

# LE GÉNIE CIVIL

REVUE GÉNÉRALE HEBDOMADAIRE DES INDUSTRIES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES

Prix de l'abonnement par an. — Paris : 36 francs; — France et Colonies : 38 francs; — Étranger : 45 francs. — Le numéro : 1 franc.

Administration et Rédaction : 6, rue de la Chaussée-d'Antin, Paris.

SOMMAIRE. — Travaux publics : Le viaduc de Fontpédrouse, sur la Têt (Pyrénées-Orientales), p. 289; A. DUMAS. — Chemins de fer : Les chemins de fer en Angleterre. Historique, matériel, fonctionnement (suite), p. 292; J. CARLIER et H. DEDROOG. — Électricité : La station centrale d'électricité de Moscou, p. 296; J. VICHNIAK. — Variétés : L'organisation du marché de l'industrie électrique après la guerre, p. 299; — Nouveau type de lit militaire démontable, p. 300; Martial LAPLAUD;

— La fabrication du rhum, p. 301; — Pompe à air rotative à grande vitesse, système Worthington, p. 301.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET INDUSTRIELLES : Académie des Sciences (26 octobre 1915), p. 302.

BIBLIOGRAPHIE : Revue des principales publications techniques, p. 302.

ANNONCES : Informations diverses.

## TRAVAUX PUBLICS

### LE VIADUC DE FONTPÉDROUSE, SUR LA TÊT (Pyrénées-Orientales).

Le *Génie Civil* a donné, dans ses numéros des 4 et 11 mai 1912, la description du chemin de fer électrique récemment construit dans la Cerdagne française et qui va de Villefranche-de-Conflent à Bourg-Madame, tout près de la frontière franco-espagnole. Le

234 mètres d'ouverture avec une travée centrale de 156 mètres de portée. Il a été construit par la maison Arnodin et a été assez longuement décrit dans le *Génie Civil* des 13 et 20 février 1909 et 9 avril 1910 par M. Leinekugel Le Cocq.

Le viaduc en maçonnerie à deux étages de Fontpédrouse n'avait encore été l'objet que d'une courte description intercalée dans une longue étude sur la ligne de Villefranche à Bourg-Madame publiée par M. Delmas dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de septembre-octobre 1913. Une courte monographie vient de lui être consacrée dans le tome V du magistral traité<sup>(1)</sup> qu'achève de publier son

