

[Annales des ponts et  
chaussées. 1ère partie.  
Mémoires et documents  
relatifs à l'art des  
constructions et au service  
de [...]

[Annales des ponts et chaussées. 1ère partie. Mémoires et documents relatifs à l'art des constructions et au service de l'ingénieur]. 1897-1964.

**1/** Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres 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 est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.

- 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.

[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 [utilisationcommerciale@bnf.fr](mailto:utilisationcommerciale@bnf.fr).

**COMMENT, AUJOURD'HUI,  
ON PROJETTE ET ON CONSTRUIT  
LES GRANDES VOUTES EN MAÇONNERIE (1)**

Par M. SÉJOURNÉ,

Membre de l'Institut, Inspecteur général des Ponts et Chaussées,  
Professeur à l'École Nationale des Ponts et Chaussées

---

I. — STATISTIQUE DES VOÛTES DE 40 MÈTRES ET AU-DESSUS.

A — NÉCESSITÉ DE CETTE STATISTIQUE

Il y a quelque 2.000 ans qu'on fait des voûtes ; il n'y a guère que 50 ans qu'on les calcule. La plupart ont donc été construites par routine, d'après les voûtes faites.

L'ingénieur qui a construit de grandes voûtes s'est d'abord servi de l'expérience des autres, — puis de la sienne : il a commencé par copier. Puisqu'il y a, dans l'art des ponts une telle part d'expérience, il lui faut une statistique des grandes voûtes.

Je l'ai tentée pour celles de 40 mètres et plus (2) : celles-là, on peut les compter ; au-dessous, il y en a trop.

(1) Cette étude m'a été demandée par la Direction de l'École des Ponts et Chaussées, vers la fin de 1930. Mais, six mois plus tôt, le *Génie Civil* me l'avait demandée pour le numéro de son Cinquantenaire ; elle y a paru, en novembre, sous ce titre : *Progrès, depuis 50 ans, dans l'art de projeter et d'exécuter de grandes voûtes en maçonnerie*, pages 193 à 198.

Je n'ai pu, — et je m'en excuse, — traiter le même sujet en termes très différents.

(2) *Grandes voûtes*, 6 vol. in-4°, Tardy, éditeur, 15, rue Joyeuse, Bourges (Cher).

B. — VOÛTES NON ARTICULÉES.

Tableau T<sub>1</sub>. — Voûtes non articulées ≥ 40 m. en moellons d'appareil ou béton non armé. — Nombre et Portées.

Voûtes en 2 ou 3 anneaux portant un tablier en béton armé	Voûtes pleines entre les têtes	Portées, mètres	Portées, mètres											Noms et situation des ponts ayant les plus grandes voûtes.		
			40-49		50-59		60-69		70-79		80-89		≥ 90		Totaux	
			Ouvrages	Voûtes	Ouvrages	Voûtes	Ouvrages	Voûtes	Ouvrages	Voûtes	Ouvrages	Voûtes	Ouvrages			Voûtes
Ponts à une seule grande arche (C <sup>1</sup> E <sup>1</sup> A <sup>1</sup> )	Plein cintre C	8	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	11	La Roizonne (Isère) (1912-15), 79 m. 45.
Ponts à plusieurs grandes arches (C <sup>n</sup> E <sup>n</sup> A <sup>n</sup> )	Anse de panier ou ellipse E	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	5	Perolles (Suisse) (1912-22), 56 m.
Ellipses surbaissées E <sup>h</sup>	surbaissées	9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	11	11	Annibal et le Diable (Italie) (1868-72), 55 m
Sort, pour les arcs A, σ le rapport de la montée à la portée On a distingué :	surhaussées	10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	10	Valence sur le Rhône (1901-05), 49 m. 20.
les arcs peu surbaissés $\sigma \geq \frac{1}{2\sqrt{3}} = 0,288$ symbole A	peu surbaissés	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Wiesen (Suisse) (1906-09), 55 m.
les arcs assez surbaissés $0,288 > \sigma > \frac{1}{7} = 0,143$ symbole A <sub>b</sub>	Arc	21	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	33	33	Plauen (Saxe) (1903-05), 90 m.
les arcs très surbaissés $\sigma < \frac{1}{7}$ symbole A <sub>bb</sub>	assez surbaissé	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	Victoria (Angleterre) (1836-38), 48 m 68.
	A	20	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	36	36	Montanges (Ain) (1908-09), 80 m 29.
	très surbaissé	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Vieux Château, à Vérone (Italie) (1354-56), 48 m 70
		9	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	11	11	Neuhammer (Allemagne) (1905), 52 m.
		9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10	Krappitz (Allemagne) (1905), 50 m.
		36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Rabastens (Tarn) (1924), 54 m. 80.
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Hôtel-Dieu sur le Rhône à Lyon (1912-16), 49 m.
		7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	7	7	Amidonniers Toulouse (1904-10), 46 m.
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	Rocky-River (F. U.) (1908-10), 85 m 344
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	Luxembourg (1899-03), 84 m 65.
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	Villeneuve-sur-Lot (Lot-et-Gar.), (1914-16), 96 m. 25.
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	Martins' Creek E. U. (1913), 45 m. 72.
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	Latah Creek E. U. (1911-13), 45 m. 72.
		97	155	22	29	10	10	4	7	7	2	2	2	142	207	

Aux tableaux  $T_1$  et  $T_2$  :

On n'a compté que les voûtes en moellons ou en béton, sans aucune armature.

On n'a fait état :

ni des voûtes tombées (Trezzo : 72 mètres, 1370-77, ruinée en 1416 ; Vieille-Brioude : 54 m. 26, 1454, tombée en 1822).

ni des voûtes en béton armé, même très légèrement. C'est ainsi que, à mon très vif regret, je n'ai cité ni le pont sur l'Elorn de M. Freyssinet, ni même celui des Usses, de M. Caquot, pourtant bien peu armé.

Avant 1880, il y avait 44 voûtes  $\geq 40$  mètres, dont deux seulement de plus de 60 mètres. Après 1880, il y en a 221, dont 42 de plus de 60 mètres et, parmi elles, une de 90 mètres en moellons (Plauen) et les anneaux en béton de Villeneuve-sur-Lot (96 m. 25).

