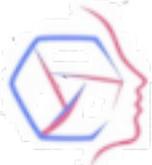


L'ordre du jour appelle la communication de M. Eiffel.

M. G. EIFFEL donne lecture d'un mémoire sur le viaduc métallique de Garabit.

Ce viaduc, dont la construction vient d'être commencée, est situé sur la ligne de Marvéjols à Neussargues, qui est établie par les ingénieurs de l'État, MM. Bauby, ingénieur en chef des ponts et chaussées et, Boyer, ingénieur ordinaire. Le nouveau et remarquable tracé de cette ligne, proposé par M. Boyer, traverse, dans les environs de Saint-Flour, département du Cantal, la profonde vallée de la Trueyre à une hauteur de 122 m. 50 au-dessus de l'étiage de la rivière. La largeur de la vallée est d'environ 550 mètres.

Cette traversée exigeait un ouvrage tout à fait exceptionnel pour l'étude duquel l'administration, ayant en vue l'emploi d'un grand arc analogue à celui du pont du Douro, à Porto, s'adressa à M. Eiffel constructeur de ce pont.



Le projet définitif de la partie métallique qu'il présenta aux ingénieurs fut, sur la proposition de M. l'Inspecteur général de Boisanger, adopté sans modification, en juin dernier, par le conseil général des ponts et chaussées, qui lui en confia l'exécution, tant comme maçonnerie que comme partie métallique, sans recourir à la voie de l'adjudication.

Le choix du système adopté résulte de la préoccupation que l'on a eue de ne pas notablement dépasser la hauteur des piles métalliques actuellement réalisées en France. Un excès de hauteur peut en effet n'être pas sans inconvénient et donner lieu, sous l'influence des vents violents, à des oscillations qui, pour un tablier d'une grande longueur, peuvent être dangereuses. — On s'est limité, pour le viaduc de Garabit, à une hauteur de 80 mètres environ, dont 62 mètres pour la partie métallique sous le tablier et 18 mètres pour le soubassement en maçonnerie.

Les piles étant ainsi obligées de remonter le long des flancs de la vallée, on a été conduit à les placer à une distance de 177 m. 72 d'axe en axe, et à disposer dans l'intervalle un grand arc de 165 mètres de corde et de 65 mètres de flèche moyenne. Cette ouverture dépasse un peu celle de l'arc du Douro qui est de 160 mètres, laquelle est la plus grande qui ait encore été réalisée.

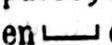
Ce grand arc offre quatre appuis au tablier droit supérieur qui porte la voie, dont deux appuis dans le voisinage de la clef et deux autres sur des palées intermédiaires spéciales.

Le reste du viaduc ne présente rien de particulier et comprend 5 travées de 55 m. 50 reposant sur des piles métalliques. Le complément de la longueur est formé par des viaducs en maçonnerie qui en constituent les abords.

En présence de la difficulté que présentait le problème du passage d'une voie ferrée à une hauteur au-dessus de la vallée qui dépasse de 40 mètres environ les plus grandes hauteurs connues, la disposition adoptée avait l'avantage de ne pas présenter de solutions complètement nouvelles ; mais au contraire de grouper des solutions dont chacune a déjà reçu la sanction de l'expérience.

Néanmoins, l'emploi de ces éléments a reçu, dans l'étude nouvelle, des améliorations d'une grande importance, dont voici les principales :

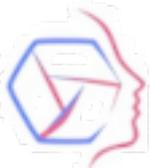
1° — *Dispositions nouvelles employées dans les piles métalliques.*

Au pont du Douro, les quatre arbalétriers des piles étaient constitués par des caissons rectangulaires complètement fermés, réunis par des entretoisements en cornière d'une faible rigidité et destinés seulement à résister à des efforts de traction. — Dans le projet actuel, les grandes faces des piles, c'est-à-dire celles qui sont transversales au tablier et qui résistent à l'action du vent, sont constituées comme des poutres rigides à double paroi ; les arbalétriers ne comportant plus que trois faces formant une coupe en  dans l'intérieur de laquelle viennent s'insérer les entretoisements horizontaux et diagonaux, dont la forme générale est celle d'un caisson en

treillis. L'entretien pile ; de toisement et la rigidité efforts l :

La v cela se partie muraie voie e ce qui nétra diain du t :

F que le C' de q n



treillis. L'avantage de cette disposition est de permettre une visite et un entretien faciles de toutes les parties tant intérieures qu'extérieures de la pile; de plus, la forme en caisson donnée aux barres de treillis des entretoisements ne leur permet pas de flamber sous les efforts de compression, et la rigidité de la pile est considérablement augmentée par rapport aux efforts latéraux du vent.

