

# LE VIADUC DE GARABIT

Par M. L.-E. DEHARME,

INGÉNIEUR DU SERVICE CENTRAL (TRAVAUX) DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI.

(Pl. XV et XVI.)



## I. — PROJET DE L'OUVRAGE.

La ligne de Marvejols à Neussargues, concédée à la Compagnie du Midi et construite par l'État, traverse, à 16 kilom. environ au Sud de St-Flour, à Garabit (département du Cantal), une gorge profonde dans le fond de laquelle coulent les eaux de la Truyère.

Deux affluents de ce cours d'eau : l'Arcomie et le Mongon, y débouchent en face l'un de l'autre par des gorges, dont les pentes permettaient le passage de la voie ferrée à une hauteur comprise dans les limites habituelles de la pratique, mais dont les accidents imposaient la construction d'ouvrages accessoires importants et nombreux, qui devaient entraîner une dépense considérable.

Au-dessus et de part et d'autre de la Truyère, s'étendait un plateau sur lequel le tracé pouvait se développer sans difficulté exceptionnelle et sans dépense anormale. Restait à franchir la large dépression de la Truyère, à plus de 120<sup>m</sup> au-dessus de ce cours d'eau. C'est alors que M. Boyer, Ingénieur des Ponts et Chaussées, chargé de cette partie de la ligne, eut l'heureuse idée d'appliquer la solution hardie, réalisée par M. Eiffel, Constructeur, au Douro, près de Porto, où un bras de mer est franchi par la voie ferrée au moyen d'une arche unique en fer de 160<sup>m</sup> d'ouverture. M. Boyer démontra que le tracé par les plateaux, avec un grand viaduc, à Garabit, serait dans le présent plus économique, comme construction, que celui qui devait emprunter les vallées d'Arcomie et de Mongon, et dans l'avenir, d'une exploitation plus facile. M. Bauby, Ingénieur en Chef, appuya les propositions de M. Boyer, et M. l'Inspecteur Général de Boisanger réussit à les faire approuver par le

Conseil Général des Ponts et Chaussées, le 14 Juin 1879. La décision Mini-  
 stérielle confiait en même temps, par un marché de gré à gré, l'exécution com-  
 plète de cet ouvrage, maçonneries et partie métallique, à M. G. Eiffel et  
 motivait cette résolution dans les termes suivants : « Le type du pont du  
 » Douro étant admis, M. Eiffel qui l'a conçu et exécuté, est évidemment  
 » plus apte que tout autre constructeur à en faire une seconde application en  
 » profitant de l'expérience qu'il a personnellement acquise dans la pre-  
 » mière. »

L'exécution a été entreprise sous la direction de M. Bauby d'abord, puis de  
 M. Lefranc, Ingénieur en Chef qui lui a succédé. M. Boyer, quoique attaché  
 comme adjoint à M. le Directeur des Chemins de fer à Paris, est demeuré  
 chargé des travaux de cet ouvrage.

*Dispositions générales.* — Le viaduc de Garabit est à une seule voie ; il a  
 une longueur totale de : 564<sup>m</sup>,65.

Il se compose d'un grand viaduc métallique prolongé à ses extrémités par  
 des viaducs en maçonnerie formant culées.

Le viaduc en maçonnerie (Côté Marvejols) a une longueur	
de . . . . .	70 <sup>m</sup> ,09
» métallique . . . . .	448, 30
» en maçonnerie (Côté Neussargues) . . . . .	45, 91
En ajoutant les jeux intermédiaires (0 <sup>m</sup> ,25 + 0 <sup>m</sup> ,10) . . . . .	0, 35
	—————
on retrouve . . . . .	564, 65

Le viaduc en maçonnerie du côté de Marvejols comporte 3 arches de  
 15<sup>m</sup> d'ouverture ; celui du côté de Neussargues n'en a qu'une seule de même  
 ouverture.

Le rail se trouve à l'altitude de . . . . .	835 <sup>m</sup> ,50
Les eaux de la Truyère à . . . . .	713, 30
	—————
Différence . . . . .	122, 20 (1)

Le viaduc métallique (Pl. XV, Fig. 1 et 2), se compose d'un tablier à  
 poutres droites dont les extrémités portent sur les culées en maçonnerie

(1) Cette hauteur est environ celle des tours Notre-Dame et de la colonne Vendôme superposées.

et dont les autres appuis sont constitués par des piles métalliques, élevées sur les versants de la vallée et par des palées ou des entretoises, reposant sur une grande arche métallique de 165<sup>m</sup> d'ouverture.

Nous allons décrire successivement chacune des parties constitutives du viaduc métallique.

**1° Tablier supérieur.**

Le tablier supérieur n'est pas continu sur toute sa longueur; il est interrompu au dessus des deux palées de l'arc et se compose en réalité de *trois* tabliers consécutifs :

- 1° Le tablier (côté Marvejols), qui s'étend depuis la culée Marvejols jusqu'à la 1<sup>re</sup> palée de l'arc;
- 2° Le tablier central, compris entre les 2 palées de l'arc;
- 3° Le tablier (côté Neussargues), qui s'étend depuis la 2<sup>e</sup> palée de l'arc jusqu'à la culée Neussargues.

Le tablier (côté Marvejols) est composé de cinq travées, comme suit :

2 travées extrêmes (14 panneaux de 3 <sup>m</sup> ,70 = 51 <sup>m</sup> ,80) soit:	103 <sup>m</sup> ,60
3 travées intermédiaires (15 panneaux de 3 <sup>m</sup> ,70 = 55 <sup>m</sup> ,50)	
soit : . . . . .	166, 50
Un panneau plein sur la culée . . . . .	0, 24
	<hr/>
Total . . . . .	270, 34

Le tablier central est composé de 3 travées égales de 6 panneaux chacune, soit 18 panneaux de 4<sup>m</sup>,1066, ensemble: . . . . . 73<sup>m</sup>,20

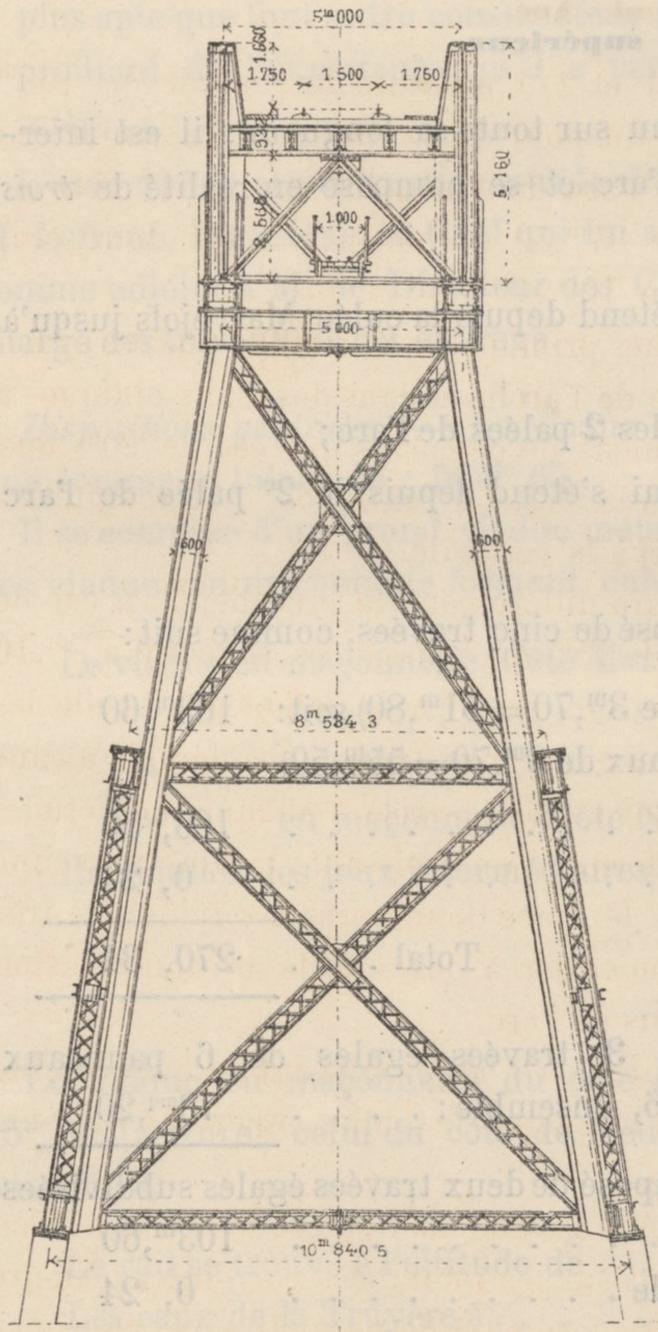
Le tablier (Côté Neussargues) est composé de deux travées égales subdivisées en 14 panneaux de 3 <sup>m</sup> ,70 . . . . .	103 <sup>m</sup> ,60
avec un panneau plein sur la culée, de . . . . .	0, 24
	<hr/>
Total . . . . .	103, 84