#### C. — VOÛTES ARTICULÉES (toutes après 1880)

##### C'. — *Indication de Dupuit (1870).*

Il y a 60 ans, Dupuit écrivait (1) :

*...on peut... ramener la pression au centre du joint (de rupture) par une disposition qui consisterait à remplacer, du côté de l'intrados, le prolongement du joint par une ligne faisant avec celui-ci un angle très obtus raccordé par une courbe sur laquelle roulerait la voûte au décintrement ; si cette partie du joint n'était garnie que d'étoupe, on déterminerait ainsi un point de passage obligé de la courbe de pression et qui la placerait comme on voudrait par rapport à l'intrados ; on pourrait faire quelque chose d'analogue à la clef. Il n'y aurait plus alors rien d'indéterminé dans le tracé de la courbe de pression.....*

*La voûte étant ainsi construite, la rotation au moment du décintrement se ferait nécessairement autour du point de contact... Il*

(1) *Traité de l'équilibre des voûtes et de la construction des ponts en maçonnerie*, par J. DUPUIT, inspecteur général des Ponts et Chaussées, Paris, Dunod, éditeur, 1870 (p. 195 à 197).

*est évident que les deux pierres en contact seraient dans des conditions bien plus favorables à la résistance que dans le système de la pose ordinaire...D'ailleurs,... rien n'empêcherait de prendre pour ces deux rangs de voussoirs des pierres d'une qualité excessivement dure... Remarquons même que la pose de ces deux voussoirs de chaque côté de la voûte, ayant pour résultat de faire passer la courbe de pression par le milieu de tous les autres, permettrait d'employer pour ceux-ci des matériaux moins résistants que ceux qu'on s'impose aujourd'hui dans l'indécision où on se trouve pour le passage de la courbe de pression...*

*Il n'est pas sans exemple,... dans les constructions publiques, de voir des pierres supportant des charges énormes ; dans les ponts métalliques, les poutres ou les arcs reposent sur les pierres des culées et des piles ; ... les portes gigantesques des écluses à la mer, les ponts tournants, reposent sur des pivots qui transmettent leur pression à des pierres de taille. Ces pierres résistent parfaitement aux pressions considérables qui leur sont transmises, parce que ces pressions ont lieu seulement sur la partie centrale de leur surface. On pourrait d'ailleurs augmenter cette résistance en intercalant au point de contact des plaques de fonte encastrées dans les deux voussoirs, de manière que la surface métallique remplacerait celle de la pierre...*

Ainsi, Dupuit a très formellement prévu la réduction de surface des appuis, la triple articulation roulante, les sommiers en pierre dure, en fonte, etc...

De cette idée française, on a, en France, peu ou mal parlé ; on ne l'y applique point.

Mais, en Allemagne, on l'a fort bien accueillie · depuis quelque 50 ans, on y articule des voûtes.

Dans les voûtes articulées, on est sûr des efforts : on y peut faire plus et mieux travailler les matériaux. Plus souples, elles se prêtent, sans fissures, à des mouvements qui troublent les autres.

Il convient, vraiment, d'articuler les voûtes dont les appuis peuvent reculer, s'enfoncer inégalement, et souvent aussi,

C". — TABLEAU T<sub>2</sub>.

Voûtes articulées  $\geq 40$  m. en moellons d'appareil ou béton non armé. — Nombre et portées.

Pour le sens des symboles, voir plus haut Tableau T <sub>1</sub>	Portées, mètres														Noms et situation des ponts ayant les plus grandes voûtes.	
	40-49		50-59		60-69		70-79		80-89		$\geq 90$		Totaux			
	Ouvrages	Voûtes	Ouvrages	Voûtes	Ouvrages	Voûtes	Ouvrages	Voûtes	Ouvrages	Voûtes	Ouvrages	Voûtes	Ouvrages	Voûtes		
sur plomb	3	3	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	3	3	Marbach (Wurtemberg) (1886-87), 43 m. 50.
	2	4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2	4	
à genou	»	»	1	1	»	»	1	1	»	»	»	»	»	2	2	Morbegno (Italie), (1902-03), 70 m.
	1	2	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	2	Coulouvrenière sur le Rhône, Genève (1895-96), 40 m
roulantes	»	»	»	»	1	2	»	»	»	»	»	»	»	1	2	Kempten (Bavière) (1906), 64 m 50
	1	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	1	Gräveneck (Prusse) (1911-12), 48 m.
	2	2	1	1	3	3	»	»	»	»	»	»	6	6	Wallstrasse. Ulm (Wurtemberg) (1904-05), 65 m	
	8	18	1	2	3	3	»	»	»	»	»	»	12	23	Cannstatt (Wurtemberg) (1911-14), 61 m. 60.	
tournantes	»	»	»	»	1	9	»	»	»	»	»	»	»	1	9	Renory (Belgique) (1926-28), 61 m. 40.
	2	2	1	1	2	2	»	»	»	»	»	»	5	5	Prince Régent, à Munich (1900-01), 62 m. 40	
Totaux . . .	10	32	4	5	10	19	1	1	»	»	»	»	34	57		



— à peine de fissures graves, — les grandes voûtes plates en béton.

Au tableau T<sub>2</sub> on a inscrit 57 voûtes, dont 42 en béton : 19 dépassent 60 mètres, une a 70 mètres.

