *Notice technique* sur le montage du pont mobilisable du Var par le capitaine du génie Clergerie.

1890. — *Cours d'art militaire à l'École polytechnique*. — Emploi des ponts militaires mobilisables en acier. — Construction rapide du pont du Var.

1891. — *Le Magazine français* (Flammarion, éditeur). Numéro du 10 mai 1891, pages 94 à 97. — Les ponts stratégiques mobilisables en acier à montage rapide. — Avec 2 dessins.

1891. — *Le Journal des Débats*, 29 mai. — Les ponts mobilisables pour chemins de fer.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

TABLE DES MATIÈRES

AVERTISSEMENT DE LA NOUVELLE ÉDITION 1

CHAPITRE I^{er}

IMPORTANCE DE LA CONSERVATION ET DU RÉTABLISSEMENT RAPIDE DES COMMUNICATIONS STRATÉGIQUES.

Importance très considérable que présente dans la guerre moderne la conservation des communications stratégiques et des grandes lignes de ravitaillement. — Insuffisance et lenteur des procédés mis en œuvre avant 1870 pour le rétablissement des ponts fixes et des viaducs militaires. — Exemples tirés des campagnes de l'Empire et de la guerre d'invasion de 1870-1871. — Nécessité d'organiser un service technique des communications stratégiques. — Emploi des ponts métalliques amovibles composés de grands tronçons métalliques. 5 à 18

CHAPITRE II

EXPOSÉ DU NOUVEAU SYSTÈME DE PONTS MOBILISABLES A MAILLES TRIANGULAIRES EN ACIER.

Origines et but de l'invention. — Conditions à remplir pour réaliser la *Mobilisation des ouvrages d'art*. — Solution générale du problème consistant à substituer aux ouvrages d'art ordinaires des dispositifs réticulés indéformables, obtenus par l'assemblage d'éléments portatifs et interchangeables. — Théorie et propriétés techniques du système proposé. — Énumération des types et appareils divers constituant le Système réticulé à mailles triangulaires invariables. — Types à fermettes triangulées en acier. — Types à mailles divisibles en éléments rectilignes portatifs. — Avantages nombreux qu'offrent aux ingénieurs les constructions réticulées mobilisables en acier. — Économie et rapidité de construction. 19 à 29

CHAPITRE III

PONTS ET VIADUCS MOBILISABLES A MAILLES TRIANGULAIRES EN ACIER POUR CHEMINS DE FER A VOIE NORMALE ET A VOIE DE 1 MÈTRE.

Applications du système de constructions mobilisables à mailles triangulaires à la création d'un matériel portatif pour ponts et viaducs de chemins de

fer de dimensions quelconques. — Premier modèle de pont portatif à mailles triangulaires essayé en Algérie. — Résumé des projets présentés par l'inventeur au comité du génie et au ministre de la guerre de 1880 à 1884. — Système complet présenté à la Commission supérieure des chemins de fer. — Expérimentation décisive d'une travée mobilisable lancée sur la ligne ferrée de Questembert à Ploërmel. — Adoption officielle des ponts mobilisables en 1887. — Essais pratiques des piles et des grandes travées mobilisables tubulaires de 40 à 55 m. — Type de pont du même système pour la voie de 1 m. — Viaducs à travées et à piles de dimensions variables. — Dispositif spécial pour franchir une brèche de 55 à 80 m. — Avantages que présente ce système pour les Compagnies de chemins de fer. 31 à 50

CHAPITRE IV

PONTS ET PASSERELLES MOBILISABLES EN ACIER POUR ROUTES STRATÉGIQUES ET COLONIALES.

Avantages que présentent les ponts mobilisables à éléments très portatifs et à longues travées en acier sur les ponts semi-permanents à court pontage en bois pour les opérations d'armée et pour les routes coloniales. — Description de nos trois types de ponts-route : A. Pont-d'armée mobilisable, à plusieurs travées. — B. Pont-portatif de campagne pour divisions et corps d'armée. — C. Pont-léger pour la cavalerie indépendante et les expéditions coloniales. — D. Passerelles pour piétons et mulets en pays de montagnes 51 à 62

CHAPITRE V

APPLICATIONS DIVERSES DU NOUVEAU SYSTÈME DE PONTS MOBILISABLES EN ACIER.

Réfutations de quelques objections. — Différences qui existent entre les ponts mobilisables et les ponts dits américains. — Pont mobilisable de 370 mètres établi sur le Var en 1889. — Applications du nouveau système par divers constructeurs. — Types de ponts mobilisables de ce système qui ont figuré à l'Exposition de 1889. — Appontement ou débarcadère maritime mobilisable à éléments portatifs pour débarquements improvisés. — Extension du système de constructions mobilisables. — Économie de temps et d'argent que présente ce système. — Applications à l'édification des grandes tours à signaux et des grandes charpentes métalliques. 63 à 97

APPENDICE.

- § 1^{er} — Appréciations diverses sur le Système des Ponts mobilisables . 99
 § 2 — Bibliographie 106

TABLE DES PLANCHES

- PLANCHE I. — Constructions réticulées mobilisables (système Henry).
- PLANCHE II. — Viaduc mobilisable avec piles.
- PLANCHE III. — Lançage d'un pont mobilisable de chemin de fer de 94 mètres de longueur composé de 2 travées tubulaires de 47 mètres, réunies (système Henry).
- PLANCHE IV. — Élévation d'une travée tubulaire de chemin de fer de 40 à 55 mètres composée avec les éléments du type de 33 mètres.
- PLANCHE V. — Viaduc mobilisable, avec une brèche supérieure à 50 mètres, à éléments portatifs en acier.
- PLANCHE VI. — Pont de route Type B. — Pont portatif de campagne.
- PLANCHE VII. — Pont de route Type C. — Pont léger pour routes.
- PLANCHE VIII. — Type D. — Passerelle mobilisable pour troupes de montagne et pour les colonies, à éléments transportables à bras d'hommes.
- PLANCHE IX. — Ponts-d'armée.
- PLANCHE X. — Débarcadère mobilisable sur palées démontables à éléments rectilignes portatifs et interchangeables en acier.
-

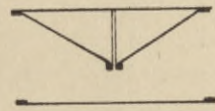
CONSTRUCTIONS RÉTICULÉES MOBILISABLES

APPAREILS A MAILLES TRIANGULAIRES INDIVISIBLES.

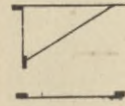
APPAREILS A MAILLES DIVISIBLES.

Fig. 1.

N° 1-Type A.



N° 2-Type B.



N° 3-Type C.

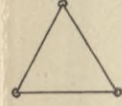


Fig. 2-Eléments isocèles N°1 bout à bout réunis par des tirants.

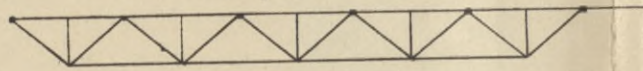
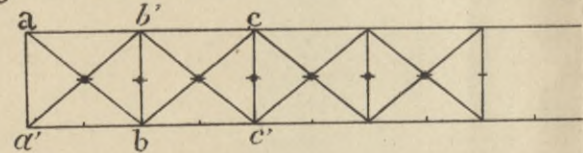


Fig. 3-Triangles isocèles abc + abc', croisés et opposés.