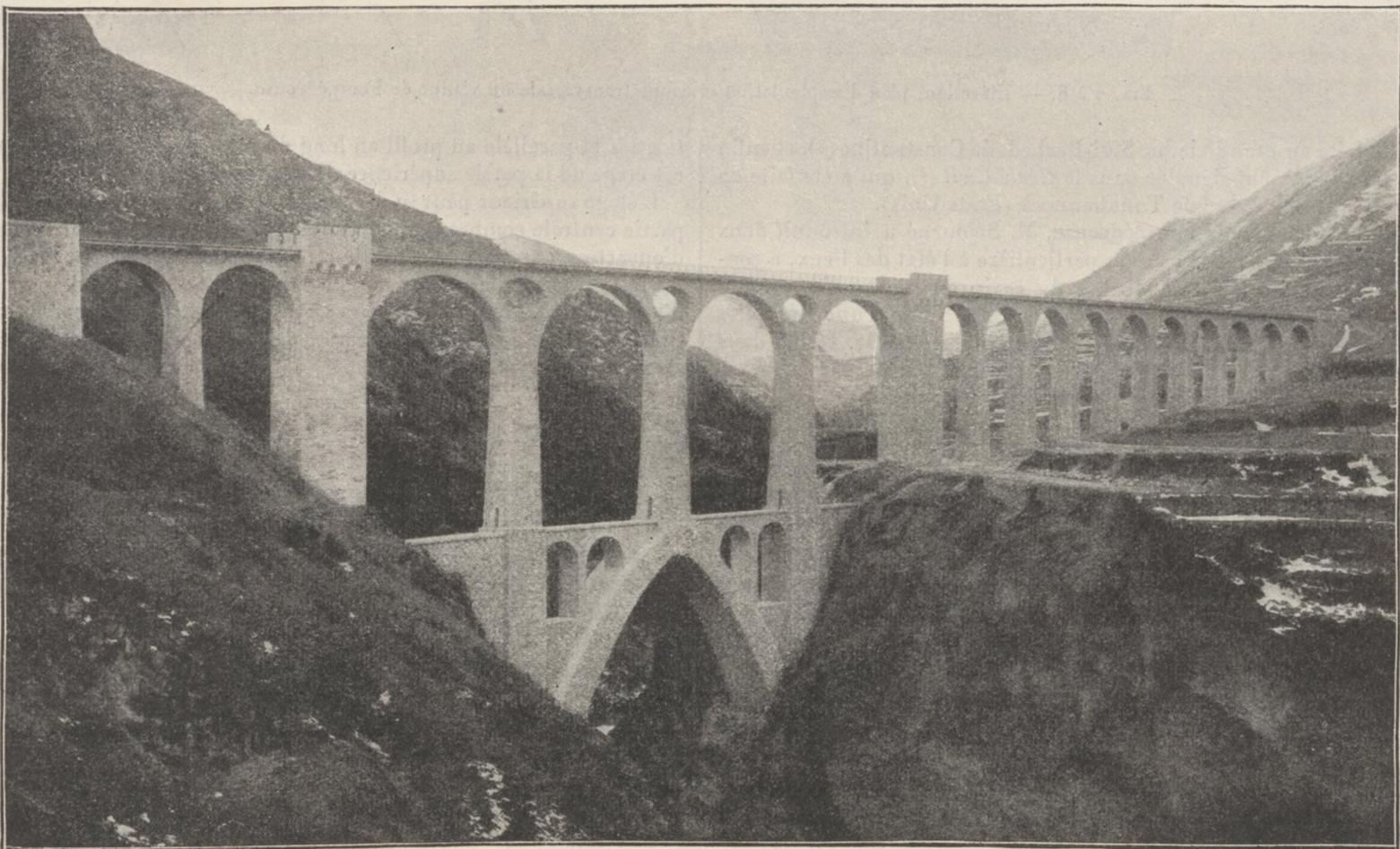


FIG. 1. — VIADUC DE FONTPÉDROUSE, SUR LA TÊT (PYRÉNÉES-ORIENTALES) : Chemin de fer électrique de Villefranche à Bourg-Madame.

tracé de cette ligne pyrénéenne, très pittoresque, a son origine à 426 mètres d'altitude et il arrive à la cote 1143 après s'être élevé jusqu'à la cote 1592. Il comporte, pour la traversée de la Têt, deux ouvrages d'art très remarquables : le pont de La Cassagne et le viaduc de Fontpédrouse. Ces deux ouvrages constituent, chacun dans leur genre, des innovations très heureuses et très intéressantes, aussi sont-ils souvent désignés d'après les noms des ingénieurs qui les ont conçus : le premier sous le nom de pont Gisclard et le second sous le nom de viaduc Séjourné.

Le pont de La Cassagne est la plus grande application qui ait encore été faite du système de ponts suspendus rigides imaginé par le regretté commandant Gisclard; c'est un ouvrage métallique de

l'auteur, et c'est en nous aidant de ces deux publications que nous donnerons la description qui va suivre.

Jusqu'à la fin du siècle dernier, la plus grande voûte existante était le pont de Cabin-John, sur la dérivation qui amène l'eau du Potomac à Washington, construit en 1862 et qui a 67<sup>m</sup> 10 d'ouverture. M. Séjourné, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées, qui avait déjà construit plusieurs ponts remarquables, entre autres (en 1884) celui de Lavaur comportant une arche en maçonnerie de 61<sup>m</sup> 50 d'ouverture, a, au commencement de ce siècle, édifié dans

(1) *Grandes voûtes*, par Paul SÉJOURNÉ. Six volumes in-4° avec un grand nombre de figures et de belles planches hors texte. — M<sup>me</sup> veuve Tardy-Pigelet et Fils, éditeurs à Bourges. — Prix : 250 francs.

la ville de Luxembourg, sur la Pétrusse, une arche de 85 mètres (1), d'un type absolument nouveau. Il a innové, dans ce pont, la construction des voûtes en deux arcs séparés, réunis par une dalle et construits tous les deux avec le même cintre, ripé de l'un à l'autre. Cette construction, si rationnelle, a déjà reçu plusieurs applications importantes; nous citerons seulement celle faite par son inventeur à un pont sur la Garonne, à Toulouse, dit pont des Amidonniers,

qui franchit la Têt à 65 mètres de hauteur. Il a 236<sup>m</sup> 70 de longueur et présente une déclivité de 0<sup>m</sup> 06 par mètre.

L'étage inférieur est constitué par une voûte ogivale de 30 mètres d'ouverture et 18 mètres environ de montée, prenant appui sur les deux berges à 19 mètres environ au-dessus du lit de la rivière. Les tympans de cette voûte sont élévis par deux voûtes en plein cintre de 5 mètres d'ouverture, et une ligne passant au-dessus de ces voû-