C<sup>'''</sup>. — *Pont sur la Meuse, à Renory (Belgique), 1928 (Fig. 1).*

Il a été construit par les Chemins de fer belges : 10 arches en plein cintre, dont 9 de 61 m. 40. Les voûtes sont en béton non armé, à trois articulations tournantes en acier moulé ; le béton a été

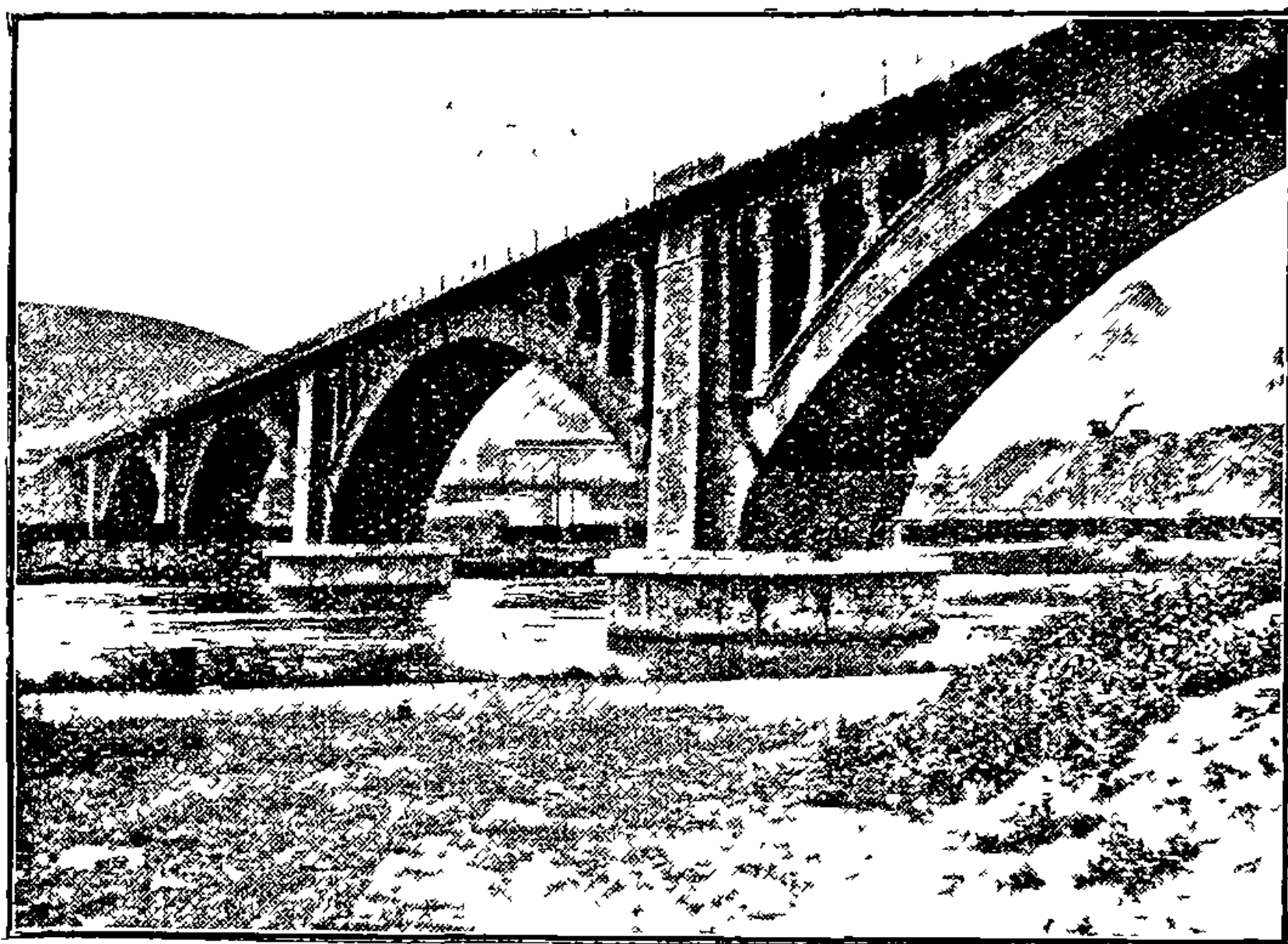


Fig. 1. — Viaduc de Renory, sur la Meuse (Belgique).

coulé sur toute la largeur et l'épaisseur, en gros voussoirs séparés par des joints de 0 m. 06, matés plus tard au refus, au mortier sec de ciment.

Comme à Villeneuve-sur-Lot, le béton est à 350 kilos de ciment par mètre cube de gravier ; on y a ajouté 0 m<sup>3</sup> 125 de sable du Rhin.



## II. — COMMENT ON A CALCULÉ LES EFFORTS DANS UNE GRANDE VOÛTE.

On la suppose arc élastique, en acceptant deux hypothèses :

1<sup>o</sup> Celle de Hooke « *ut tensio, sic vis* ». L'allongement ou le raccourcissement est proportionnel à l'effort : ce rapport, constant pour un même corps, est son « coefficient d'élasticité ».

2<sup>o</sup> Celle de Navier : une section transversale reste plane après flexion.

Or, ici, ces deux hypothèses sont fausses.

De nombreux essais de laboratoire établissent que, pour chaque « matériau » de voûte (moellon, mortier, béton), le coefficient d'élasticité varie avec l'effort ; il varie entre deux pierres de même carrière et de même préparation, entre deux briques de même fournée, entre deux bétons de même composition et de même âge.

Il n'est pas le même à la compression et à la flexion.

La proportion de mortier, la nature et la taille des voussoirs sont différentes dans les bandeaux, la douelle et le queutage ; dans sa section transversale, la voûte est hétérogène ; il est impossible de déduire du coefficient d'élasticité de chaque « matériau » d'une voûte, le coefficient d'élasticité moyen de la voûte.

On exécute les grandes voûtes par rouleaux, par tronçons, avec clavages matés, sur des cintres qui se déforment : même homogènes comme matériaux, faites, elles ne le seraient plus.

Enfin, on ne peut pas calculer de même une voûte en matériaux bien réguliers, à joints minces, et une voûte en béton, masse homogène sans joints.

Voilà bien des objections à l'application aux voûtes des formules de déformation : il faudrait là des observations nombreuses et continues. Je n'en sais pas.

Comment, depuis sa pose sur le cintre, s'accroît jusqu'au décintrement, puis jusqu'à l'achèvement de l'ouvrage, le tra-

vail d'un voussoir ; comment il varie ensuite avec les surcharges, la température, le soleil, l'imbibition ; comment, en un mot, à un moment quelconque, travaille chaque point d'une voûte, — tout cela, nous ne le savons pas beaucoup mieux que les ingénieurs de Trajan.

Il y a plus de 2.000 ans qu'on fait des voûtes, et l'on n'a pas encore un appareil simple, pratique, sûr, à mettre en toutes mains, permettant à toute époque de mesurer le travail, non pour de courtes périodes : décintrement, passage d'un train (ces instruments-là, on les a), mais après des années.