Coupe.

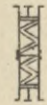
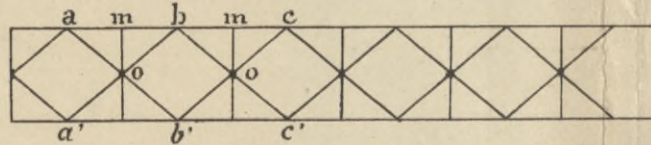


Fig. 4-Triangles isocèles superposés aob, a'ob'.



Coupe.

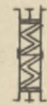
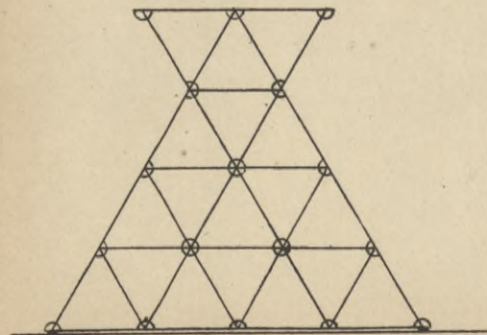


Fig. 5-Triangles équilatéraux. (Appareil équilatéral.)

Élévation transversale.



Élévation longitudinale.

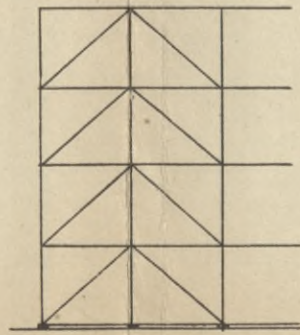
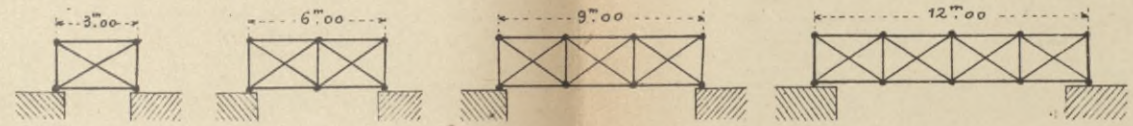


Fig. 6 - 1° Triangles isocèles divisibles.



PONTS A MAILLES TRIANGULAIRES

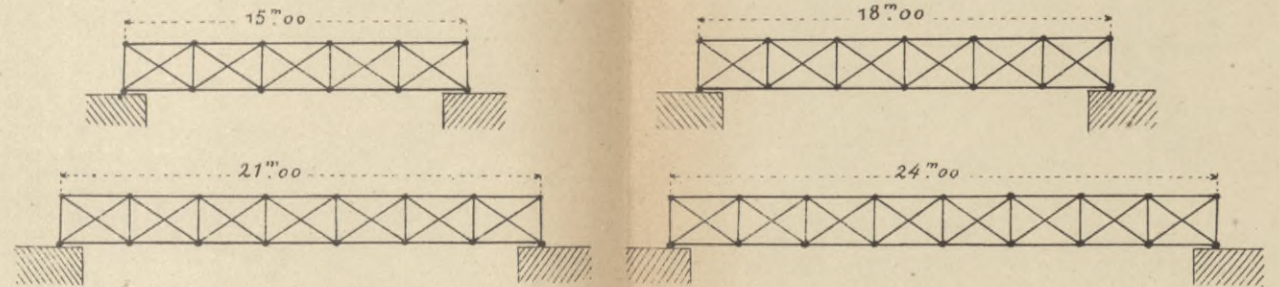


Fig. 7 - 2° Triangles rectangles divisibles.

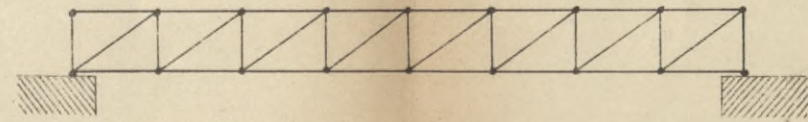
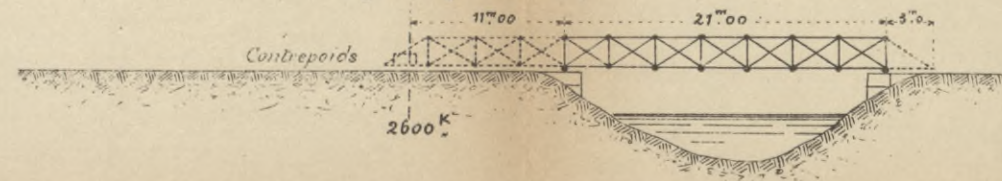


Diagramme du lançage d'un pont pour route.

Fig. 8. - Avant lançage.



Fig. 9. - Après lançage.



SYSTEME R. HENRY.

VIADUC MOBILISABLE
à mailles triangulaires en acier.

ÉLEVATION GÉNÉRALE DU VIADUC

Fig. 1 — Travée courte de 6 à 37^m (Types N°1 et N°2)

Fig. 2 — Grande travée de 37 à 50^m (Type N°3)

Fig. 3 — Travée moyenne (Type N°1)