Les tabliers extrêmes sont fixés sur les grandes piles formant culées de l'arc et se dilatent librement grâce aux jeux laissés, de 0<sup>m</sup>,25, sur les culées et de 0<sup>m</sup>,10, sur les palées de l'arc.

Quant au tablier central, il est solidaire de l'arc en deux de ses points d'appui, et repose librement sur les palées de l'arc.

*Voie.* — La voie (Fig. 150), est placée intermédiairement entre les semelles inférieure et supérieure de la poutre, et à 1<sup>m</sup>,66 en contrebas de la semelle supérieure.

Fig. 150. — Coupe transversale de l'arc et du tablier, en avant de la palée.



On a voulu, par cette disposition, constituer, de part et d'autre de la voie, deux garde-corps puissants en cas de déraillement. La hauteur des poutres est de 5<sup>m</sup>,16. Elles sont distantes de 5<sup>m</sup>, d'axe en axe. Les membrures inférieure et supérieure sont réunies par un treillis à simples mailles et par des montants verticaux.

Des entretoises porteuses sont placées au droit des montants verticaux. Elles sont supportées en leur milieu par des contrefiches rattachées au pied des montants. Un tirant réunit ceux-ci à leur base; et deux barres obliques croisant les contrefiches complètent l'entretoisement vertical, qui assure la rigidité et l'invariabilité de l'ensemble.

Cinq files de longerons, réunissant les entretoises, portent le platelage métallique qui est composé de fers Zorès de 240<sup>m</sup>/<sub>m</sub> de largeur sur 120<sup>m</sup>/<sub>m</sub> de hauteur, assez résistant pour supporter le poids d'une locomotive en cas de déraillement. Ce plan-

cher presque jointif présente, en outre, l'avantage de contreventer d'une manière parfaite le tablier au niveau de la voie.

Un contreventement inférieur, en fer cornière, complète la rigidité de l'ensemble.

Comme à l'ordinaire, les poutres reposent sur des appuis à charnières, les

uns mobiles, les autres fixes. Les rouleaux en fonte sont élévis en forme de segments, ce qui permet de les rapprocher et d'en augmenter le nombre. L'emploi des appuis à charnières offre cet avantage que la réaction verticale de l'appui passe toujours par l'axe du support, condition obligatoire avec des piles métalliques de grande hauteur.

### 2° Grand Arc.

La grande arche (Pl. XV, Fig. 1 et 2), présente une corde de 165<sup>m</sup> de longueur (soit 5<sup>m</sup> de plus que celle du pont du Douro), la plus grande qui ait encore été réalisée. La flèche de l'arc de l'intrados est de 51<sup>m</sup>,858. — La flèche de l'arc du Douro est de 37<sup>m</sup>,50 seulement; il est donc plus déprimé. L'épaisseur à la clef est de 10<sup>m</sup>.

Cette arche se compose de deux fermes principales en treillis, placées symétriquement par rapport au plan médian de l'arche et dans des plans obliques à ce dernier. De telle sorte que l'écartement de ces plans qui est de 20<sup>m</sup> aux naissances, n'est plus que de 6<sup>m</sup>,2815 à la clef et à l'extrados, d'où résulte un fruit de 0<sup>m</sup>,11088 par mètre par rapport à la verticale.

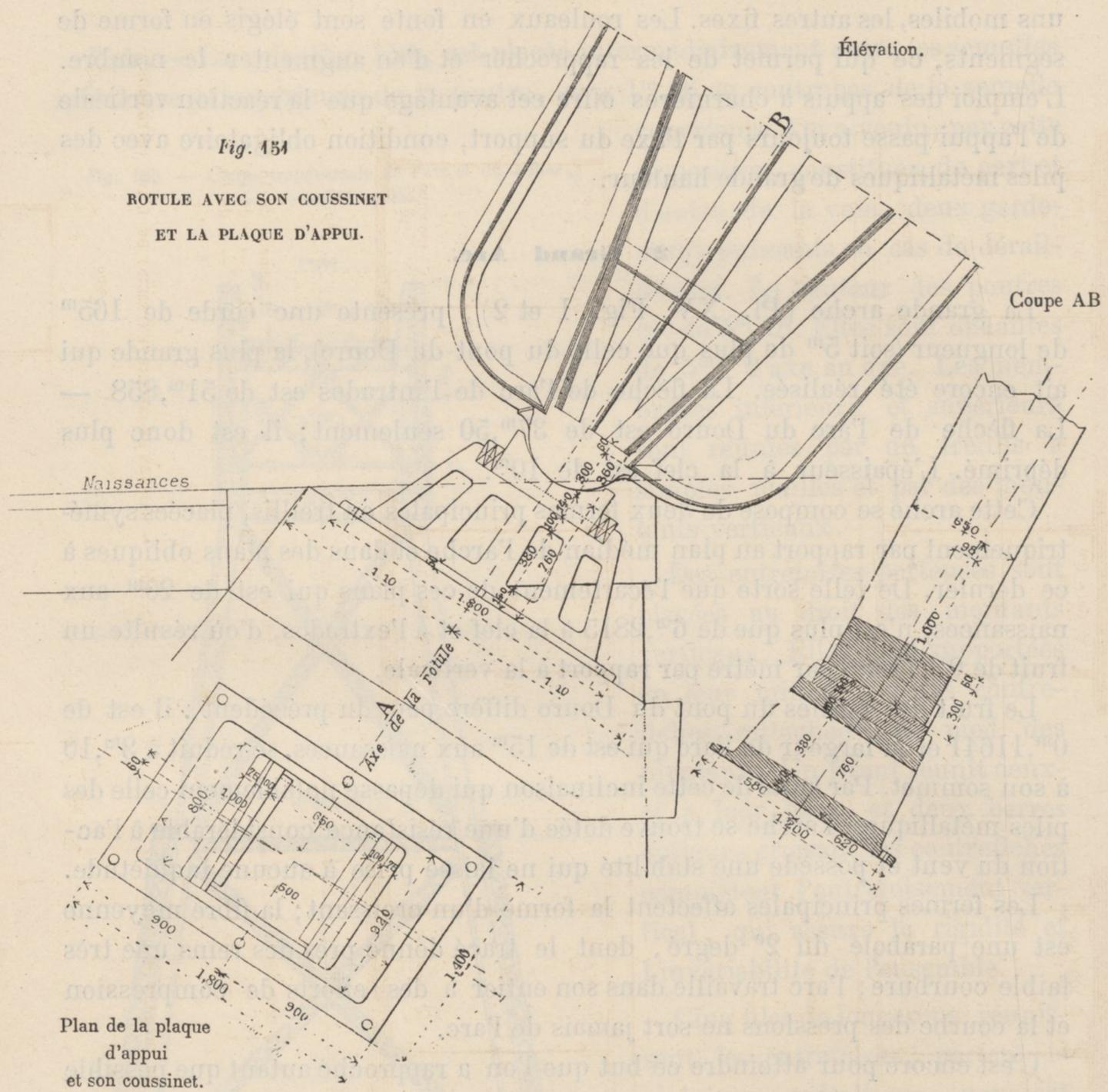
Le fruit des fermes du pont du Douro diffère peu du précédent : il est de 0<sup>m</sup>,11641 et la largeur de l'arc qui est de 15<sup>m</sup> aux naissances, se réduit à 3<sup>m</sup>,10 à son sommet. Par suite de cette inclinaison qui dépasse notablement celle des piles métalliques, l'arche se trouve dotée d'une résistance considérable à l'action du vent et possède une stabilité qui ne laisse prise à aucune inquiétude.