Si on avait un « baromètre » enregistrant continuellement les pressions en chaque point d'une voûte, on n'imaginerait plus, on saurait.

Les essais sur des voûtes n'ont pas justifié l'application des formules de déformation.

Pour les voûtes, on s'est de tout temps beaucoup trop pressé d'édifier des théories. On a tout d'abord raisonné au lieu de regarder, — calculé au lieu de mesurer. On a couru de suite à des hypothèses permettant le calcul, — comme si l'on pouvait trouver quelque chose en dehors de l'expérience.

Les voûtes faites de matériaux élastiques sont certainement élastiques, mais non comme l'entend la Résistance des Matériaux . leur élasticité n'est pas si simple.

Cependant, avec cette hypothèse, on a calculé nombre de grandes voûtes, dont quelques-unes minces, et qui ont tenu, — des viaducs à arches de 25 mètres, extrêmement hardis et qui tiennent.

Donc, bien que les voûtes ne soient pas des solides homogènes, élastiques au sens de la Résistance des Matériaux ;

que le coefficient d'élasticité y varie d'un point à l'autre, c'est-à-dire qu'à proprement parler il n'y en ait pas, et que les déformations n'y soient pas proportionnelles à la pression ;

que les mouvements du cintre, les matages, y bouleversent les courbes de pression ;

il faut provisoirement continuer à les supposer telles.

On n'a pas, en ce moment, pour le calcul des voûtes, de meilleure hypothèse que l'hypothèse élastique.

Tout compte fait, acceptons-la donc, non parce qu'elle est vraie, mais parce que des voûtes minces, ainsi calculées, tiennent.

Mais ne l'acceptons que très provisoirement, « sous bénéfice d'inventaire expérimental », c'est-à-dire jusqu'à ce que de nouveaux essais établissent d'autres formules qui s'ajustent mieux aux faits.

### III. — PONTS LARGES. — PLANCHER SUR DEUX ANNEAUX MINCES (APRÈS 1900).

Un pont est uniquement fait pour les surcharges mobiles qui passeront dessus. Il ne travaille utilement que du fait de ces surcharges. Il faut donc que le travail de ses matériaux soit produit surtout par elles, et non par le poids mort. Il faut, ensuite, qu'en chaque point ce travail total soit le maximum que permettent la résistance des pierres à l'écrasement, leur préparation (c'est-à-dire la taille des lits et joints), le mortier employé (chaux ou ciment).

Or, dans les grands ponts en pierre, on ne peut remplir ni l'une ni l'autre de ces deux conditions.

Les charges roulantes, c'est-à-dire, encore une fois, celles en vue desquelles le pont est uniquement fait, comptent très peu. Les voûtes, les piles ne travaillent guère qu'à se porter elles-mêmes.

En réduisant les épaisseurs, on n'augmente pas à son gré les pressions dans les voûtes. Le travail n'y dépasse 40 k. que dans les très grandes voûtes : il est de 69 k. à Plauen (arc de 90 m. au 1/5), dans les conditions les plus défavorables de surcharge et de température.

Pour faire travailler une voûte aux limites qu'elle peut supporter, il faut en réduire la largeur en plaçant la voie sur un plancher porté par deux minces anneaux.

Au lieu d'une voûte continue AB, construisons deux ouvrages indépendants AC, DB, et jetons sur le vide CD un plancher EH en béton armé ou en métal (fig. 2).

On augmente très sensiblement la part de la surcharge dans le travail total.

En concentrant les charges sur des voûtes de largeur réduite, on y augmente, à volonté, le travail par unité.

Une charge au milieu est portée, non par un anneau de voûte de grande ouverture, mais par un plancher léger de petite portée. Le plancher transporte toutes les charges verticales sur les

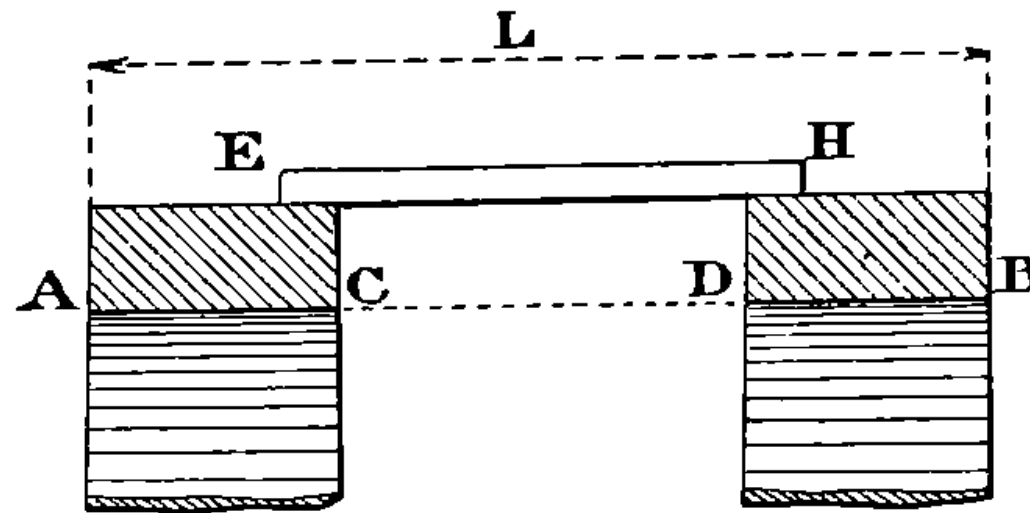


Fig 2 — Construction d'un pont en deux anneaux minces.

anneaux de tête ; ceux-ci les transforment en poussées et les conduisent aux culées extrêmes qui les absorbent. Les poussées ne sont plus dispersées sur toute la largeur du pont : elles sont concentrées sur celle des anneaux

On supprime tous les matériaux mal utilisés de l'intervalle ; on les remplace par un plancher qui, lui, travaille partout au maximum permis.

On supprime, en particulier, les matériaux de voûte, qui sont chers. On supprime le cintre, dont le prix augmente avec le carré de la portée.

Les deux ouvrages étant indépendants, peuvent être fondés à des niveaux différents, avantage sensible si le rocher se rencontre ainsi, — tandis que, pour une arche unique, il faut un appui continu, sans ressaut.