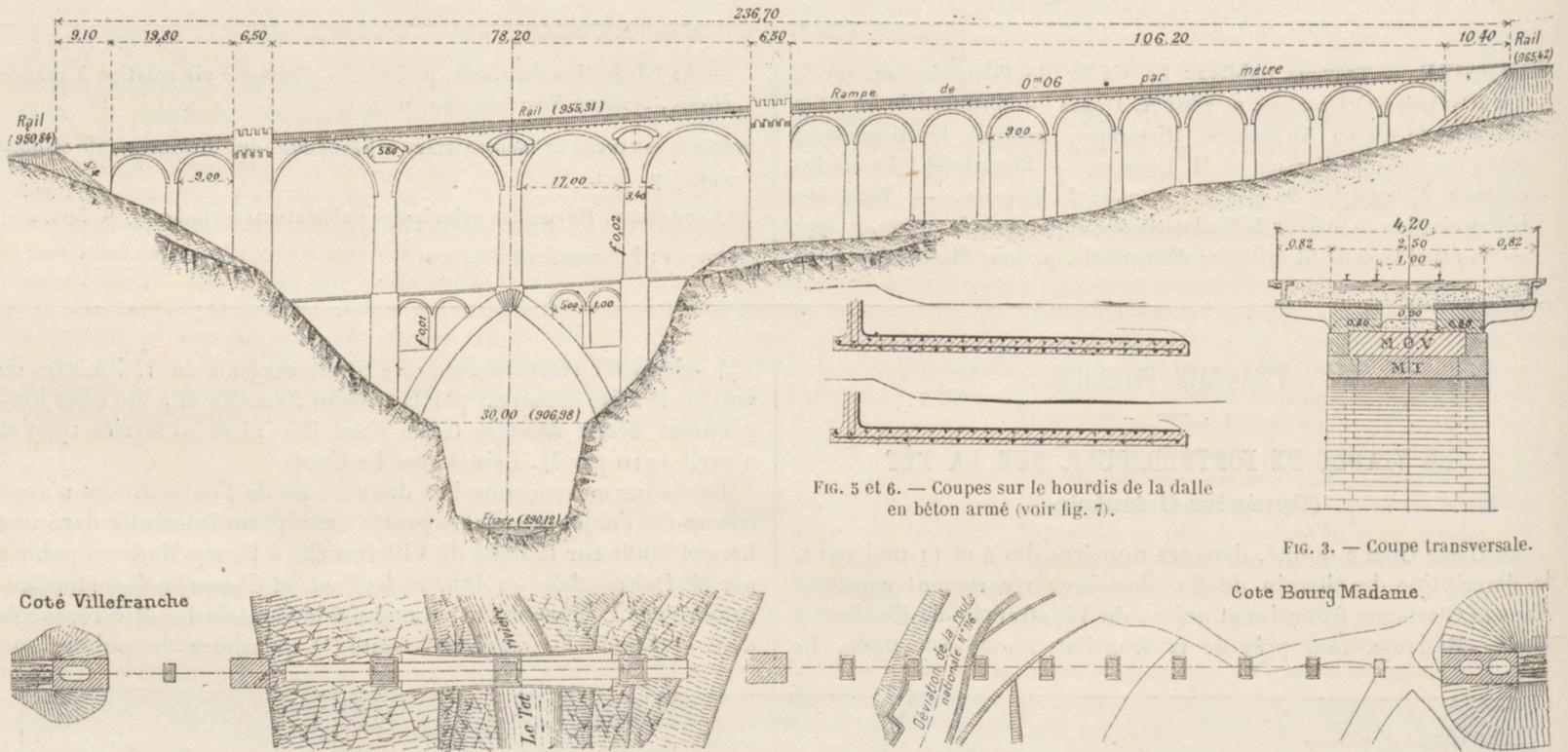


FIG. 2 à 6. — Élévation, plan d'implantation et coupe transversale du viaduc de Fontpédrouse.

celle faite au grand viaduc Sidi-Rached, de Constantine (2), et enfin celle, récemment signalée dans le *Génie Civil* (3), qui a été faite en Amérique au viaduc de Tunkhannock (Etats-Unis).

Dans le viaduc de Fontpédrouse, M. Séjourné a introduit deux conceptions nouvelles: l'une, particulière à l'état des lieux, a consisté à franchir la partie étroite du ravin au moyen d'une voûte ogivale et à faire reposer sur la clef de cette voûte l'une des piles du viaduc traversant la vallée; l'autre, plus générale, réside dans

telettes et parallèle au profil en long de la voie délimite nettement cet étage de la partie supérieure de l'ouvrage.

L'étage supérieur peut se diviser en trois parties distinctes. La partie centrale comprend quatre arches en plein cintre de 17 mètres d'ouverture dont la pile centrale repose sur le sommet de l'ogive et les piles intermédiaires sur le rocher naturel des berges, de part et d'autre des naissances de l'ogive. Cette partie du viaduc est encadrée par deux piles-culées en forme de tours crénelées établies sur