2° — *Position de la voie dans le tablier supérieur.*

La voie au lieu d'être placée à la partie supérieure des poutres, ainsi que cela se fait d'habitude dans les viaducs de ce genre, est placée dans la partie intermédiaire, de sorte que les poutres principales forment une solide muraille capable de maintenir les véhicules, au cas où ils sortiraient de la voie et où ils tendraient à être projetés par le vent en dehors de celle-ci, ce qui n'est pas sans exemple. Le plancher métallique en fers Zorès, impénétrable aux locomotives, placé sous la voie, forme, dans la partie intermédiaire, une sorte de paroi pleine horizontale donnant à toutes les parties du tablier une grande rigidité transversale.

3° — *Forme parabolique donnée à l'arc et rapprochement des palées intermédiaires vers la clef.*

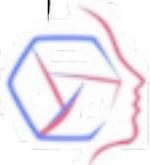
Pour que l'arc travaille dans son entier à des efforts de compression, et que la courbe des pressions ne sorte jamais de l'arc, il est nécessaire que le tracé de la fibre moyenne se rapproche le plus possible de cette courbe. C'est ce qui a fait adopter pour fibre moyenne une parabole du 2^e degré, de manière à avoir près des reins une très faible courbure, et c'est aussi ce qui a conduit à rapprocher autant que possible de la clef, les palées intermédiaires par lesquelles le tablier supérieur s'appuie sur l'arc.

4° — *Courbure des tabliers horizontaux au droit des palées de l'arc.*

Cette disposition a pour but de supprimer les inconvénients que produisaient sur les poutres droites, les déplacements des palées par l'effet des charges roulantes. Ces déplacements s'exercent en effet à l'extrémité des poutres, au lieu de s'exercer sur leur partie intermédiaire.

5° — *Liaison du tablier central avec l'arc et les palées.*

La faible distance qui sépare les palées a permis de les attacher au tablier central, de sorte que celui-ci, les deux palées et la clef de l'arc forment un tout qui se trouve en quelque sorte solidifié, grâce à la raideur empruntée au tablier droit qui arme cette clef. Cette disposition doit donner à l'arc une très grande rigidité, et il peut être assimilé, dans son ensemble, à une poutre armée formant une clef à peu près indéformable liée à deux contrefiches



constituant des supports à peu près rectilignes, peu susceptibles eux-mêmes de déformation.

Dimensions principales.

Les principales dimensions de cet ouvrage sont les suivantes :

Longueur totale du viaduc.	552 ^m ,77
Longueur totale de la partie métallique.	448,30

Comprenant :

Le tablier Marvéjols (2 travées de 51 ^m ,80 et 3 de 55 ^m ,50). . .	270,44
Le tablier central entre les deux palées de l'arc (3 travées égales de 24 ^m ,64).	73,92
Le tablier Neussargues (2 travées égales de 51 ^m ,80).	103,94

La poutre droite, à treillis simple à croix de Saint-André, a une hauteur de 5^m,46. La voie est placée à 1^m,66 au-dessous des semelles supérieures.

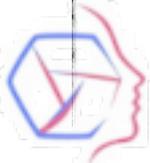
Les grandes piles voisines de l'arc sont à six étages et ont une hauteur de partie métallique de 61^m,46. Leur largeur à la base est de 15 mètres et au sommet de 5 mètres, soit un fruit de 0^m,082 par mètre. Dans le sens de la petite face parallèle au tablier, la largeur à la base est de 7 mètres et au sommet de 2^m,33.

La grande arche présente une corde de 165 mètres de longueur. La flèche d'intrados est de 60 mètres et la hauteur à la clef de 40 mètres. Elle se compose de deux fermes principales en treillis, placées symétriquement, par rapport au plan médian de l'arche, dans des plans obliques à ce dernier; il en résulte que leur écartement, qui est de 20 mètres aux naissances, va en diminuant à mesure qu'on se rapproche de la clef, où il n'est plus que de 6^m,25 mesuré à l'extrados. Le fruit des plans des fermes est de 0^m,089 par mètre, par rapport à la verticale. Cette disposition a pour effet de donner une grande stabilité à l'arche et de lui permettre de résister à l'effort de vents violents.