S'il y a des mouvements inégaux à chaque tête (tassement, dilatation), il n'y a pas de tendance à fissures, les voûtes étant indépendantes. La deuxième voûte peut être faite sur le cintre de la première, transporté ou réemployé : on a, très facilement, ripé de très grands cintres. Il n'y a en béton armé, en métal, etc... que le plancher qui, seul, travaille à la flexion, partie accessoire, facile à réparer.

Les autres parties qui, toutes, travaillent à la compression, les essentielles : fondations, piles, culées, voûtes, sont en maçonnerie.

Cette très économique disposition a été appliquée, pour la première fois, au pont Adolphe à Luxembourg : 16 m. entre parapets, — deux anneaux de 5 m. 25 écartés de 6 m., — de 84 m. 65 de portée (fig. 3).

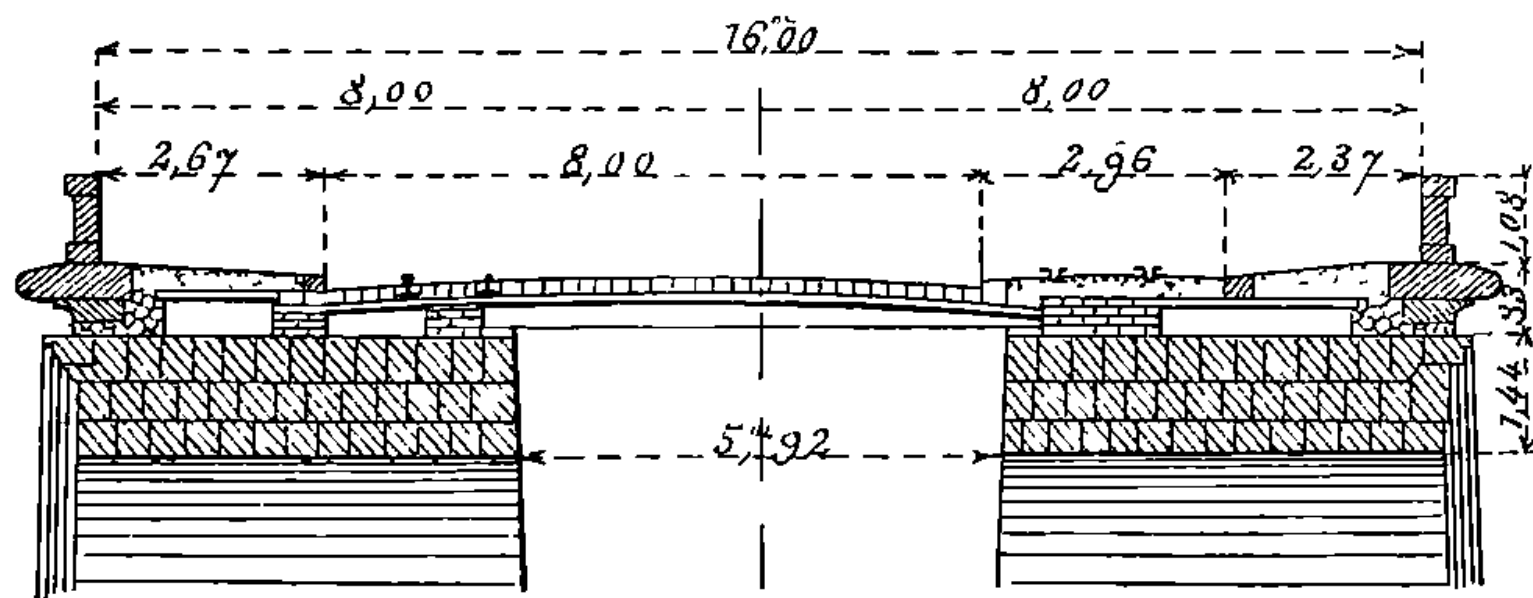


Fig 3. — Coupe à la clef du pont Adolphe à Luxembourg.

A Toulouse, au pont des Amidonniers, on a fait mieux.

Les nervures prolongées du plancher sous chaussée débordent les tympans et portent les garde-corps et les trottoirs. Cet auvent en porte-à-faux fait comme un encastrement à l'appui des nervures et soulage leur milieu (fig. 4).

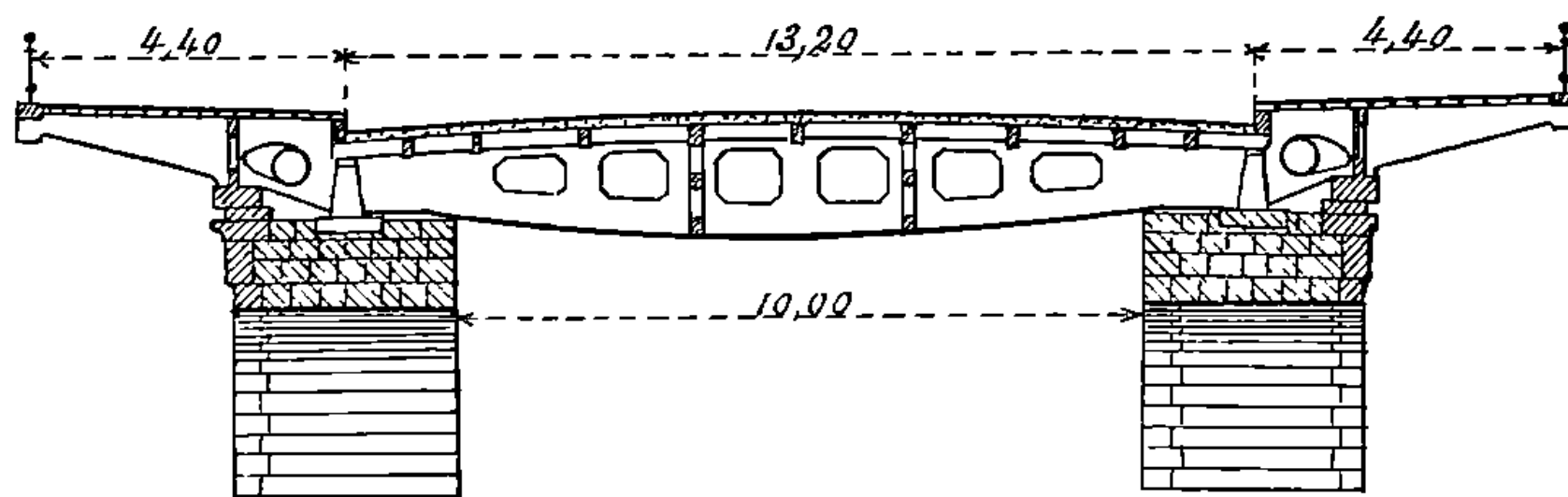


Fig 4. — Coupe du tablier du pont des Amidonniers

On a ainsi donné à la circulation une largeur disponible de 22 m. sur deux anneaux ayant ensemble 6 m. 50.