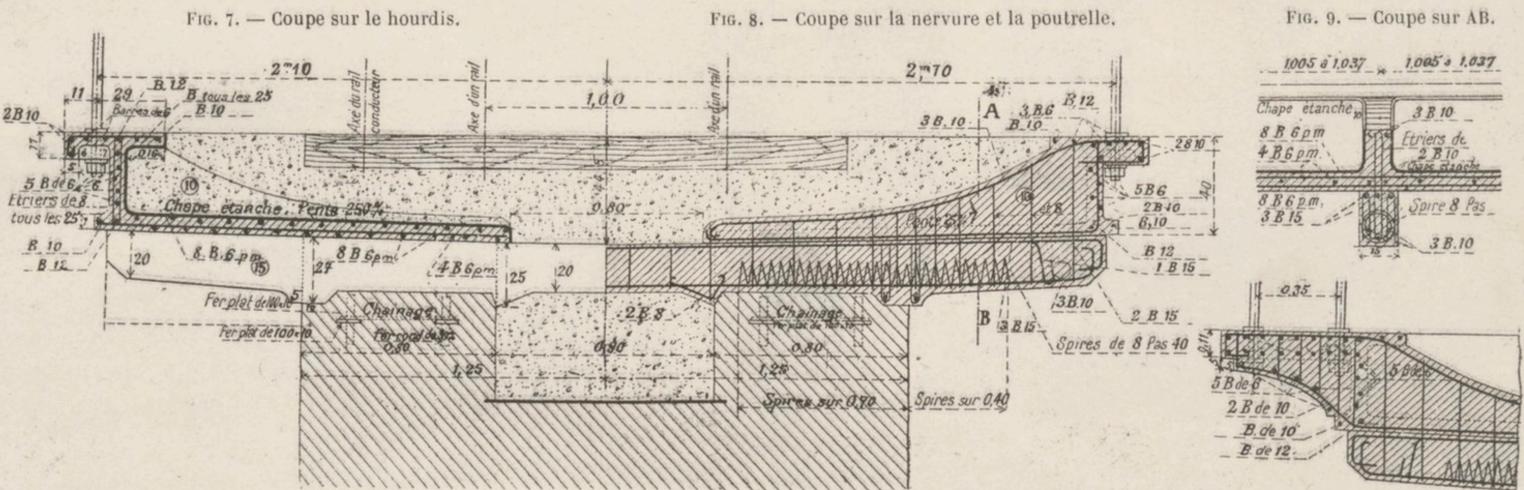


FIG. 7 à 10. — Coupes détaillées montrant la composition du tablier en béton armé.

la réduction au minimum, compatible avec la stabilité, de la largeur de l'ouvrage proprement dit, la largeur nécessaire à l'établissement de la plate-forme du chemin de fer étant obtenue par une dalle en ciment présentant des encorbellements de part et d'autre (fig. 3 et 7).

Le viaduc de Fontpédrouse est donc un ouvrage à deux étages

les bords de la gorge de la Têt, et qui contribuent à donner à l'ouvrage un aspect aussi esthétique que rationnel.

De chacune de ces piles-culées, qui sont creuses, se détachent des viaducs d'approche constitués par des voûtes en plein cintre de 9 mètres d'ouverture, au nombre de deux seulement du côté de Villefranche (rive droite) et de dix du côté de Bourg-Madame.

L'ensemble ainsi réalisé constitue une disposition très heureuse et dont l'impression de robustesse est encore accentuée par l'aspect des maçonneries qui ont été traitées avec beaucoup de soin, comme d'ailleurs dans tous les ouvrages conçus par M. Séjourné (fig. 11 à 15).

Nous avons dit qu'une des caractéristiques de l'ouvrage est son peu de largeur. Celle-ci n'est, en effet, que de 2<sup>m</sup> 50 à la partie

(1) Voir sa description dans le *Génie Civil* du 18 janvier 1902 (t. XI, n° 12, p. 185). Depuis sa construction, en 1902, l'ouverture du pont de Luxembourg n'a été dépassée que dans le pont de Plauen (Saxe) dont l'ouverture est de 90 mètres (voir le *Génie Civil* du 4 novembre 1905). En France, la plus grande voûte en maçonnerie existant actuellement est celle du pont de Montanges qui a 80 mètres (voir le *Génie Civil* du 16 septembre 1911); le 7 septembre dernier on a décentré une voûte, sur la Roisonne (Isère), qui a 79<sup>m</sup> 45.

(2) Voir le *Génie Civil* du 1<sup>er</sup> mars 1912 (t. LXII, n° 18, p. 344).

(3) Voir, dans le *Génie Civil* du 7 août 1913 (t. LXVII, n° 6, p. 81): Le viaduc de Tunkhannock, du Lackawanna Railroad à Nicholson (Pennsylvanie).

supérieure des voûtes en maçonnerie, ainsi qu'on le voit sur les figures 3 et 7; elle correspond sensiblement à la longueur des traverses de la voie, qui est unique, et à rails écartés de 1 mètre seulement. Mais, par suite du fruit donné aux parements, cette largeur est de 4<sup>m</sup> 16 à la base des pilastres de l'étage supérieur et de 6<sup>m</sup> 75 à la naissance des arcs en ogive.