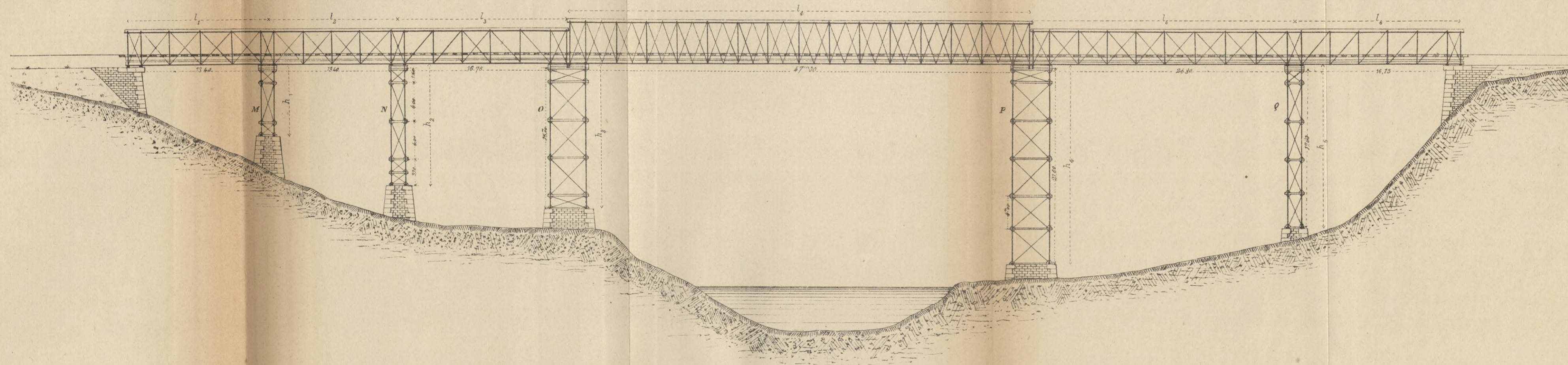
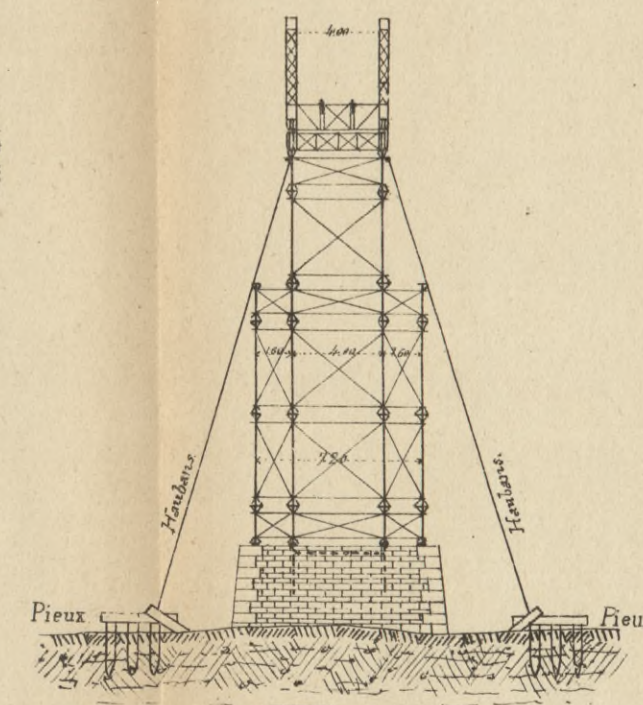
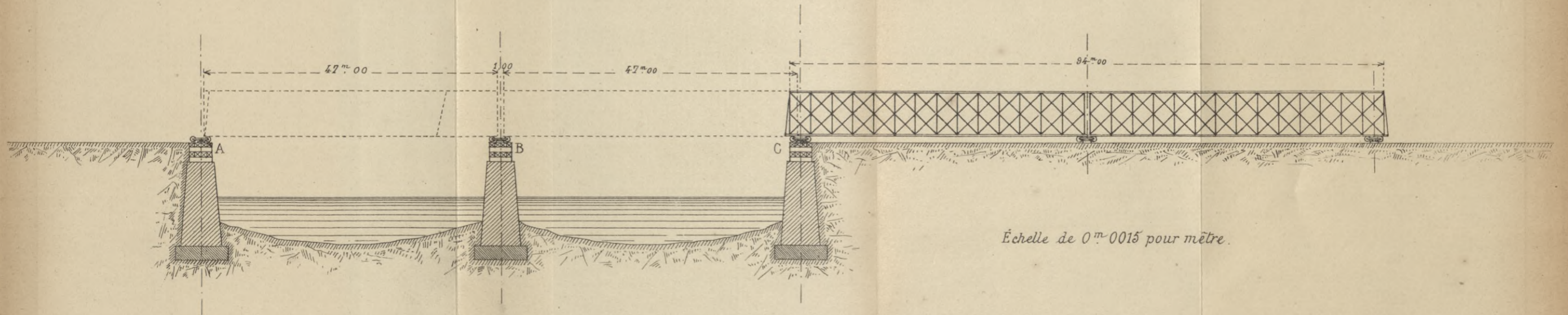


Fig. 4 — Élévation transversale d'une pile mixte renforcée composée de pièces portatives en acier.



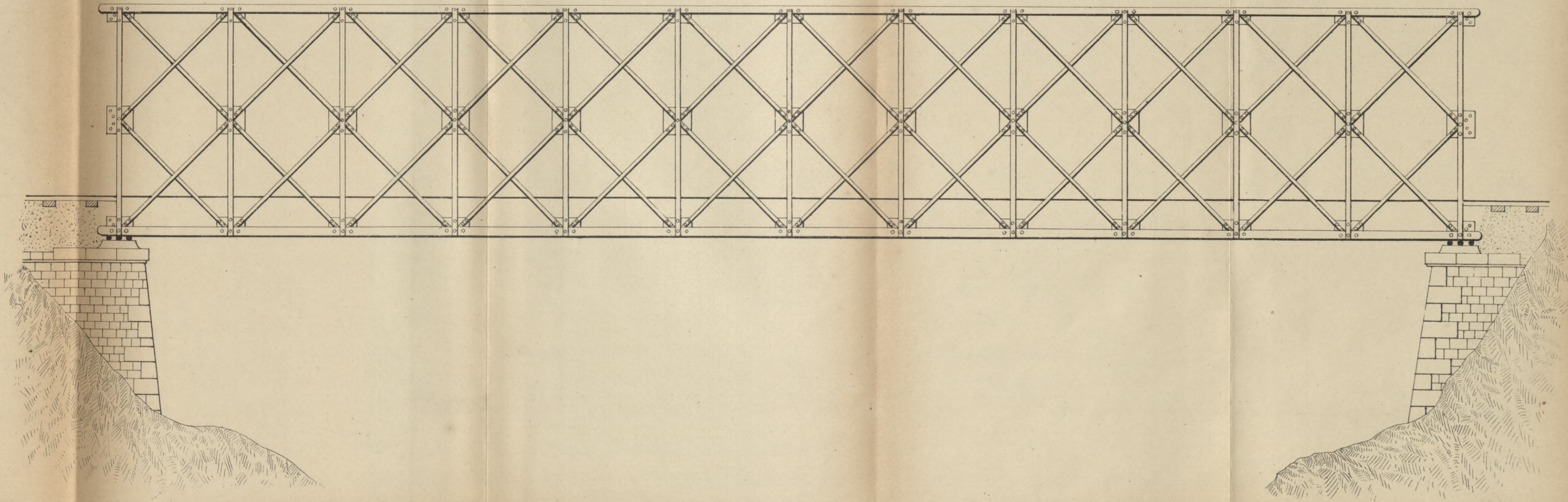


LANÇAGE D'UN PONT MOBILISABLE DE CHEMIN DE FER DE 94 MÈTRES DE LONGUEUR
composé de 2 travées tubulaires de 47 mètres, réunies.
(Système Henry.)