Ce système a été appliqué : à Constantine, aux trois ponts américains de Walnut Lane, Rocky River et Monroe Street à Spokane qui sont, vraiment, une réplique de Luxembourg ;

à quelques autres : Ponts de Romans, de Rabastens. Il méritait de l'être plus souvent.

IV. — COMMENT, DANS DEUX CAS PARTICULIERS, ON A ADAPTÉ L'OUVRAGE AU TERRAIN.

A. — *Pont en courbe de Scarassoui (Nice-Coni).*

Dans les ouvrages en courbe, les voûtes sont d'ordinaire en berceau sur plan rectangulaire. L'ouvrage est ainsi élargi de

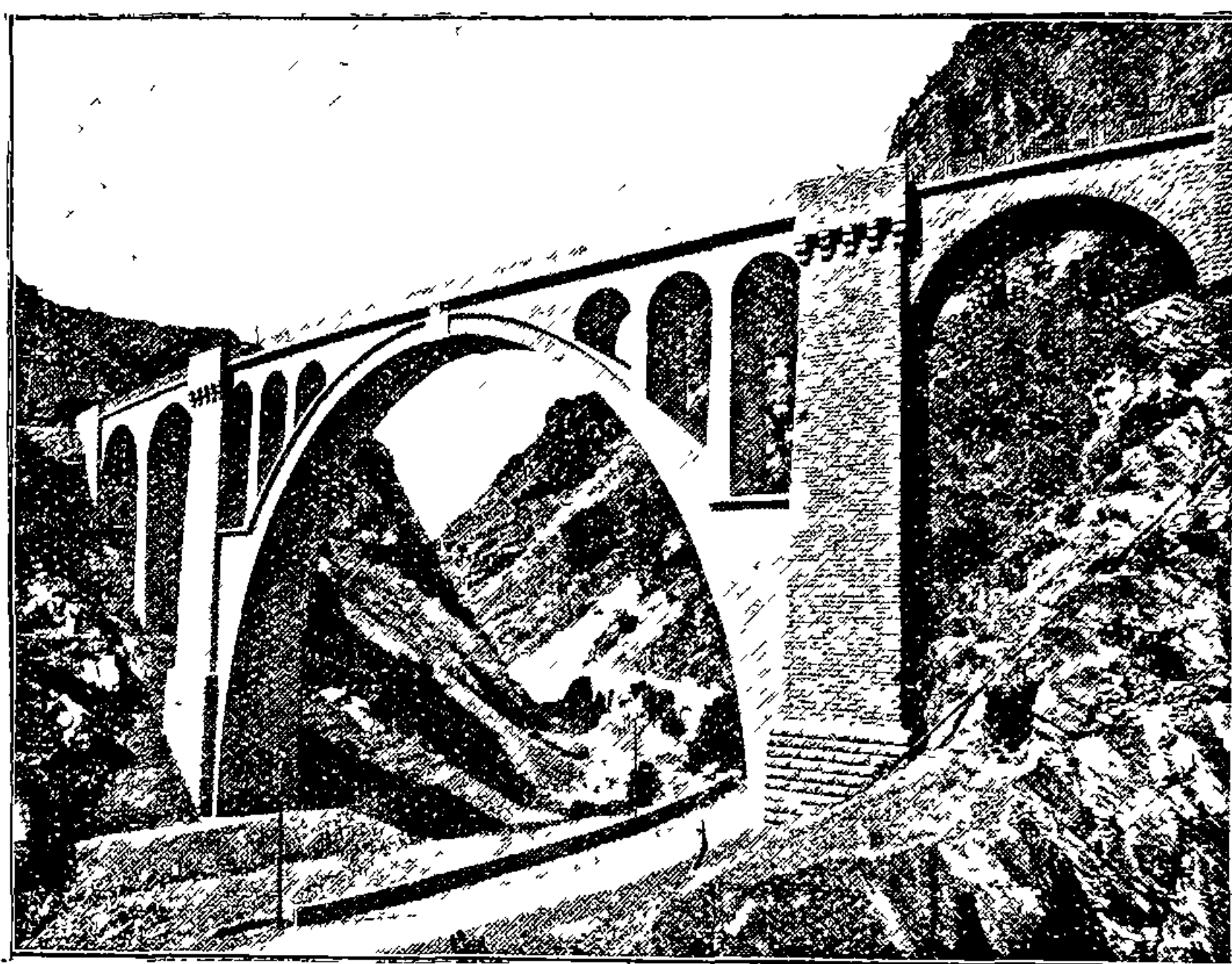


Fig 5. — Vue du pont de Scarassoui, sur la Roya.

la flèche de la courbe : il y a, au détriment de l'aspect, une grosse différence : entre les deux têtes, les pilastres et les piles sont trop épais du côté convexe, trop minces de l'autre.

Au pont de Scarassoui sur la Roya (Ligne de Nice à Coni), en courbe de 300 mètres, en rampe de 21 mm., l'intrados est en ellipse surhaussée de 48 mètres d'ouverture et 32 mètres de montée (fig. 5).



La douelle est un conoïde engendré par une horizontale s'appuyant sur la verticale du centre du tracé et sur l'ellipse située dans le plan vertical tangent au tracé au milieu de la portée. L'exécution n'a présenté aucune sujétion spéciale.

Les deux tympanons sont dressés suivant des cônes à axe vertical, à génératrice inclinée à 2 ‰ (côté concave), à 6 ‰ (côté convexe) : de ce côté, aucun point de l'intrados n'est en porte-à-faux par rapport à un point plus bas.