Les fermes principales affectent la forme d'un croissant; la fibre moyenne est une parabole du 2<sup>e</sup> degré, dont le tracé donne près des reins une très faible courbure; l'arc travaille dans son entier à des efforts de compression et la courbe des pressions ne sort jamais de l'arc.

C'est encore pour atteindre ce but que l'on a rapproché autant que possible de la clef les palées intermédiaires par lesquelles le tablier supérieur s'appuie sur l'arc.

Les fermes présentent à la clef une grande hauteur et se terminent en pointe aux naissances, où elles reposent sur les retombées par l'intermédiaire des rotules (Fig. 151). L'avantage de cette forme est de permettre de supprimer les tympanes, dont le rôle difficile à apprécier par le calcul peut varier considérablement par l'effet des dilatations et des déplacements de la surcharge et qui exigeraient l'emploi d'une quantité de métal considérable. Elle a, en outre, l'avantage de lever toute indétermination sur le point de passage de la résultante des forces.

Ces fermes sont composées de membrures d'intrados et d'extrados,



(Pl. XV, Fig. 6), en forme de caissons (Fig. 152), (dont la face intérieure reste ouverte et est croisillonnée). Ces membrures sont réunies par des croix de Saint-André et des montants verticaux, avec panneaux pleins dans le voisinage des rotules. Les montants et les diagonales sont des poutres en treillis, formées de cornières et de fers plats (Fig. 153).

Les fermes sont reliées entr'elles par des entretoises horizontales constituées, comme les précédentes. En outre, dans le plan de ces entretoises et des montants des arcs, se trouve un contreventement vertical.

Des caissons à jour (Fig. 154), formés par des cornières aux arêtes et des

Fig. 152. — MEMBRES DE L'ARC.

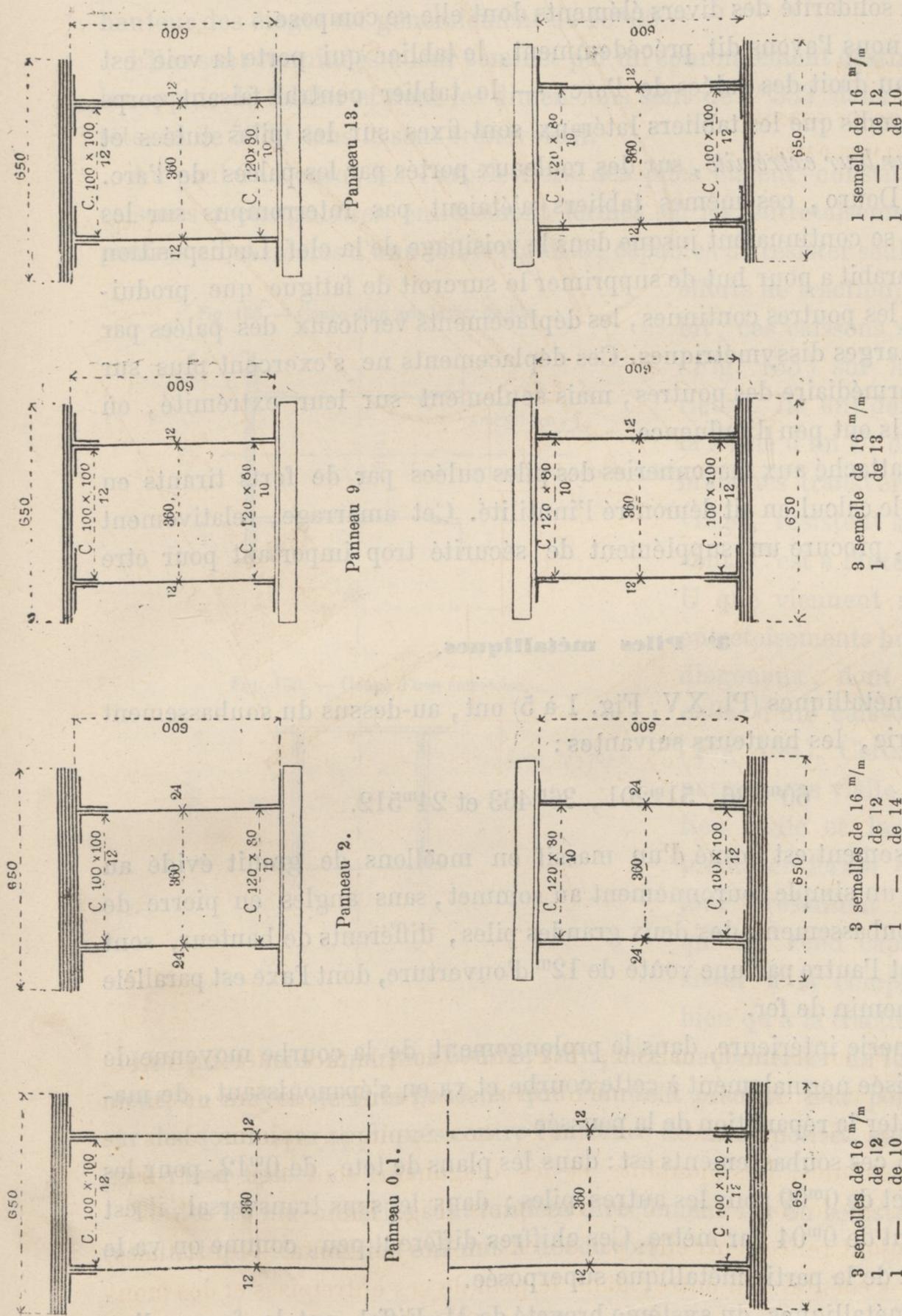
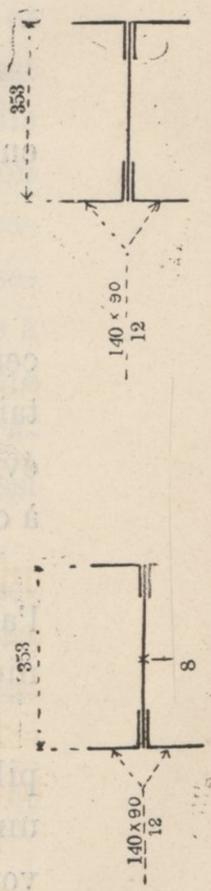


Fig. 153. — BARRES DE TREILLIS DE L'ARC.