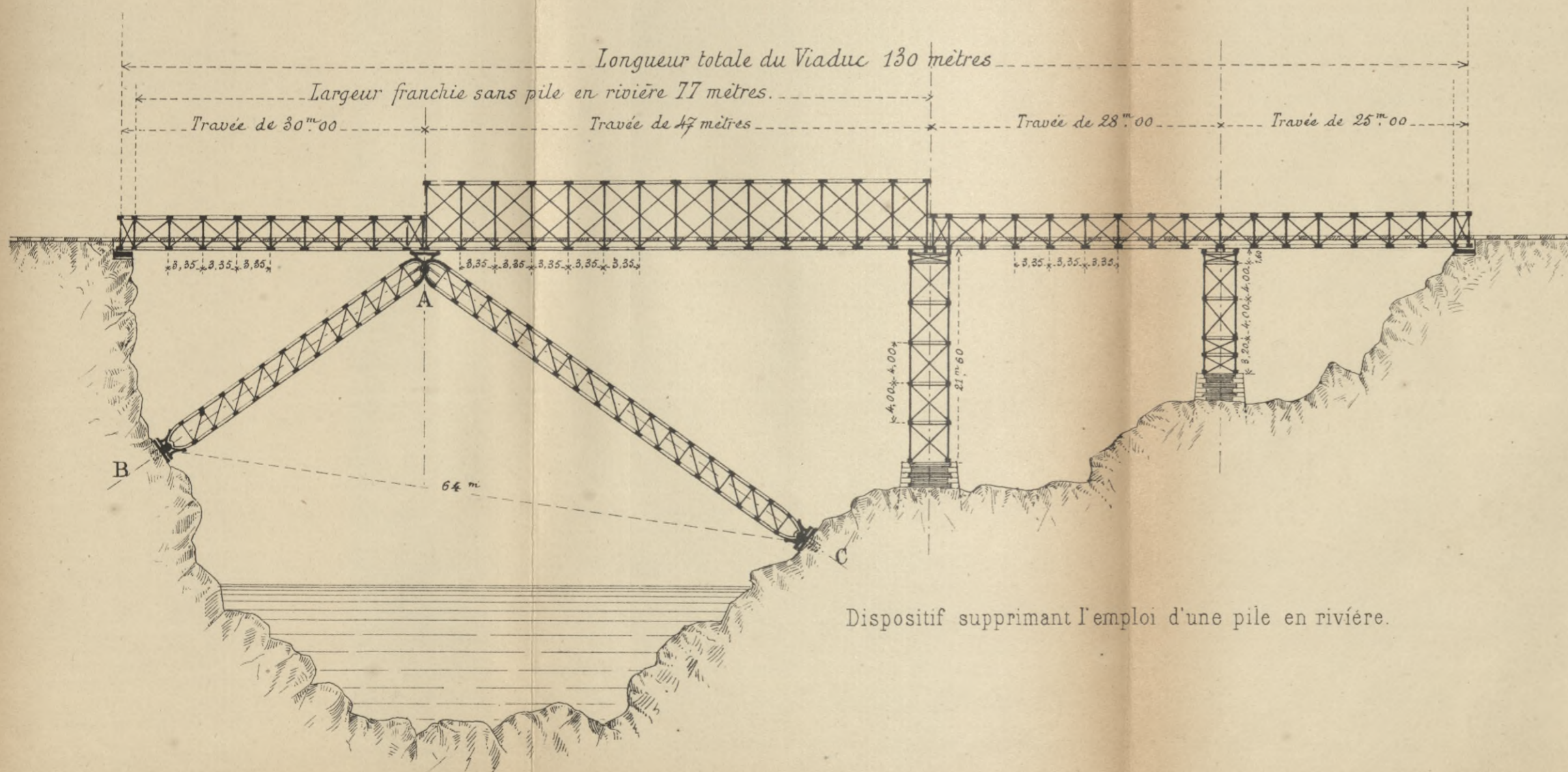


ÉLEVATION D'UNE TRAVÉE TUBULAIRE DE CHEMIN DE FER DE 40 A 55 MÈTRES
Composée avec les éléments du type de 33 mètres.

Type N° 3. — Travée à 2 étages de mailles; supportant les machines de 87 tonnes.

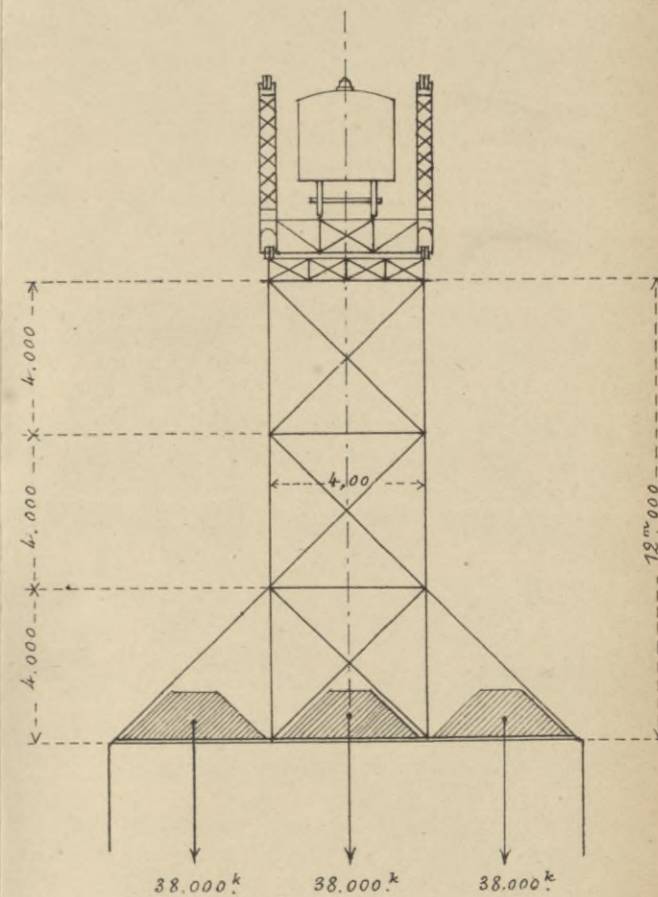


VIADUC MOBILISABLE, AVEC UNE BRÈCHE SUPÉRIEURE A 50 MÈTRES
à éléments portatifs en acier.



Dispositif supprimant l'emploi d'une pile en rivière.

Élévation transversale
d'une Pile mobilisable
de 12 mètres de hauteur.

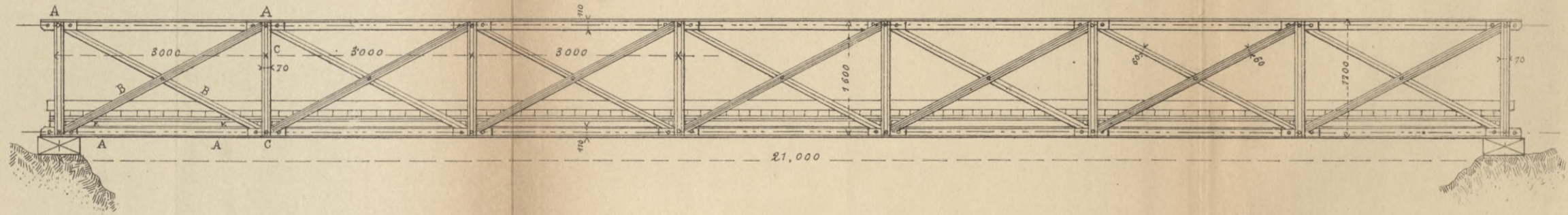


PONTS DE ROUTE.

TYPE B _ PONT PORTATIF DE CAMPAGNE

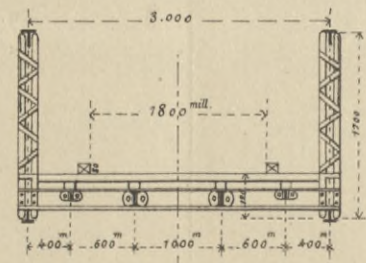
Echelle : 1/75

Élévation d'un pont de 21 mètres.