B. — *Traversée d'un plateau coupé par une gorge profonde*  
(Viaduc de Fontpédrouse).

A Fontpédrouse (Pyrénées-Orientales) (1), on a, sur le creux, jeté une ogive CSD, et sur la pointe S, appuyé une pile P : le

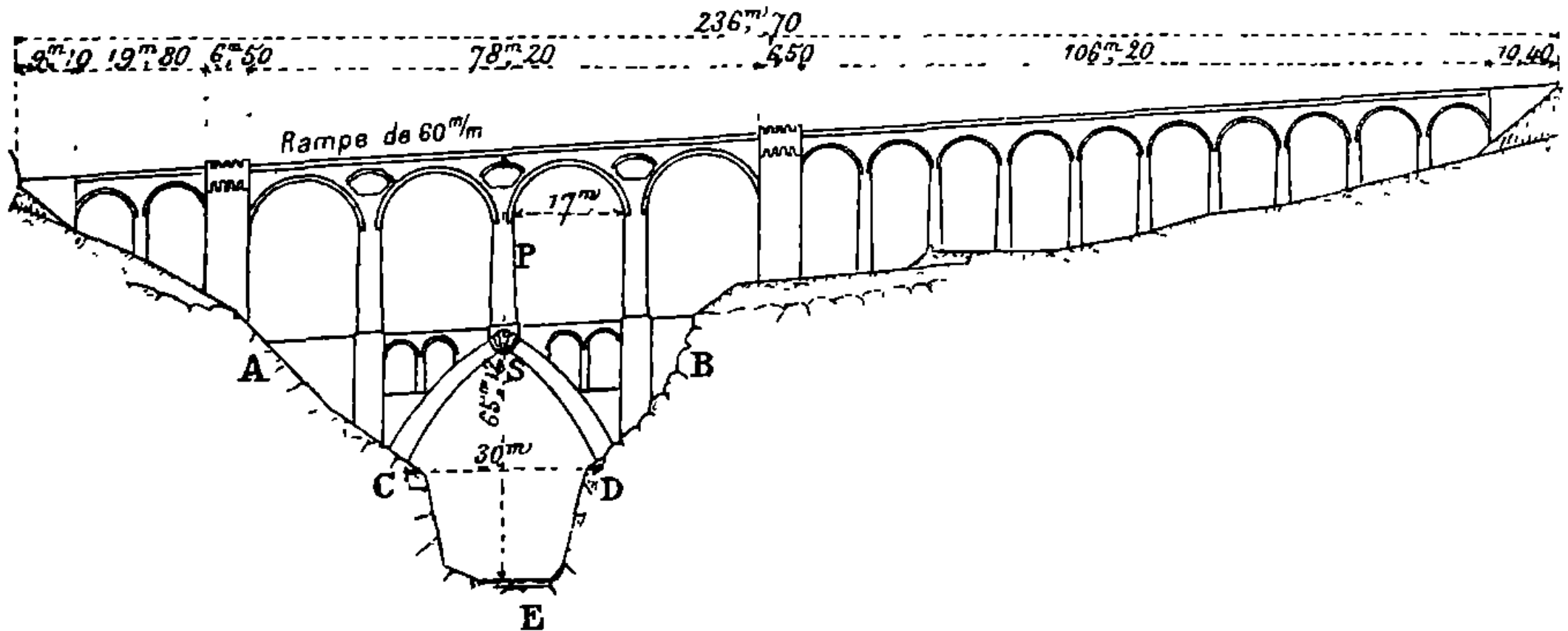


Fig. 6 — Élévation du viaduc de Fontpédrouse.

creux est supprimé. Au-dessus de AB, on n'a plus qu'un viaduc courant (fig. 6).

La largeur entre tympanons est de 2 m. 50 ; entre garde-corps, de 4 m. 20. La plateforme est une dalle en béton armé, continue sans coupure, ancrée dans les culées.

(1) Ligne électrique à voie de 1 mètre, de Villefranche-de-Conflent à Bourg-Madame (1906-08).

V. — MATÉRIAUX DES GRANDES VOÛTES : MOELLONS  
D'APPAREIL OU BÉTON DE CIMENT.

Dans un siècle, un moellon de voûte résistera aux efforts comme au moment où on l'a posé : dans la carrière d'où il vient, il a eu le temps d'évoluer (1). La pierre des Pyramides résiste aujourd'hui comme il y a quelque 54 siècles.

Il n'en est pas de même du béton. Sa résistance aux efforts, assurée peu après sa confection, dépend de sa composition : ciment, sable, cailloux, et, — ce qui est grave, — beaucoup de la façon dont on l'a fait (2). Mais elle va varier ensuite avec le temps, avec la nature du liant (3), avec le retrait. Pour une même charge, les déformations augmentent d'abord avec le temps, c'est-à-dire que, pendant les premiers mois, même les premières années, la loi de Hooke, « *ut tensio sic vis* » est fautive : c'est un matériau en évolution.

Depuis la guerre, la main-d'œuvre est devenue plus rare, plus exigeante, moins bonne. Il n'y a plus guère d'apprentis, donc plus de tailleurs de pierre, plus de maçons.

Il est devenu très difficile de faire de bonne maçonnerie. Comme aux États-Unis, et pour les mêmes motifs, il faut maçonner avec des manœuvres et des machines.

Malgré qu'on en ait, on est très souvent contraint d'accepter le béton pour les grandes voûtes, parce que moins cher que les moellons d'appareil et faisable par de simples manœuvres.

Un danger du béton est qu'il peut se fendre, non dans un sens déterminé, comme la maçonnerie appareillée qui, elle, ne s'ouvre que suivant un lit, — mais dans une direction quelconque.

(1) La plupart des pierres ont à rendre leur eau de carrière : on leur en laisse le temps. Certaines craignent la gelée : celles-là, on ne les prend pas.

(2) A côté d'un grand ouvrage, il faut un laboratoire où on essaie constamment le ciment, le mortier, le béton.

(3) Sur Nice-Coni, les eaux sulfatées imposaient le ciment fondu : on ne l'acceptait que fabriqué au water-jacket. Sur le ciment fondu fabriqué autrement, on a observé des cas de régression.