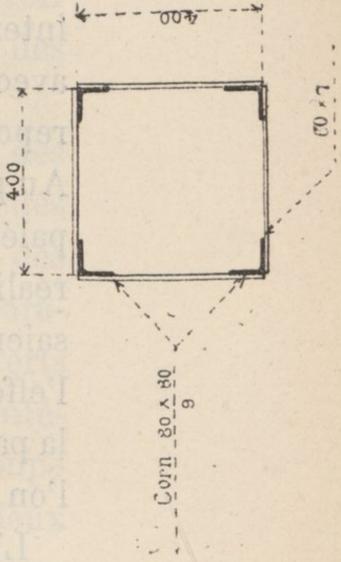
(Ame en treillis de 60 x 7).

Panneau 13.

(Ame pleine de 10).

Panneau 2.

Fig. 154. — CAISSON DE CONTRETEMENT DE L'ARC (INTRADOS).



**1 semelle de 16 m/m**  
 1 — de 12  
 1 — de 10

**3 semelle de 16 m/m**  
 1 — de 13  
 1 — de 10

croisillons sur les faces, sont disposés en croix dans les plans d'intrados et d'extrados; ils complètent l'ossature de l'arche et assurent à la fois sa parfaite rigidité et la solidarité des divers éléments dont elle se compose.

Ainsi que nous l'avons dit précédemment, le tablier qui porte la voie est interrompu au droit des palées de l'arc, — le tablier central faisant corps avec l'arc, tandis que les tabliers latéraux sont fixes sur les piles culées et reposent, *par leur extrémité*, sur des rouleaux portés par les palées de l'arc. Au pont du Douro, ces mêmes tabliers n'étaient pas interrompus sur les palées, mais se continuaient jusque dans le voisinage de la clef. La disposition réalisée à Garabit a pour but de supprimer le surcroît de fatigue que produisaient, dans les poutres continues, les déplacements verticaux des palées par l'effet des charges dissymétriques. Ces déplacements ne s'exercent plus sur la partie intermédiaire des poutres, mais seulement sur leur extrémité, où l'on sait qu'ils ont peu d'influence.

L'arc est rattaché aux maçonneries des piles culées par de forts tirants en fer, quoique le calcul en ait démontré l'inutilité. Cet amarrage, relativement peu coûteux, procure un supplément de sécurité trop important pour être abandonné.

### 3° Piles métalliques.

Les piles métalliques (Pl. XV, Fig. 1 à 5) ont, au-dessus du soubassement en maçonnerie, les hauteurs suivantes :

60<sup>m</sup>736, 51<sup>m</sup>201, 36<sup>m</sup>463 et 24<sup>m</sup>512.

Ce soubassement est formé d'un massif en moëllons de granit évidé au centre, avec un simple couronnement au sommet, sans angles en pierre de taille. Les soubassements des deux grandes piles, différents de hauteur, sont évidés l'un et l'autre par une voûte de 12<sup>m</sup> d'ouverture, dont l'axe est parallèle à celui du chemin de fer.

La maçonnerie intérieure, dans le prolongement de la courbe moyenne de l'arc, est assisée normalement à cette courbe et va en s'épanouissant, de manière à faciliter la répartition de la poussée.

Le fruit de ces soubassements est : dans les plans de tête, de 0<sup>m</sup>12, pour les piles culées et de 0<sup>m</sup>09 pour les autres piles; dans le sens transversal, il est uniformément de 0<sup>m</sup>04 par mètre. Ces chiffres diffèrent peu, comme on va le voir, de ceux de la partie métallique superposée.

Les piles métalliques, du système breveté de M. Eiffel, ont la forme d'un tronc de pyramide à section rectangulaire, dont les arêtes sont inclinées sur

la verticale de 0<sup>m</sup>11088 pour les deux grandes piles et de 0<sup>m</sup>0825 pour les autres, dans le plan des têtes, et de 0<sup>m</sup>0386 dans le sens transversal. La hauteur des étages est généralement de 10<sup>m</sup>00.

Elles sont terminées à leur sommet par un couronnement destiné à recevoir les appuis du tablier et dont les dimensions sont de 2<sup>m</sup>333 dans le plan des têtes et de 5<sup>m</sup>00 dans le sens transversal.

Au pont du Douro, les 4 arbalétriers des piles étaient constitués par des caissons rectangulaires entièrement fermés et les entretoisements par des poutres en cornières d'une faible rigidité, capables de résister seulement à des

Fig. 155. — Coupe d'un arbalétrier de pile.

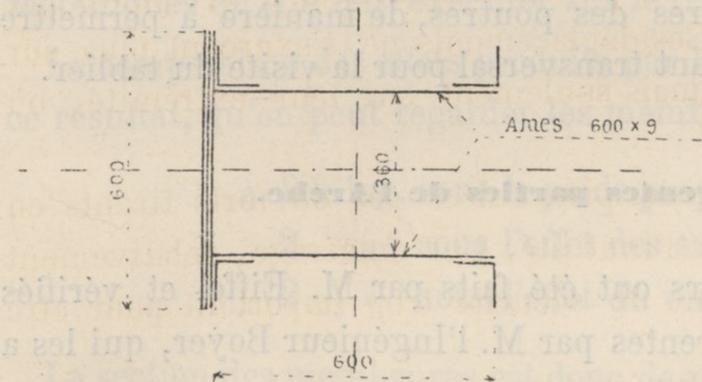
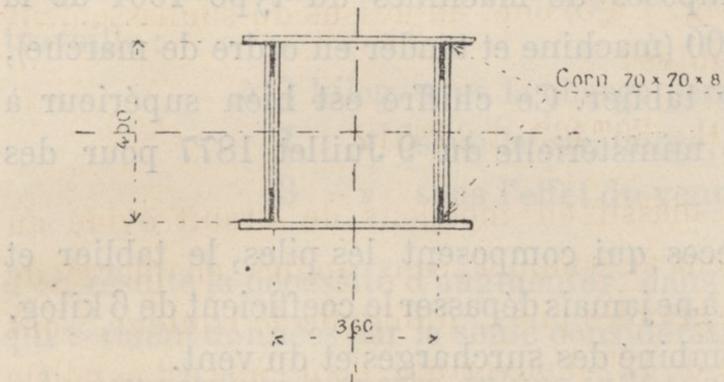


Fig. 156. — Coupe d'une entretoise.



efforts de traction. — A Garabit, ces caissons sont ouverts (Fig. 155) sur la face intérieure. Ils ont donc en coupe la forme d'un U, dont les deux branches transversales à l'ouvrage, résistent à l'action du vent. C'est à l'intérieur de cet U que viennent s'insérer les entretoisements horizontaux et diagonaux, dont la forme est celle d'un caisson à treillis (Fig. 156). Cette disposition permet une visite et un entretien facile et les entretoisements en forme de caissons à jour présentent une rigidité qui les rend capables de résister à la compression aussi bien qu'à la traction.

Les piles sont amarrées comme l'arc, aux maçonneries de leur soubassement, au moyen de forts boulons qui viennent prendre leur point d'attache sur des sommiers appliqués contre l'intrados de deux petites galeries ménagées à leur base.

Toutes les maçonneries sont fondées directement sur du schiste compact et résistant que les fouilles ont mis à découvert.