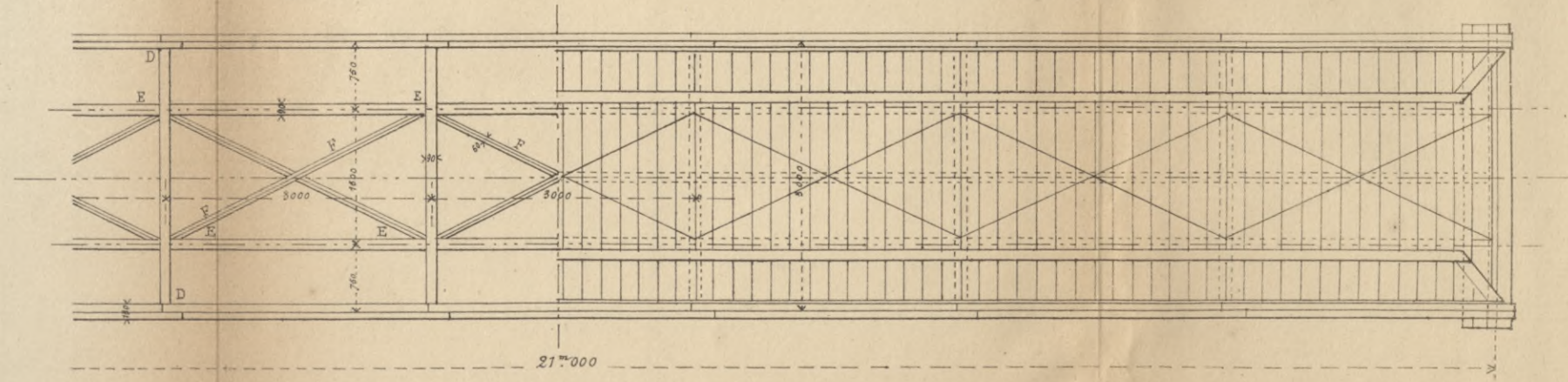
Vue du tablier en plan

Coupe transversale



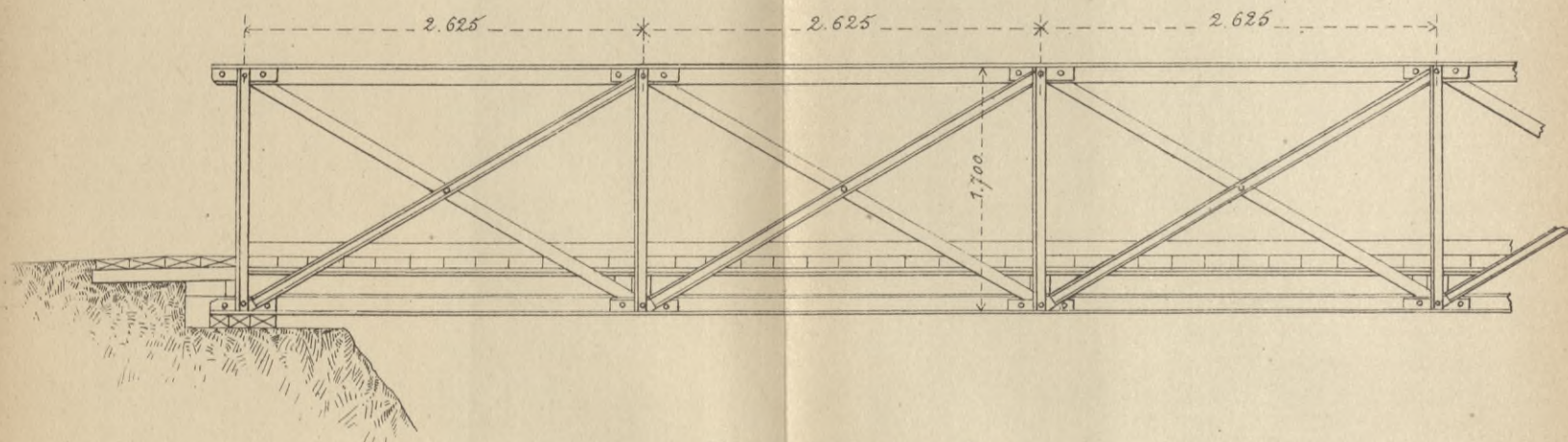
Platelage enlevé.

Platelage posé.

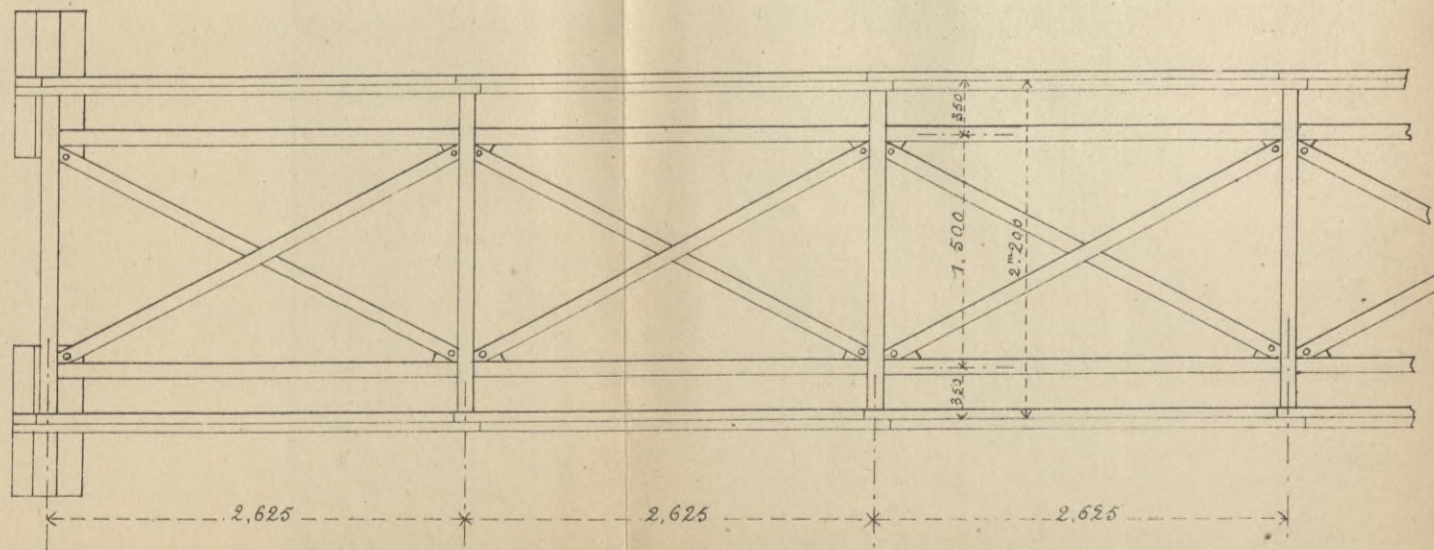


PONTS DE ROUTE.
 TYPE C - PONT LÉGER POUR ROUTES.
 Poids par mètre courant environ 170^{kil.}

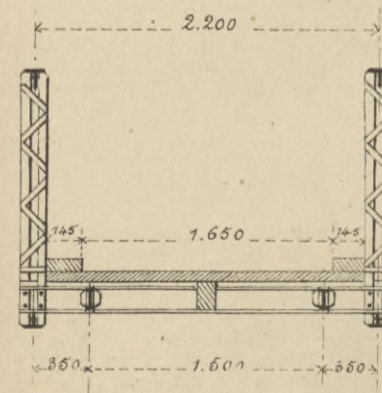
Élévation longitudinale d'une travée.



Plan de la travée.
 (Platelage enlevé)



Coupe transversale du Type C.