L'ouvrage est couronné par un tablier en béton armé, de 4<sup>m</sup> 50 de largeur totale, qui débord de 1 mètre de chaque côté des tympans, pour supporter les trottoirs et les garde-corps (fig. 3, 7 et 8). L'intervalle libre entre parapets est de 4<sup>m</sup> 14.

Le tablier est constitué par des poutrelles transversales espacées de 1 mètre, par deux nervures en forme de T formant poutrelles de rive, et par deux hourdis établis entre ces poutrelles et les parements intérieurs des murs des tympans. Les hourdis présentent une pente transversale de 0<sup>m</sup> 025 vers l'axe de la voie, de façon à amener les eaux dans l'évidement existant entre les murs de tympans et à les évacuer par les gargouilles ménagées à cet effet dans les voûtes. Des dispositions spéciales ont été adoptées pour les refuges, qui sont supportés chacun par deux consoles (fig. 10).

Le tablier est continu sur toute la longueur de l'ouvrage, y compris les tours et les culées; il est solidement ancré dans ces dernières. Il en résulte que ce tablier, loin d'être libre dans sa dilatation, s'oppose aux déformations qui pourraient résulter pour l'ouvrage des variations de température assez élevées dans le site où

dalle en béton armé constitue une véritable nervure renforçant l'ouvrage dans le sens horizontal et lui permettant, malgré sa grande hauteur et sa faible largeur, de résister efficacement aux vibrations transversales produites par le passage des trains.

La construction du viaduc de Fontpédrouse n'a pas présenté de difficultés particulières. On y a employé un très beau granit, et l'approvisionnement des matériaux a été relativement facile, grâce à une route nationale qui passe en dessous. Pour l'étage inférieur, on a trouvé pratique, par suite de la nature abrupte des berges de la rivière, de descendre les matériaux de construction au niveau du lit, au moyen d'un plan incliné, puis de les remonter avec un monte-charge.

Les voûtes ont été exécutées par rouleaux successifs et des joints secs ont été ménagés en divers points jusqu'au moment du clavage. La figure 16 montre comment a été faite cette construction dans la voûte en ogive. On l'a d'abord exécutée à pleine épaisseur jusqu'à AB, puis en deux rouleaux suivant l'ordre des chiffres 1, 2, 3... g. On ménageait en a, b, c... i des joints secs maintenus à l'in-

trados par des bandes de plomb de 25<sup>mm</sup> × 15<sup>mm</sup>, à l'extrados par des coins et barrettes en fer. On les matait au mortier de ciment à l'état de terre humide.

Les arcs d'ogive ont une épaisseur de 3<sup>m</sup> 50 aux naissances et de 2<sup>m</sup> 50 à la clef. Ils ont été exécutés en moellons ordinaires appareillés en voûte, sauf la douelle qui a été exécutée en moellons têtus et les bandeaux en moellons smillés à bossages, le tout hourdé