#### 4° Dispositions diverses.

Nous avons indiqué précédemment quelques unes des dispositions prévues

dans la construction des pièces de l'ossature métallique, pour en faciliter la visite et la réparation. Des moyens d'accès spéciaux ont encore été prévus pour permettre l'approche des parties difficiles.

Des lisses en fer méplat ont été placées contre les poutres à hauteur d'appui, de manière à assurer la circulation sur les trottoirs en bois, latéraux à la voie.

Une passerelle a été ménagée à l'intérieur du tablier métallique (Fig. 150). Elle porte une voie, de 0<sup>m</sup>40 de largeur, sur laquelle pourra circuler un wagonnet.

Des échelles sont prévues au centre de chaque pile.

Des cornières, destinées à fonctionner comme rails, sont placées extérieurement sur les tables inférieures des poutres, de manière à permettre l'installation d'un échafaudage roulant transversal pour la visite du tablier.

#### 5° Calcul des différentes parties de l'Arche.

Les calculs de résistance des fers ont été faits par M. Eiffel et vérifiés ensuite, suivant des méthodes différentes par M. l'Ingénieur Boyer, qui les a trouvés exacts.

La surcharge admise a été déterminée par la condition que les trains d'épreuve seraient entièrement composés de machines du type 1001 de la Compagnie du Midi, pesant 74<sup>r</sup> 800 (machine et tender en ordre de marche), soit 4.800<sup>k</sup> par mètre courant de tablier. Ce chiffre est bien supérieur à 3.800<sup>k</sup>, qui résulte de la circulaire ministérielle du 9 Juillet 1877 pour des travées de 55<sup>m</sup> de portée (1).

Les dimensions des diverses pièces qui composent les piles, le tablier et l'arche ont été calculées de manière à ne jamais dépasser le coefficient de 6 kilog. par millimètre carré, sous l'effet combiné des surcharges et du vent.

L'effort du vent a été supposé de 150 kilog. par mètre carré pendant la circulation des trains et de 270 kilog. en dehors de toute circulation, celle-ci étant évidemment suspendue par un tel vent.

Dans ses calculs, M. Eiffel a admis que le vent agissait d'une manière uniforme sur la surface complète de la paroi qui est orientée du côté où le vent souffle, mais qu'il agit seulement sur la surface des barres du treillis de la seconde paroi. Il a supposé que les surfaces offertes au vent par les panneaux

---

(1) C'est dans la même hypothèse qu'a été calculé le tablier métallique du pont d'Empalot sur la Garonne, à Toulouse, construit également par M. Eiffel.

étaient concentrées sur les montants verticaux qui les limitent et enfin que l'effort supporté par ces montants était partagé également entre l'intrados et l'extrados.

A ces efforts ont été ajoutés ceux que reçoivent les palées et le tablier. Pour le tablier, il a admis, comme pour l'arc, que la première paroi était frappée sur sa surface entière et que la seconde ne l'était que sur le treillis.

Enfin, il a ajouté l'effort produit par le vent sur le train. Celui-ci étant, en partie, protégé par la membrure supérieure de la poutre, cet effort a été évalué comme s'appliquant à  $1^m^2 60$  par mètre courant. Ce chiffre de 1,60 est celui qui a été admis par M. Nordling dans les calculs relatifs aux grands viaducs métalliques qu'il a fait exécuter sur le réseau d'Orléans (1).

La comparaison des effets produits par les charges et par le vent conduit à ce résultat, qu'on peut regarder les membrures de l'arc comme travaillant :

- à 2 kilog. sous le poids propre,
- 2 » sous l'effet des surcharges seules,
- 2 » sous l'effet du vent.

La section des membrures est donc de moitié plus grande qu'elle ne serait si l'action du vent pouvait être négligée.

Quant au treillis de l'arc, on peut dire d'une manière générale, qu'il travaille :

- à 1 kilog. sous la charge permanente,
- 1 » sous la surcharge,
- 3 » sous l'effet du vent seul,

d'où résulte la nécessité d'augmenter, dans le rapport de 5 à 2, les sections qui seraient données par la seule considération des charges.

La température n'exerce qu'une influence très faible sur les efforts dus aux

---

(1) Il est bien certain que les hypothèses admises sont telles qu'elles doivent donner une grande sécurité; cependant nous nous demandons :

1° Si la surface considérée est bien la surface maxima qui puisse être offerte, en toutes circonstances, à l'action du vent. — Peut-être, une direction supposée oblique, plongeante, aurait-elle conduit à admettre une surface plus considérable que celle qui a été prise. Dans ce cas, en effet, la surface du plancher aurait pu être comprise pour une certaine fraction dans les chiffres adoptés. Le vent qui souffle de bas en haut, sous un angle d'environ  $25^\circ$ , est généralement celui qui donne lieu aux plus grands efforts ;

2° Si l'on n'aurait pas dû tenir compte, dans une certaine mesure, de la forme des surfaces exposées au vent. — Au point de vue de la résistance, la forme en **U**, admise pour les poutres en fer composé est la plus favorable ; mais au point de vue de l'action du vent, elle est la plus fâcheuse. Il résulte des expériences du général Didion ( Rapport de M. Ch. Bender à l'Institution of Civil Engineers ) que des cuvettes creuses ont donné des pressions doubles, des cylindres la moitié seulement et certaines surfaces moins du quart de la pression exercée sur une surface plane.

causes qui précèdent. Le maximum, qui a lieu à la clef de l'arc, est seulement de 0<sup>k</sup> 63 par millimètre carré, pour une variation de température de 30°.

M. Boyer a calculé :

1° Les déformations de l'arc sous la charge permanente et sous la surcharge; dans le premier cas, la flèche diminue de 0<sup>m</sup>0167 et, dans le second, de 0<sup>m</sup>03516 ;

2° Les déformations dues à un changement de température de 30°. La flèche peut diminuer de 0<sup>m</sup>05211; d'où il résulte que, sous les actions simultanées de la surcharge et de la température, le sommet de l'arc pourrait s'abaisser de 0<sup>m</sup>08727. Mais il faut remarquer que les piles métalliques voisines subissent des abaissements analogues; dans ces conditions, les déclivités qui pourront se produire n'atteindront pas 1/2 millimètre ;

3° Le déplacement du sommet de l'arc sous l'action du vent sans surcharge; ce déplacement serait de 0<sup>m</sup>024.

## II. — EXÉCUTION DES TRAVAUX.

La marche suivie pour l'exécution des travaux a été la suivante :

Après la construction des maisons et cantines nécessaires au logement des ouvriers, on a élevé un pont de service dont le plancher correspond au niveau de la base du soubassement de la grande pile (côté Marvejols) (Pl. XV, Fig. 1). Ce pont de 4<sup>m</sup>50 de largeur, a 33<sup>m</sup> de hauteur au-dessus des eaux de la Truyère. Il est à quatre étages et construit avec une légèreté et une solidité qui ont été très remarquées. Il a coûté 20.000 francs, ce qui fait ressortir le prix du mètre carré, en élévation, à 6 fr.

La tête de ce pont a été raccordée avec la route nationale par un chemin établi sur le penchant du ravin. Des baraques construites de part et d'autre ont été réunies par un téléphone.

Après ces premières installations, on a procédé à l'exécution des maçonneries sur les deux rives, les culées et les piles des viaducs en maçonnerie étant arrêtées à la hauteur de la plate-forme supérieure des piles métalliques.