Les fermes principales affectent la forme d'un croissant dont la fibre moyenne est une parabole; elles présentent une grande hauteur à la clef et se terminent en pointe à chaque naissance, où elles s'appuient sur les retombées par l'intermédiaire de rotules.

Calcul des différentes parties de l'ouvrage.

Tout l'ouvrage a été calculé pour un travail de 6 kilogrammes, sous l'effet combiné des charges et du vent. Celui-ci a été supposé de 150 kilogrammes par mètre carré pendant la circulation des trains, et de 270 kilogrammes en dehors de toute circulation, laquelle serait impossible sous un tel vent. L'action de la température, très faible du reste, n'a pas été ajoutée à l'effet du vent.



Les calculs relatifs aux poussées et aux coefficients de travail, sous l'effet des charges, ne présentent rien de particulier. Ceux, au contraire, relatifs au vent sont tout autres que ceux appliqués par nous au Douro et déjà publiés. Nous avons serré ces calculs de beaucoup plus près et nous avons cherché à obtenir la plus grande rigueur théorique possible. L'étude des déformations de l'arc est également nouvelle; nous l'avons établie par les procédés de la statique graphique, de manière à éviter les cubatures de volumes assez laborieuses, auxquelles on était conduit dans la première méthode, et à les remplacer par le simple tracé de lignes, qui donnent immédiatement la vraie grandeur de toutes les déformations.

En comparant l'influence respective des charges et du vent sur les coefficients de travail, on arrive à ce résultat remarquable que, d'une manière générale, on peut regarder pratiquement les membrures de l'arc comme travaillant :

- A 2 kilogrammes sous le poids propre,
- 2 — sous l'effet des surcharges seules,
- 2 — sous l'effet du vent.

La considération du vent augmente donc de moitié la section des membrures calculées avec la seule considération des surcharges.

Pour le treillis de l'arc, on peut également dire, d'une manière générale, qu'il travaille :

- A 1 kilogramme sous la charge permanente,
- 1 — sous la surcharge,
- A 3 kilogrammes sous l'effet du vent seul.

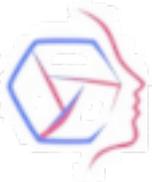
C'est donc surtout sur le treillis que le vent a une grande influence, et sa considération oblige à augmenter dans le rapport de 5 à 2 les sections qui résultent des charges seules.

Poids et prix de l'ouvrage.

Le poids total de cet ouvrage s'élèvera à 3,200 tonnes environ et son prix, toutes maçonneries comprises, est évalué à 3,100,000 francs; ce qui donne par mètre courant de viaduc 5,595 francs, et environ 80 francs par mètre superficiel en élévation.

M. DALLOT demande quels sont les efforts développés par la température sur le grand arc.

M. EIFFEL répond que, dans les arcs très surélevés, ces efforts sont faibles. Le maximum qui a lieu à la clef est, pour l'arc de Garabit, de 0^k,63 par mètre carré pour une variation de température de 30 degrés. Il ajoute à cette occasion, que M. le professeur Weyrauch, dont l'autorité est considérable en Allemagne, a publié il y a quelque temps, dans le *Zeitschrift für Baukunde*, un article très intéressant et très complet sur le pont du Douro. Comme le mémoire qu'il a eu sous les yeux ne mentionne pas les effets de la température, M. le professeur Weyrauch suppose à



— 370 —

tort « que cela ne peut provenir que de l'ignorance des publications étrangères. » Il est juste cependant d'ajouter qu'il parle très élogieusement de cet ouvrage qui, suivant son opinion, est grandiose, solide, peu cher et beau. Il termine en constatant : « que l'ingénieur français a du goût et sait calculer. »

M. LE PRÉSIDENT remercie M. Eiffel de son intéressante communication. Il ajoute que le projet de cet ouvrage d'art gigantesque fait le plus grand honneur à M. Eiffel et au génie civil. L'accueil que ce projet a reçu du ministère et du conseil des ponts et chaussées est des plus honorables pour son auteur.