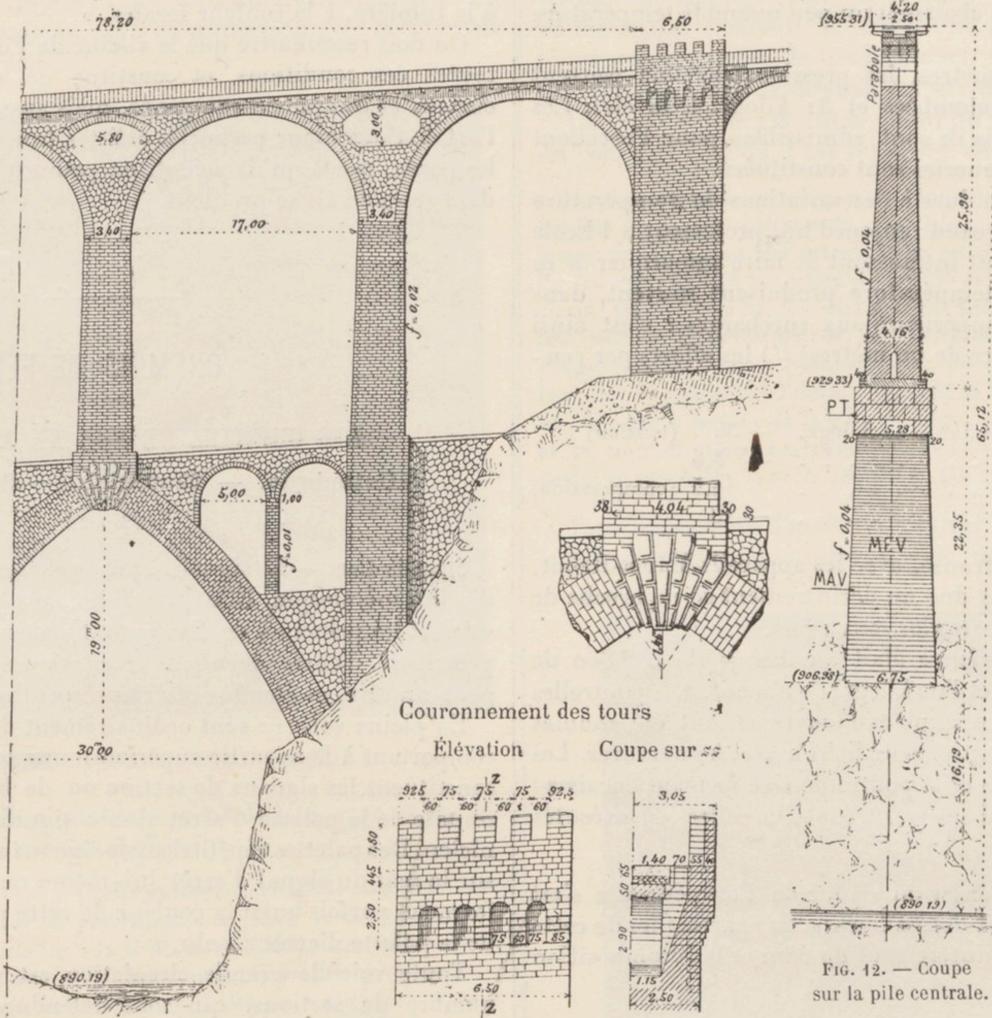


FIG. 11 à 15. — Élévation partielle, coupe sur la pile centrale et détails.

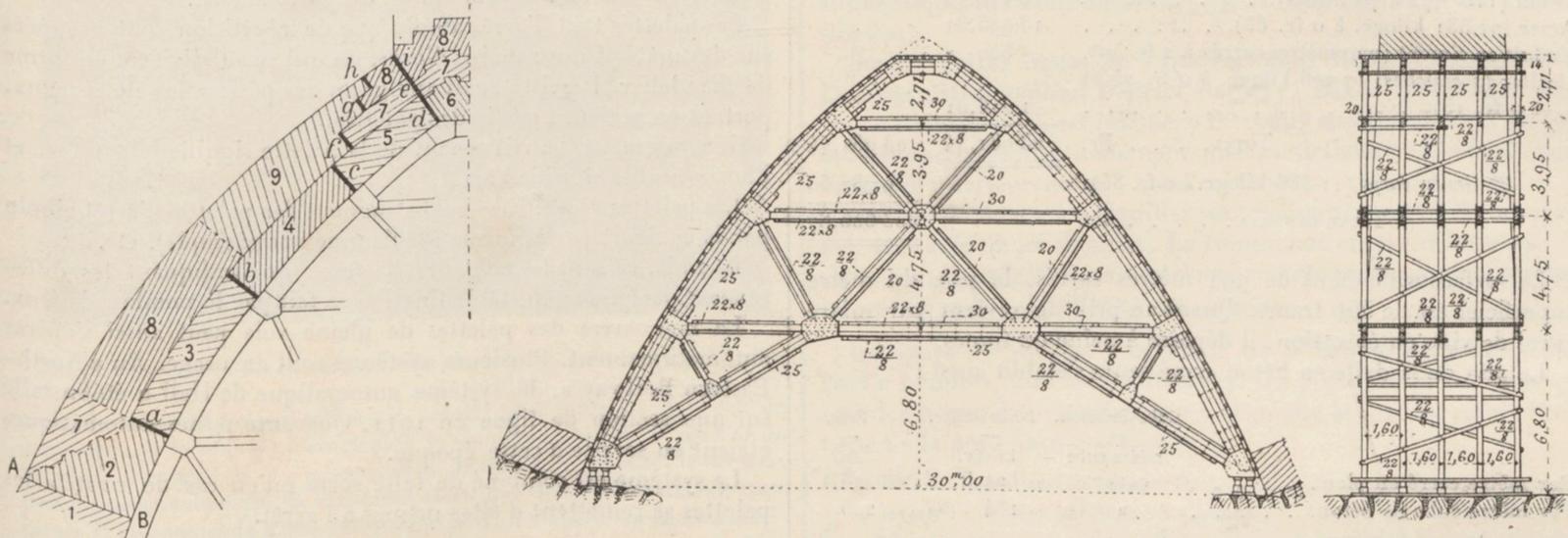


FIG. 16 à 18. — Mode d'exécution des maçonneries de l'ogive et vues des cintres.

se trouve l'ouvrage (950 mètres d'altitude). En outre, un chaînage constitué par deux plats d'acier est établi au-dessous du tablier, dans chacun des murs de tympans, et solidarisé avec ceux-ci par des goujons. Comme le tablier, ce chaînage est continu et solidement ancré aussi dans les culées.

Par sa continuité et son intime liaison à la masse du viaduc, la

avec mortier de chaux du Teil à 300 kilogr. Le cerveau de ladite voûte, sur une hauteur de 4 mètres, a été hourdé au mortier de ciment à prise lente à 600 kilogr. Enfin, les clefs et les contre-clefs ont été faites en pierre de taille.