Cela fait, on a commencé le montage des fers de la pile N° 1, puis de la pile N° 2, enfin des deux grandes piles-culées de 61<sup>m</sup>20, N°s 4 et 5.

Pendant ce temps, on montait sur la plate-forme des terrassements, préparée par l'État, aux deux extrémités de l'ouvrage, les 2 tabliers latéraux qui,

partant des palées de l'arc, s'étendent jusqu'aux viaducs extrêmes en maçonnerie.

Ces tabliers, une fois achevés, furent lancés et amenés dans la position qu'ils occupent actuellement (fin Avril 1884, Pl. XV, (Fig. 8 et 12 et Pl. XVI) : le tablier (côté Marvejols) est arrêté à la 1<sup>re</sup> pile en maçonnerie ; l'autre extrémité, laissée en porte à faux, dépasse de six panneaux la pile N<sup>o</sup> 4. Le tablier (côté Neussargues) présente également six panneaux en saillie sur la pile N<sup>o</sup> 5 du côté du ravin et repose sur la pile en maçonnerie et sur la culée.

Cela fait, les préparatifs ont commencé pour le levage de l'arche.

Des échafaudages importants ont été construits au devant des soubassements des deux piles culées jusqu'à la hauteur des rotules ; leur partie supérieure était arrasée en pente, de manière à recevoir les membrures d'intrados des panneaux 1 et 2. Au-dessus de ces premières pièces, on a dressé les montants, les croisillons, les entretoises, etc. L'arc a été contrebuté au moyen de contre-fiches interposées entre son extrados (un peu au-dessus des rotules) et la pile contiguë (à la hauteur de son premier étage) et on a soutenu l'avant au moyen de câbles en acier qui s'élèvent jusqu'au sommet de la pile.

Les dispositions prises pour le montage des pièces étaient les suivantes :

1<sup>o</sup> A l'avancement et sur les membrures d'extrados des deux fermes se trouvait placée une pièce horizontale en charpente, qui est la base d'un cadre, analogue à celui des grues roulantes employées dans les gares pour le chargement et le déchargement des pierres de taille, et dont la tête est légèrement inclinée vers le ravin. Deux petites plateformes, situées de part et d'autre de cette bigue et munies de garde-corps, recevaient les ouvriers chargés de la manœuvre des treuils. Les pièces étaient apportées par un wagonnet roulant sur le pont de service en dessous du chantier de pose aérien. Des chaînes passant sur des poulies attachées à la traverse supérieure, en des points variables, les saisissaient et les élevaient à leur position définitive. Cette bigue, fixée par sa base aux membrures de l'extrados et par sa tête aux tabliers supérieurs, était avancée parallèlement à elle-même au fur et à mesure de la pose des panneaux successifs. La saillie donnée à sa traverse de tête lui permettait de soutenir les pièces dont l'arrière venait s'assembler à la partie de l'arche déjà construite.

Des filets tendus sur des cadres en charpente au-dessous des points occupés par les ouvriers assuraient leur sécurité dans les conditions périlleuses où ils travaillaient.

2<sup>o</sup> Au-dessus des deux grandes piles latérales à l'arche centrale ont été élevés

deux pylônes en charpente, dont le sommet soutenait un câble-porteur en acier, franchissant l'espace de 177<sup>m</sup> qui sépare ces piles. Ce câble supportait deux chariots mobiles, servant au montage des pièces de faible poids, pendant que les bigues de l'arc étaient spécialement réservées au levage des lourdes pièces.

Par ces deux moyens combinés, l'arche s'est élevée graduellement, constamment soutenue par les câbles métalliques, dont les dessins (Pl. XV, Fig. 8 à 14 et Pl. XVI) indiquent les positions successives et le nombre de câbles correspondant aux charges à porter.

Le système d'amarrage était constitué, de part et d'autre, de la manière suivante :

1° Des câbles (en nombre croissant de 20 à 24) entre chacune des moitiés de l'arc et le sommet des piles 4 et 5 ;

2° Le tablier latéral ;

3° Des câbles entre le tablier latéral et la partie basse à l'arrière de chacune des culées, au nombre de 28.

Les câbles en acier employés étaient composés d'une âme en chanvre et de 8 torons de 19 fils de 2,4<sup>m</sup>/<sub>m</sub> de diamètre, qui ont tous été essayés individuellement : ils ont résisté à une tension de 125 kilog. et ont pu être pliés et repliés 16 fois sur un même point sans se rompre. Le diamètre est de 43 millimètres ; le poids de 6 k. 5 le mètre courant.

L'attache de ces câbles présentait de grandes difficultés : le système employé a été imaginé par M. Eiffel à l'occasion du pont du Douro ; voici sommairement en quoi il consiste :

Les extrémités de chaque câble s'engagent à l'intérieur d'un support en fer forgé, dans lequel on a ménagé un trou conique ; les fils de l'extrémité du câble sont épanouis le long de la paroi du trou conique, et on les maintient dans cette position au moyen d'un second cône creux, que l'on introduit dans l'axe du premier et contre la paroi intérieure duquel on replie les abouts des fils ; un alliage fusible est coulé entre les deux cônes et à l'intérieur du second, de manière à solidariser le tout et à constituer une tête de câble extrêmement puissante et qu'il est très facile d'appuyer sur des sommiers en fer spécialement disposés. Ces sommiers sont installés en travers du tablier et reçoivent toutes les têtes d'un même jeu de câbles. Des cales et un vérin hydraulique, muni d'un manomètre à cadran, permettent d'établir, de mesurer et de régler convenablement le serrage des divers câbles. Les sommiers dont nous venons de parler prennent leur point d'appui dans l'axe de la grande pile et en dessus de la membrure supérieure du tablier, pour les deux premières positions des

câbles, et sur des panneaux pleins établis provisoirement entre les membrures inférieure et supérieure des poutres du tablier pour la dernière position.

Les deux extrémités d'un même câble sont toujours juxtaposées sur le tablier; et le câble tourne autour de la membrure de l'arc, ou sur les sommiers d'arrêt en arrière des culées, en s'appliquant sur un 1/2 cylindre en fonte, ou selle, de 0<sup>m</sup>60 de diamètre, qui évite toute fatigue anormale du câble.

Il faut bien le remarquer : un lançage ordinaire de tablier rectiligne exige du soin, des précautions; mais c'est aujourd'hui un travail courant, et nous n'avons pas cru qu'il fût nécessaire de nous y arrêter dans ce qui précède. Mais tout autre est le levage d'une arche de 165<sup>m</sup> d'ouverture comme celle de Garabit, où le montage s'est opéré en avançant *dans le vide*, à l'extrémité d'attaches non rigides, cédant à leur élasticité, obéissant, — câbles d'amont et d'aval, tablier interposé, arc lui-même, — aux influences atmosphériques et surtout aux changements de température, exigeant une exécution première irréprochable, une surveillance constante, un réglage spécial tous les deux ou trois jours pendant plusieurs mois.

Et malgré ces difficultés, M. Eiffel et ses coopérateurs sont arrivés à effectuer le clavage sans retouche. C'est un succès qui leur fait le plus grand honneur.

Les Américains sont renommés par leur hardiesse en fait de travaux publics; il ne nous mesie pas de pouvoir citer un ouvrage qui le dispute aux plus audacieux qu'ils aient établis, soit comme conception, soit comme réalisation.