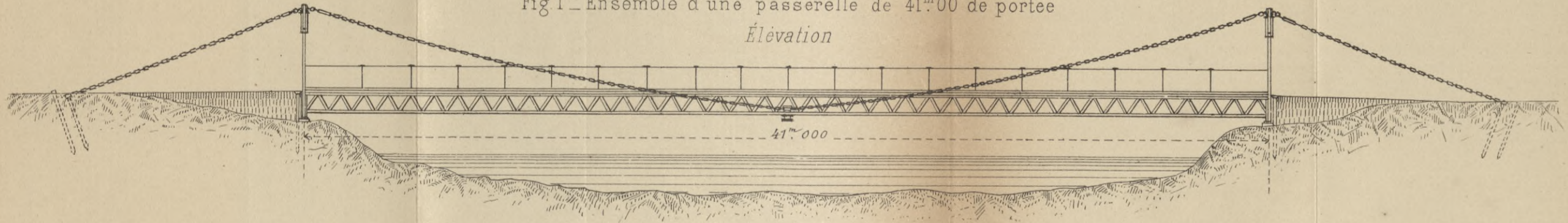


NOTA: - Ce type léger ne comporte que six modèles de pièces dont la plus lourde ne pèse que 60 kilogrammes.

TYPE D. — PASSERELLE MOBILISABLE POUR TROUPES DE MONTAGNE ET POUR LES COLONIES
à éléments transportables à bras d'hommes.

Fig 1 — Ensemble d'une passerelle de 41^m.00 de portée

Élévation



Vue en plan.

Platelage posé

Platelage enlevé

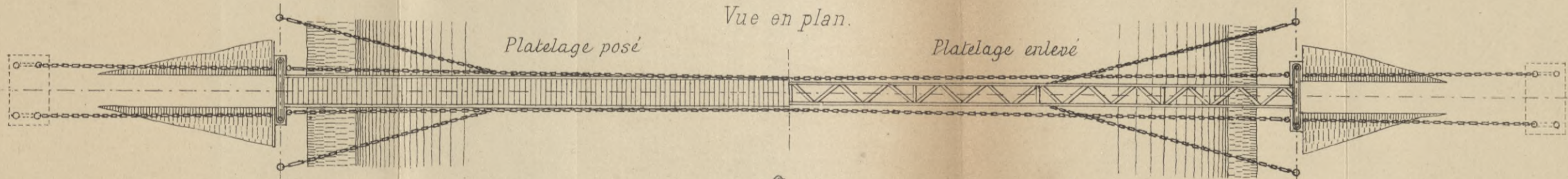
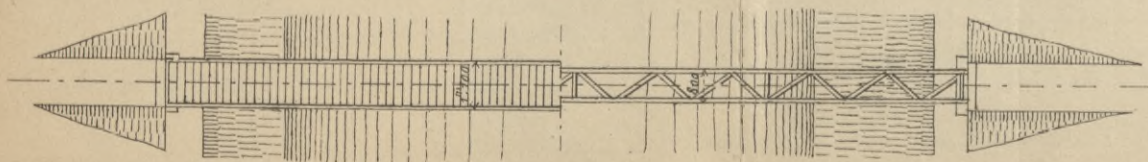
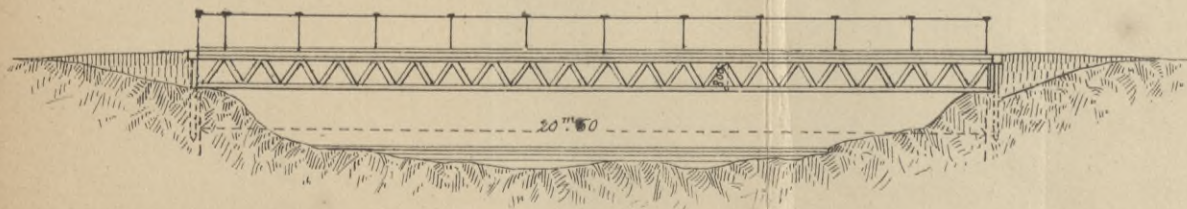
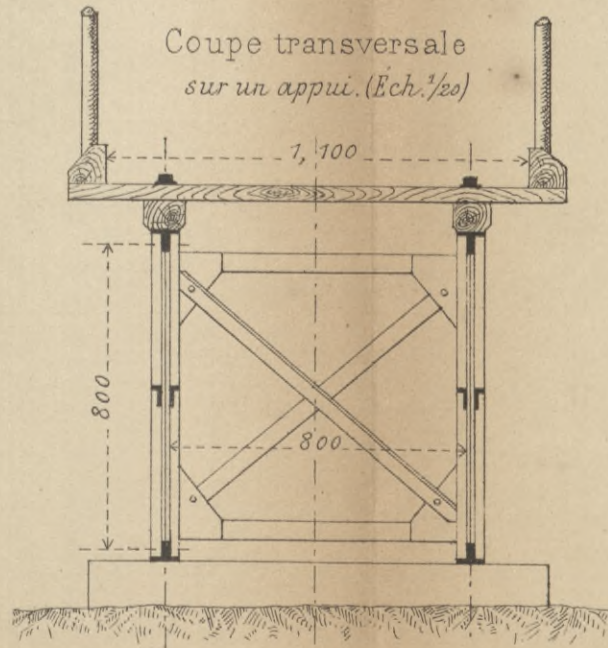


Fig.2 — Ensemble d'une passerelle de 20^m.50 de portée.

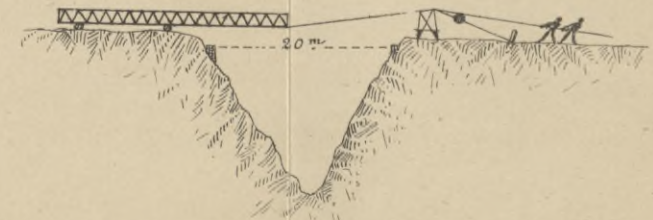
Élévation.