Au moment du décintrement, les efforts exercés dans la voûte en ogive ont été mesurés au moyen de vingt-quatre appareils Manet-

Rabut. L'effort maximum, dû au décintrement, relevé à la clef a été évalué à 14<sup>kg</sup> 5 par centimètre carré. En service, c'est-à-dire avec la surcharge, les pressions maxima sont évaluées à 12 kilogr. par centimètre carré aux naissances et à 10 kilogr. à la clef à la température du décintrement. Ces chiffres s'élèvent, le premier à 14 kilogr. et le second à 17 kilogr., quand la température monte de 10 degrés, tandis qu'ils s'abaissent un peu quand la température descend.

Dans les voûtes de 17 mètres, les pressions maxima peuvent atteindre 26 kilogr. aux retombées et 31 kilogr. à la clef. Ces chiffres sont très élevés, mais ils sont admissibles pour l'excellent granit avec lequel les maçonneries sont constituées.

Les variations de pression dues à des variations de température ont été calculées par M. Pigeaud, aujourd'hui professeur à l'École des Ponts et Chaussées. Il est intéressant de faire remarquer à ce sujet que les variations de température produisent souvent, dans les voûtes, des efforts très supérieurs aux surcharges : c'est ainsi qu'au pont de Morbegno (arc de 70 mètres) (1) les efforts par centimètre carré sont :

Pour un refroidissement de 34° . . . kilogr.	— 39	(tension)
Surcharge . . . . .	— 8,6	
Sous la charge permanente . . . . .	+ 29,5	(compression)
Efforts résultants . . . . .	— 18	

On a constaté, à Fontpédrouse, avec les appareils Manet-Rabut, que la courbe des pressions due au décintrement se rapproche de l'intrados, à la clef, et de l'extrados, aux reins.

Le béton de la dalle supérieure était au dosage de 0<sup>m</sup> 800 de gravillon, 0<sup>m</sup> 400 de sable et 300 kilogr. de ciment. Les poutrelles de la dalle ont été moulées à pied-d'œuvre et ont été munies d'étriers d'attente devant assurer leur liaison avec les nervures. Les hourdis, avec leurs nervures et la poutre de rive formant encasement du ballast et support du parapet, ont été coffrés et exécutés sur place.

Le montant total des dépenses du viaduc de Fontpédrouse s'est élevé à 553 655 francs. Étant donné le caractère particulier de cette construction, il nous paraît intéressant de donner la décomposition de cette somme :

1° Travaux sous la dalle en béton armé :		
Fouilles . . . . .	Fr.	12 309,62
Remplissage . . . . .		681,29
Maçonnerie à mortier (10 352 mètres cubes) . . . . .	349 611,02	
Chainage des tympans . . . . .		5 308,23
Chapes et gargouilles . . . . .		2 213,54
Cintres . . . . .		26 288,97
Indemnité allouée à l'entrepreneur . . . . .	123 494,16	
TOTAL . . . . .	Fr.	519 986,83
		519 986,83
2° Dalle en béton armé :		
Béton (116 <sup>m</sup> 72 à 70 francs) . . . . .	Fr.	8 170,12
Acier (21 531 kilogr. à 0 fr. 65) . . . . .		13 995,31
Enduit en ciment (220 mètres carrés à 2 fr. 50) . . . . .		550 »
Coaltar (2 couches) (7 296 kilogr. à 0 fr. 25 et et 0 fr. 15) . . . . .		1 216,01
TOTAL . . . . .	Fr.	23 931,44
		23 931,44
3° Garde-corps (11 456 kilogr. à 0 fr. 85) . . . . .		
		9 737,60
TOTAL GÉNÉRAL . . . . .	Fr.	553 655,87

La surface utile étant de 994 mètres carrés, le prix du mètre superficiel est de 556 francs. Quant au prix de revient par mètre carré de vide en élévation, il dépasse à peine 90 francs.

Le prix de la dalle en béton armé seule s'établit ainsi :

	Cube de béton.	Poids de fer.	Prix.
	mètre cube	kilogr.	fr.
Par mètre carré en plan . . . . .	0,117	21,6	24,1
Par mètre cube de béton . . . . .	»	184	205

On voit par les détails que nous venons de donner que le viaduc de Fontpédrouse constitue bien un type nouveau. Malgré le caractère économique que lui donne sa très faible épaisseur, compensée par des encorbellements inusités de la plateforme, cet ouvrage n'en présente pas moins, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, un caractère véritablement artistique. M. Séjourné attache, d'ailleurs, une grande importance à l'aspect architectural des ponts; dans

son traité, signalé plus haut, il n'hésite pas à dire que « les ingénieurs doivent savoir l'architecture » et il formule ainsi les conditions à remplir pour l'architecture des ponts :

« Un pont doit être ou paraître ajusté à son objet, solide, clair, simple, bien exécuté, sans vains ornements. Il doit être adapté, non seulement aux lieux mais au climat, aux monuments voisins, à la lumière, à la couleur locales. »

On doit reconnaître que le viaduc de Fontpédrouse remplit bien toutes ces conditions, et constitue un ouvrage, non seulement curieux et unique en son genre, mais aussi de nature à réhabiliter l'art de l'ingénieur parmi les artistes trop enclins à prétendre que les ponts, quels qu'ils soient, ne peuvent qu'enlaidir les paysages dans lesquels ils se profilent.