### III. — DÉPENSES.

Les dépenses sont évaluées comme il suit :

Maçonneries des viaducs aux abords.....	390.032 <sup>fr.</sup> 59
» des soubassements des piles ordinaires.....	84.992 12
» des piles et culées de l'arche.....	204.700 14
	<hr/>
Total.....	679.724 85
Somme à valoir.....	70.275 15
	<hr/>
Total pour la maçonnerie.....	750.000 <sup>fr.</sup> 00
	<hr/> <hr/>

Fers et tôles pour le tablier et les piles , au prix de 0 <sup>fr.</sup> 61 .....	1.189.500 <sup>fr.</sup> »
» pour l'arche , au prix de 0 <sup>fr.</sup> 91 .....	1.046.500 »
Fonte moulée au prix de 0 <sup>fr.</sup> 45.....	4.500 »
Fonte tournée ou rabotée , au prix de 0 <sup>fr.</sup> 55 .....	19.437 »
Acier fondu.....	5.000 »
Plomb .....	1.200 »
	<hr/>
Total.....	2.266.137 <sup>fr.</sup> »
Somme à valoir .....	83.863 »
	<hr/>
Total pour la partie en métal .....	2.350.000 <sup>fr.</sup> »
	<hr/> <hr/>

Soit , en récapitulant :

Travaux à l'entreprise.....	2.945.861 <sup>fr.</sup> 85
Somme à valoir .....	154.138 15
	<hr/>
Total général.....	3.100.000 <sup>fr.</sup> »
	<hr/> <hr/>

Le prix moyen du mètre courant ressort :

Pour le viaduc entier, à.....	5.595 <sup>fr.</sup> »
Pour la partie du viaduc avec tablier, à.....	5.703 »

Le clavage de la grande arche a été opéré le 26 Avril dernier. Il restait, à cette époque, à monter les deux petites piles sur les reins de la grande arche, à prolonger les tabliers latéraux et à construire le tablier central ; l'on admettait qu'il faudrait deux mois 1/2 environ , pour que ce grand ouvrage fût complètement terminé. Dès à présent le succès est définitivement acquis.