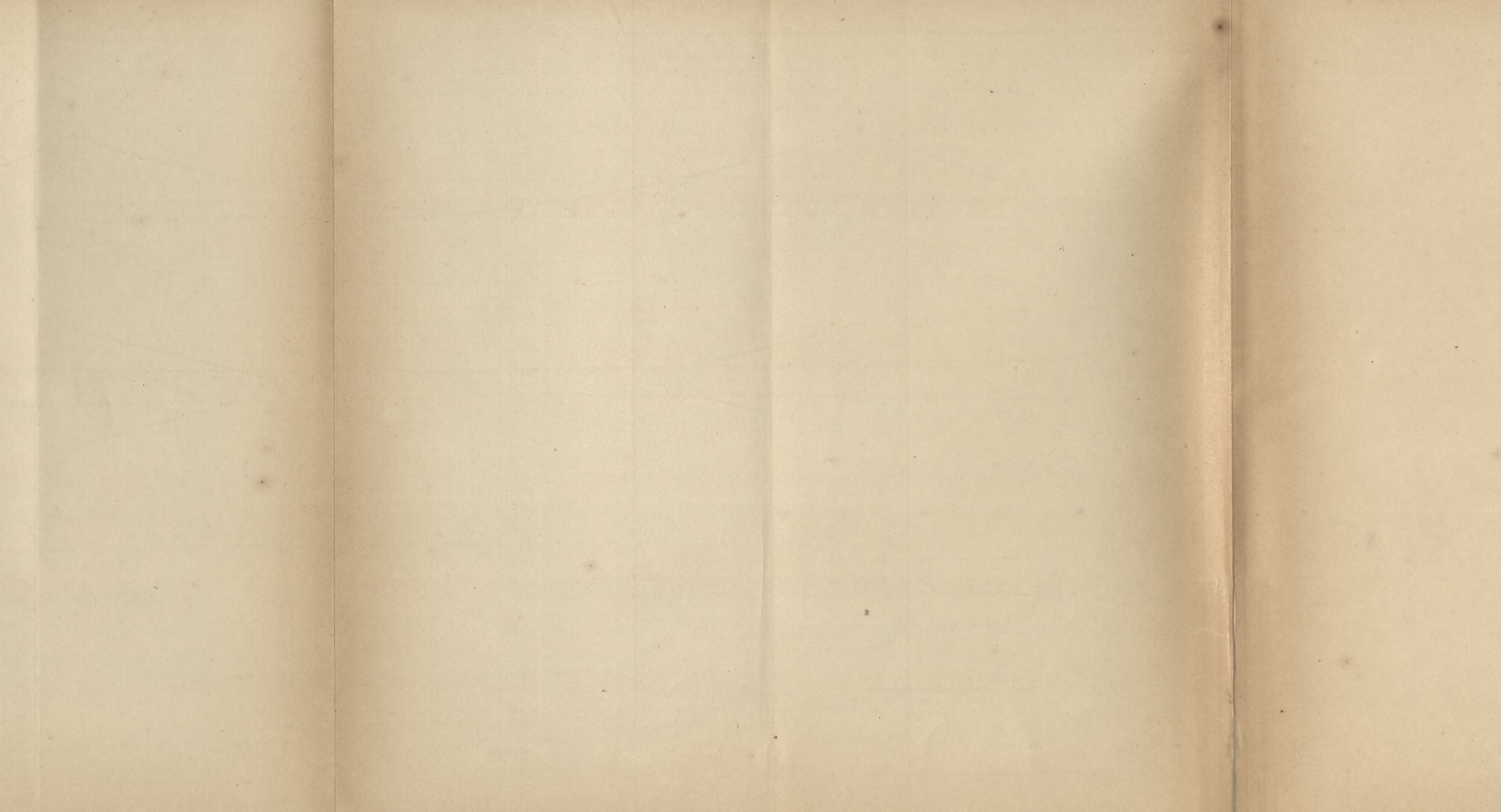


Coupe transversale sur un appui. (Éch. 1/20)



Lancement d'une passerelle à bras.





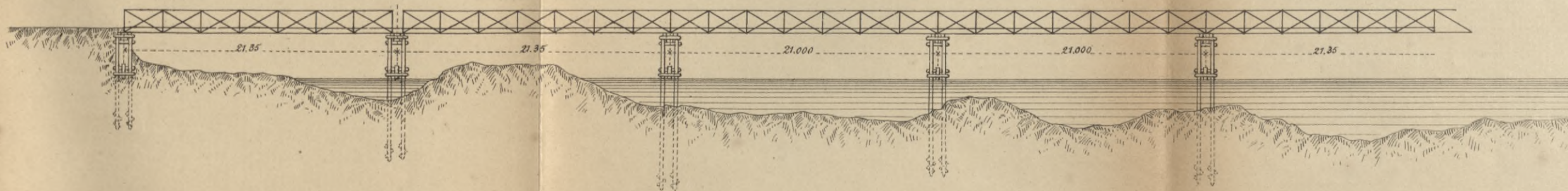
PONTS D' ARMÉE.

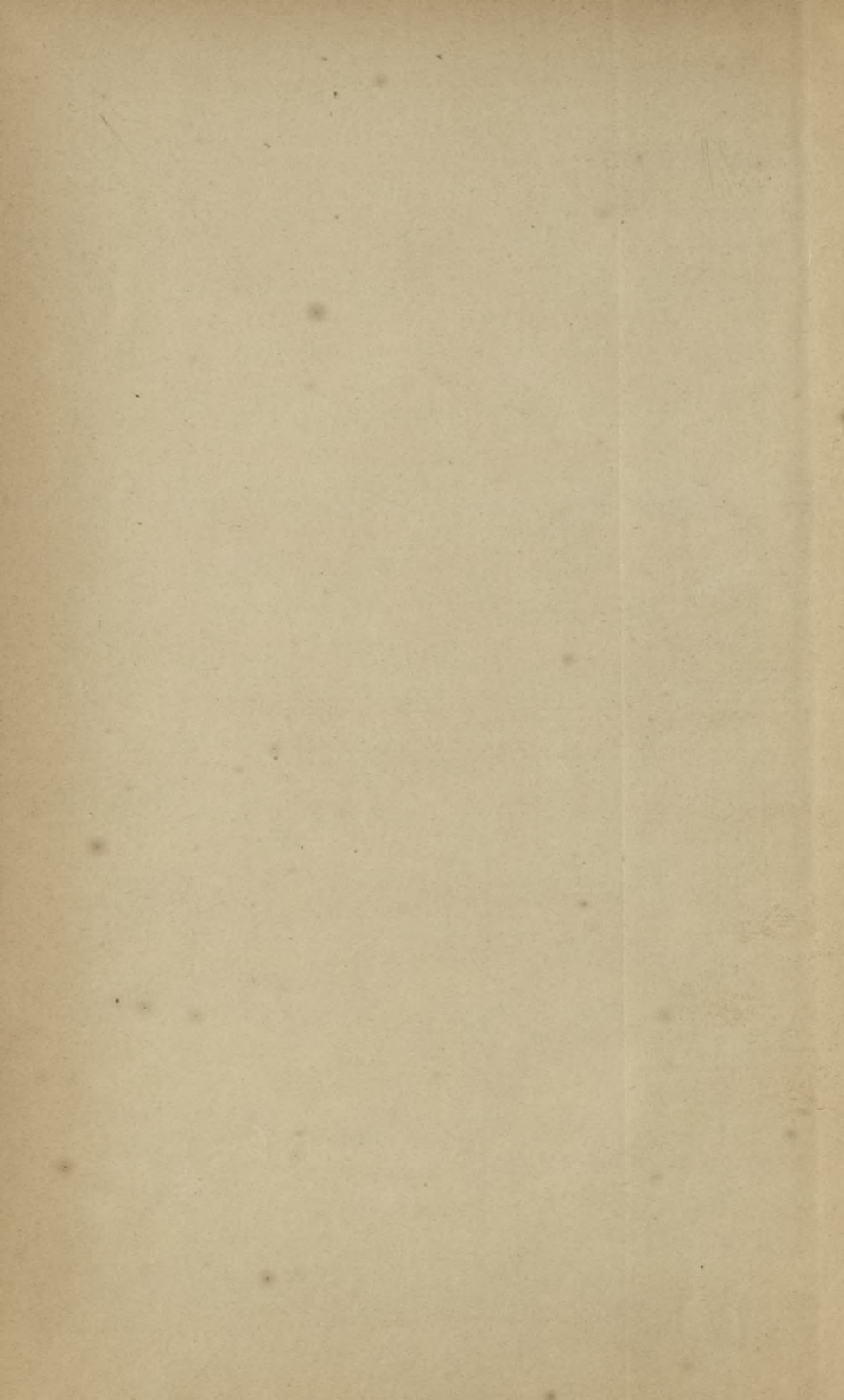
PONT STRATÉGIQUE MOBILISABLE DE 370^m

lancé sur le Var en 50 heures.

au mois de Juillet 1889.