A. DUMAS,  
Ingénieur des Arts et Manufactures.

## CHEMINS DE FER

### LES CHEMINS DE FER EN ANGLETERRE

#### Historique. — Matériel. — Fonctionnement.

(Suite 1.)

**Signalisation.** — La signalisation anglaise est, la plupart du temps, d'ordre mécanique. Elle est établie, aux points de concentration, suivant les principes de Saxby et Farmer, dont les remarquables principes d'enclenchements réciproques ont été universalisés, peut-on dire, et étendus ultérieurement aux systèmes électriques.

En pleine voie, ce sont ordinairement des mâts dits sémaphores, comportant à leur partie supérieure une ou plusieurs palettes, qui constituent les signaux de section ou de block. La position horizontale de la palette d'arrêt absolu signifie l'arrêt pour le mécanicien. Des palettes répétitives de signaux subséquents sont montées sur le mât du signal d'arrêt lui-même ou sur un mât séparé. La forme et parfois aussi la couleur de cette palette, la fait distinguer de la palette d'arrêt absolu.

Toute voie de grande circulation est partagée en un certain nombre de sections, qui sont défendues par un signal d'arrêt absolu, conjugué la plupart du temps avec le signal suivant, de façon à bloquer la section, c'est-à-dire à empêcher deux trains roulant dans le même sens de se suivre à une distance inférieure à celle d'une section. C'est le block, que manœuvre un agent à chaque entrée de section, qui réalise l'enclenchement électrique du signal d'amont par le poste d'aval.

Pour empêcher l'erreur matérielle d'un signaliste d'aval, laquelle consisterait à libérer le block d'amont avant que le train n'ait passé devant son poste, on installe, ordinairement, une pédale mécanique ou électrique que le train au passage manœuvre, en permettant dès lors le déblocage du poste amont.

Les palettes tant d'arrêt absolu que de répétition sont groupées sur des mâts plus ou moins élevés, ou qui se subdivisent en forme de chandelier. Il existe aussi aux gares des passerelles de signaux, portant en majeure partie des palettes.

Généralement, l'abaissement de la palette signifie le passage, et l'horizontalité signifie l'arrêt.

Les palettes répétitives se distinguent des palettes d'arrêt absolu par la couleur, par la forme (oriflamme par exemple), etc.

La nuit, ce sont les couleurs des feux, qui indiquent les différences; parfois, aussi, la distinction se fait par le nombre de feux.

La manœuvre des palettes de pleine voie peut aussi s'opérer automatiquement. Plusieurs systèmes sont en usage. Au « North-Eastern Railway », le système automatique de Hall a été installé sur une section de ligne en 1911. Quarante postes automatiques étaient en service à cette époque.

Le système est combiné de telle sorte qu'en cas de « raté » les palettes se remettent d'elles-mêmes à l'arrêt.

La manœuvre automatique des signaux de pleine voie est une nécessité, lorsque l'intensité du trafic est telle que l'intervalle de temps entre deux trains qui se suivent dans le même sens est court; il est actuellement de 1 minute et demie au « Metropolitan District Railway », à Londres, où on a dû avoir recours à ce procédé.

Au « Central London Railway », la signalisation, manœuvrée

(1) Voir ce pont dans le *Génie Civil* du 24 octobre 1903 (t. XLIII, n° 26, p. 409).

(1) Voir le *Génie Civil* du 30 octobre 1915 (t. LXVII, n° 48, p. 273).

# Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangères

| . Le Génie civil : revue générale des industries françaises et étrangères. 1915-11-06.

**1/** Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

- La réutilisation non commerciale de ces contenus ou dans le cadre d'une publication académique ou scientifique est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source des contenus telle que précisée ci-après : « Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France » ou « Source gallica.bnf.fr / BnF ».

- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service ou toute autre réutilisation des contenus générant directement des revenus : publication vendue (à l'exception des ouvrages académiques ou scientifiques), une exposition, une production audiovisuelle, un service ou un produit payant, un support à vocation promotionnelle etc.

[CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE](#)

**2/** Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

**3/** Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

**4/** Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

**5/** Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

**6/** L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

**7/** Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter [utilisation.commerciale@bnf.fr](mailto:utilisation.commerciale@bnf.fr).