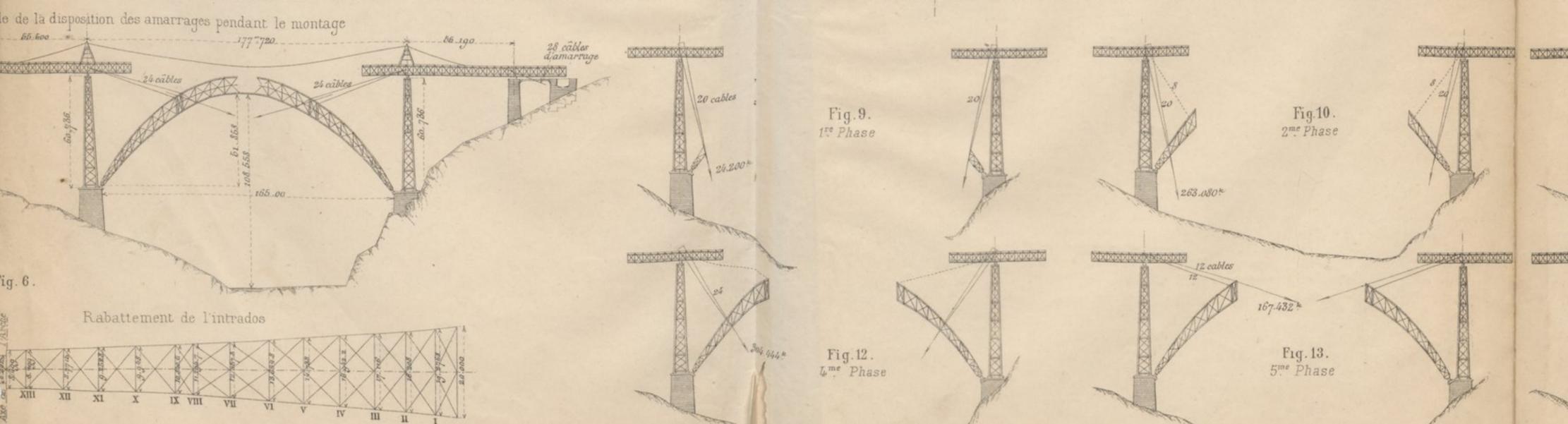
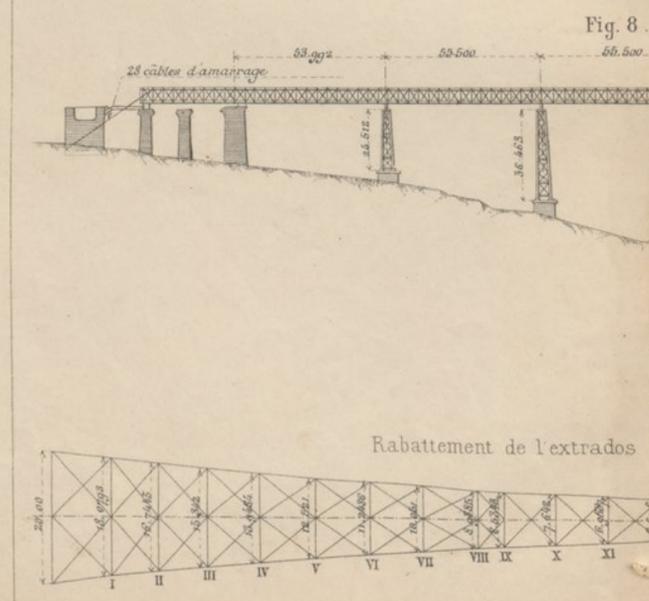
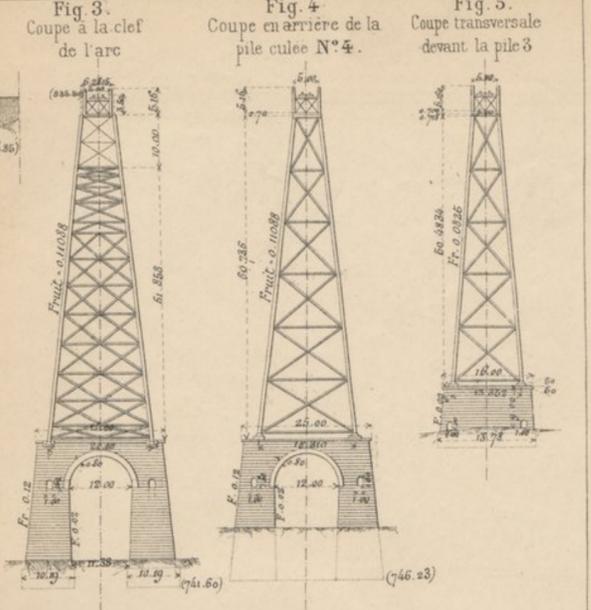
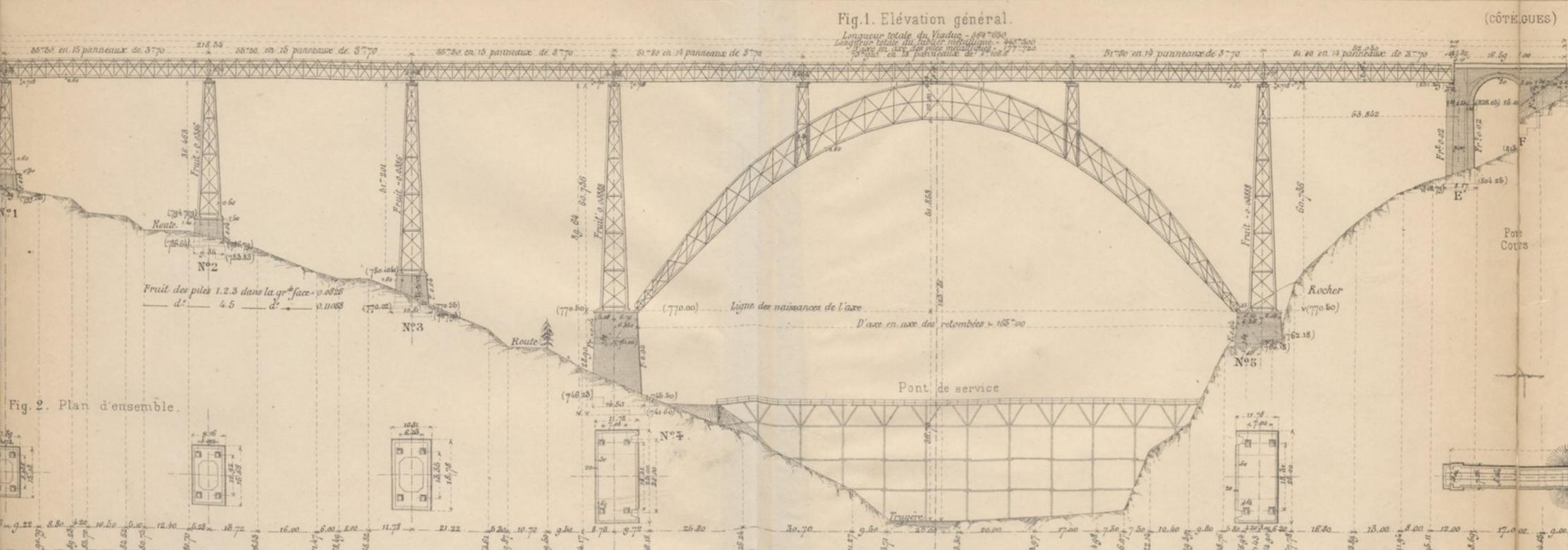
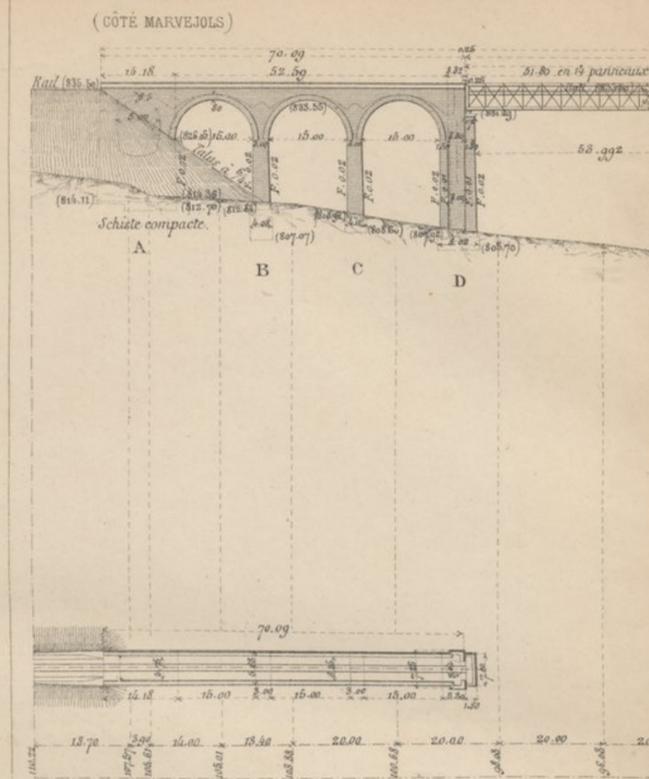
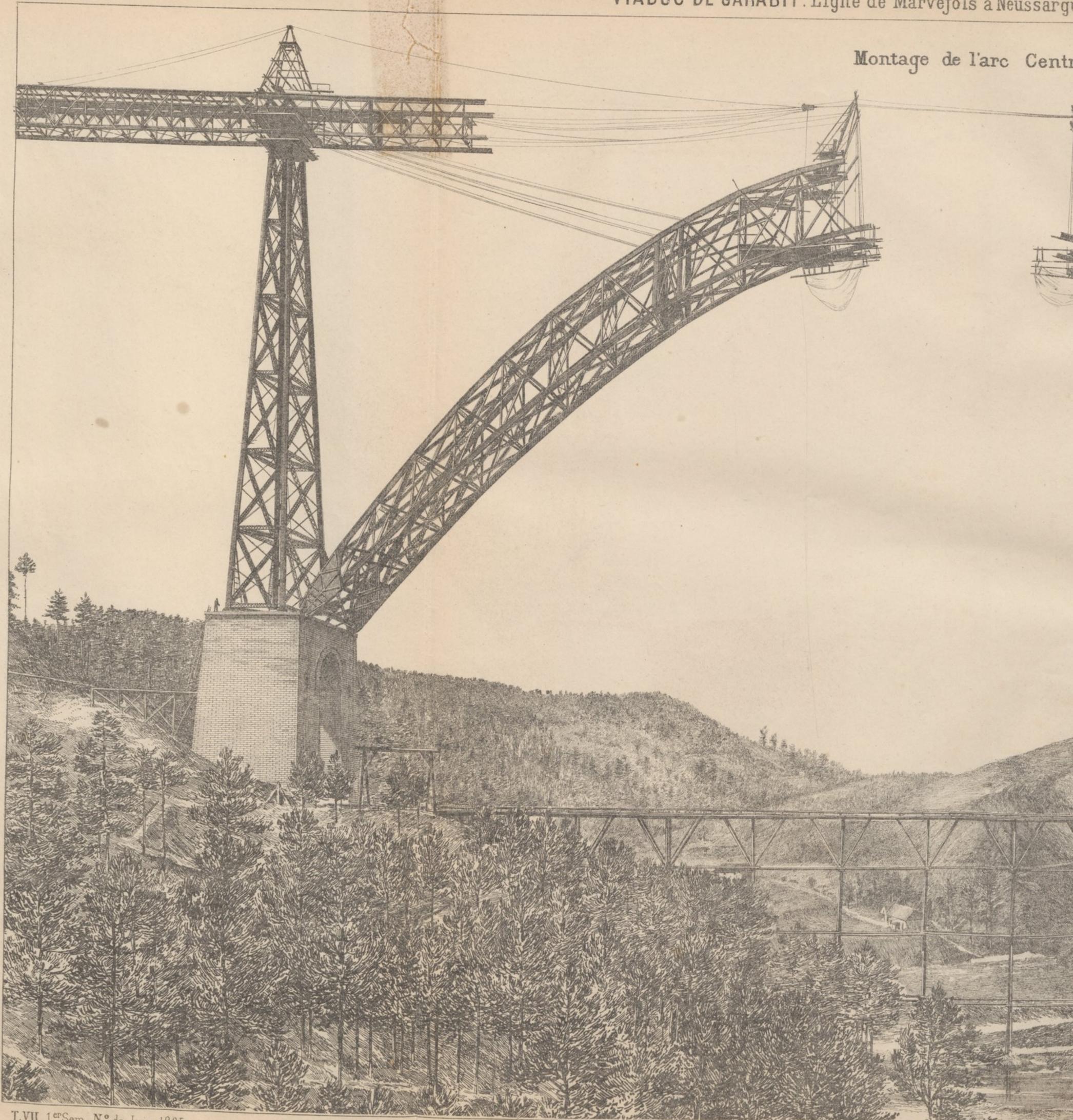


Fig. 9 à 14. Diagrammes des différentes phases du montage de l'arc.

Montage de l'arc Central



Montage de l'arc Central