Élévation représentant 4 travées de 21 mètres





DÉBARCADÈRE MOBILISABLE SUR PALÉES DÉMONTABLES à éléments rectilignes portatifs interchangeables en acier.

Echelle 1/300^e.

Fig1. Élévation longitudinale

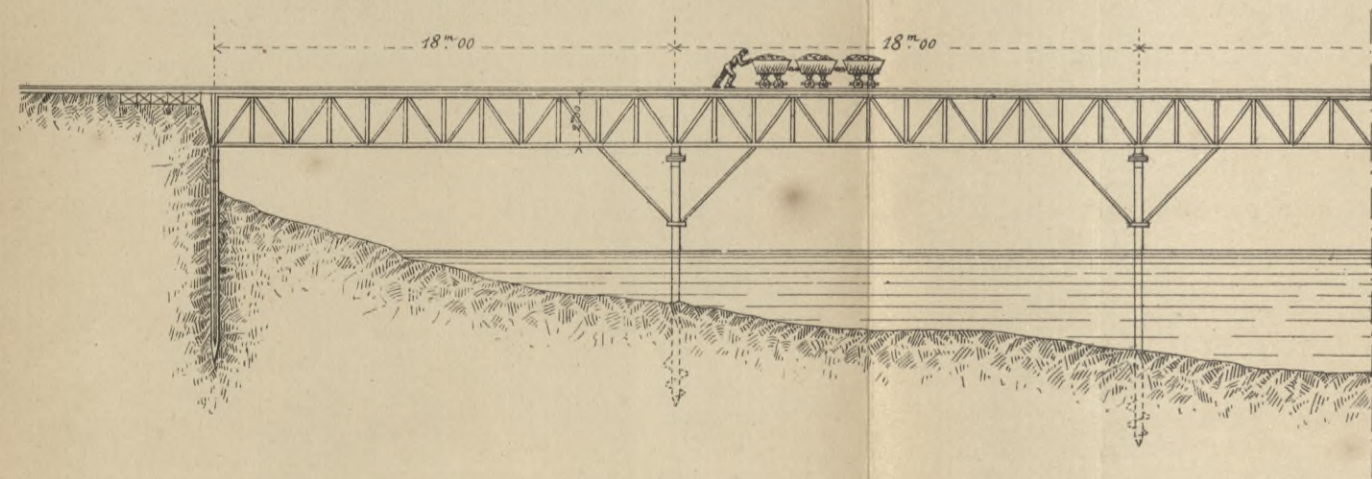


Fig 2 Plan du débarcadère avec double voie ferrée

Le platelage enlevé

Le platelage posé

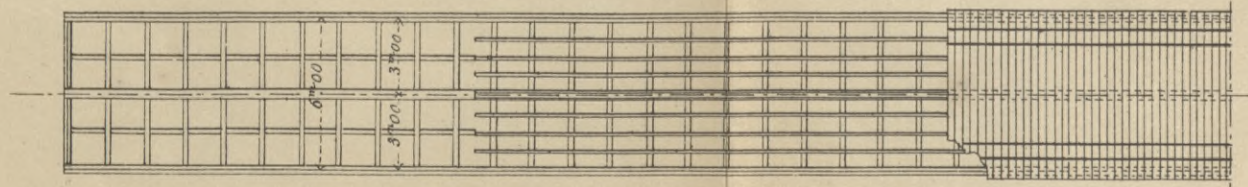
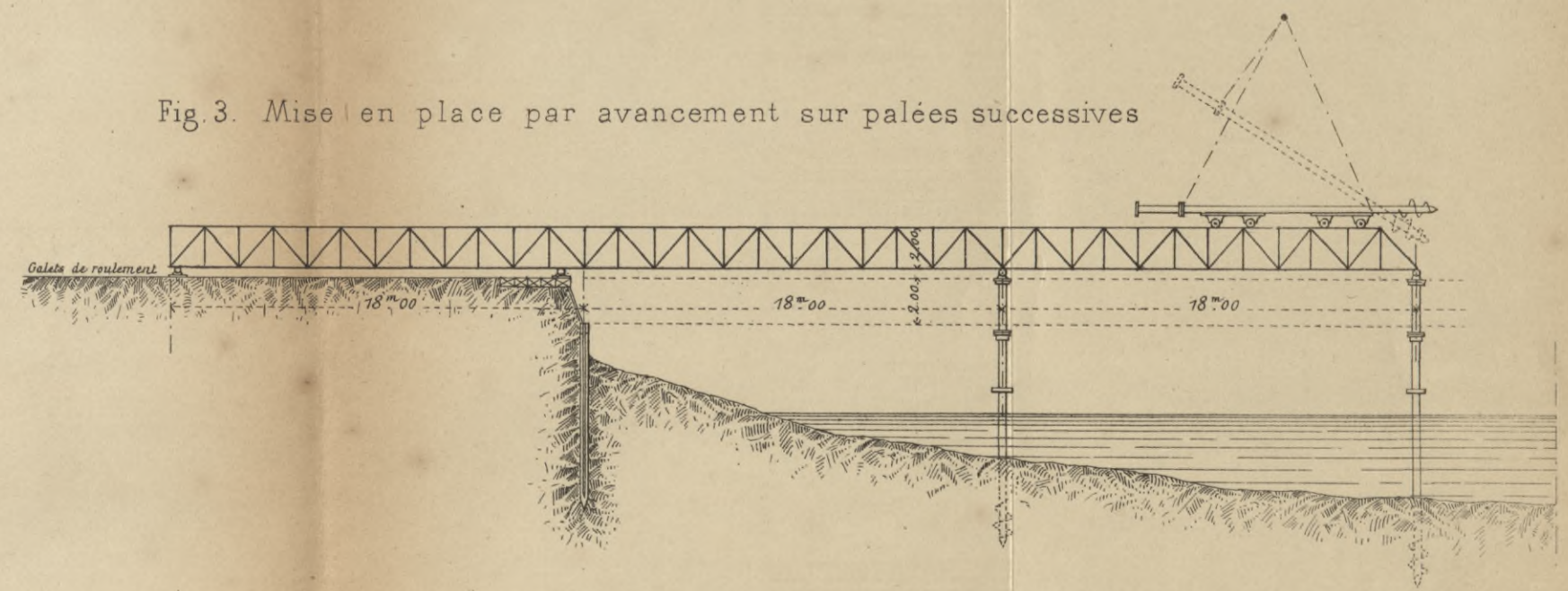


Fig.3. Mise en place par avancement sur palées successives



NOTA.— Ce système de débarcadère formé par l'assemblage d'éléments rectilignes portatifs en acier, peut être construit en quelques jours, sans projet préalable, par des marins ou par de simples soldats.

S-96

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000297409