Une ouverture dans un lit de maçonnerie peut être fermée : dans le béton, elle est le plus souvent irréparable.

On a, parfois, moulé des voussoirs en béton : ils sont tout à fait assimilables à des voussoirs en pierre naturelle ; au pont du Connecticut, à Washington, on concassait d'excellent granit pour mouler des pierres artificielles (1).

Les plus grandes voûtes du monde sont les deux arches jumelles de Villeneuve-sur-Lot (96 m. 25 à un niveau arbitraire de l'eau : 98 à 99 mètres au sol) : elles sont en béton non armé. Elles ont été projetées et exécutées par M. Freyssinet, ingénieur des Ponts et Chaussées (2).

Pour les décintrer, M. Freyssinet installa à la clef des vérins hydrauliques qui ont écarté les deux demi-voûtes : le joint ainsi ouvert a été fermé par deux plaques armées de 0 m. 05, dont on a maté les lits au mortier sec.

Ce très ingénieux dispositif a été employé ailleurs (3).

## VI. — EXÉCUTION DES GRANDES VOÛTES EN MAÇONNERIE APPAREILLÉE.

### A. — *Cintres en éventail.*

La plupart des grandes voûtes françaises ont été exécutées sur des cintres « en éventail » : les contrefiches y sont dirigées suivant la normale à l'intrados.

Dans les cintres retroussés, des câbles d'acier recueillent les tensions (fig. 7).

(1) Pour un même dosage, on augmente la compacité et la résistance par une vibration intérieure, suivant le procédé imaginé par M. Deniau, ingénieur des Ponts et Chaussées, ingénieur en chef de la ville de Paris. Par ce procédé, on a du béton plein, étanche.

(2) M. Freyssinet est aussi l'auteur du pont de Plougastel, sur l'Elorn, qu'on vient d'inaugurer : 3 arches de 172 m. 60, sur cintre retroussé.

(3) En particulier, au pont de la Tournelle à Paris.

B. — *Rouleaux, tronçons, clavages.*

Le prix des cintres augmente avec l'ouverture et l'épaisseur de la voûte. Donc, les charger le moins possible, étaler le poids de la voûte par deux ou plusieurs couches successives : le pre-

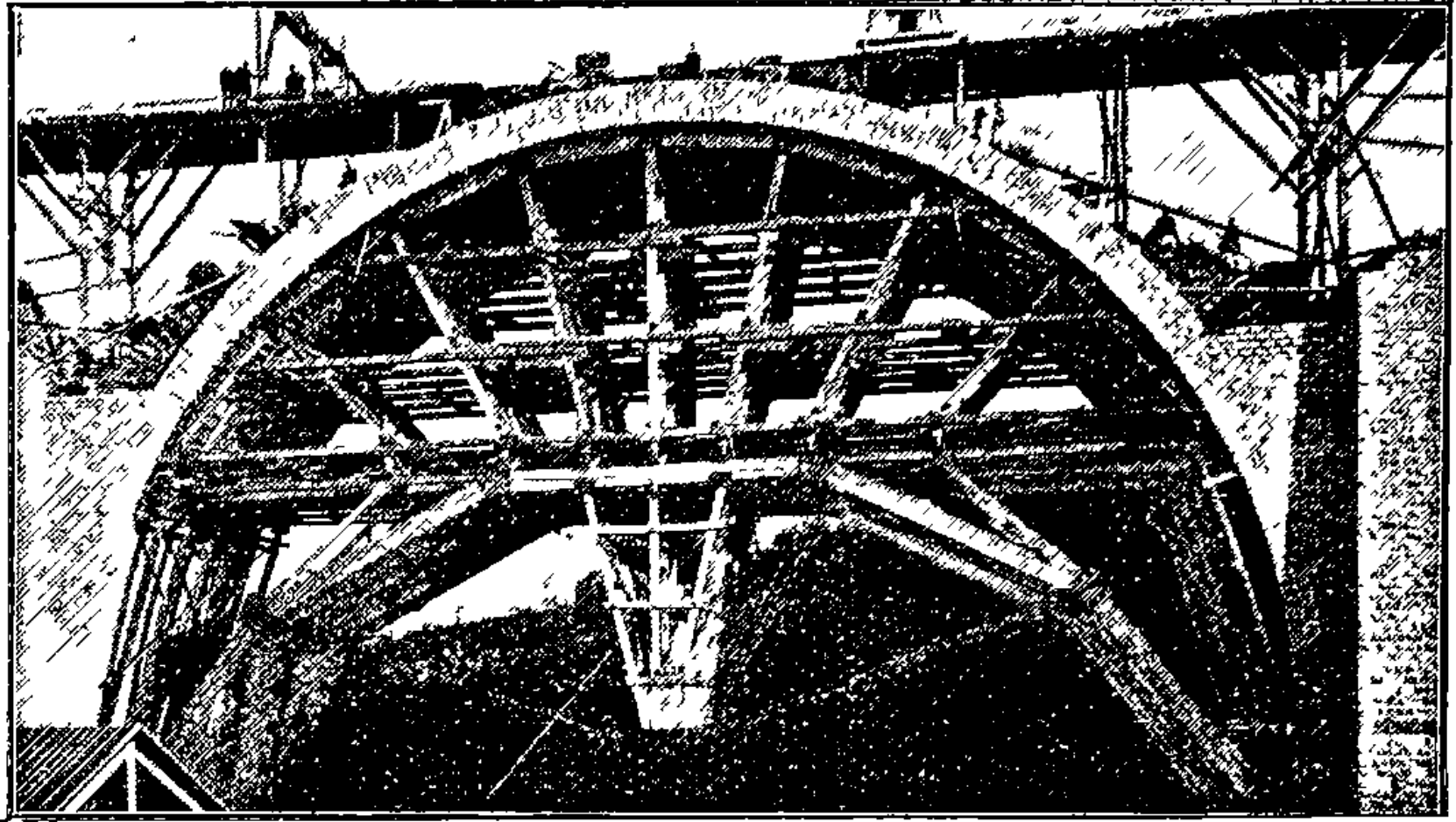


Fig 7. — Cintre du pont du Sornin (ligne de Paray-le-Monial à Lozanne).

mier rouleau fait office de cintre pour le second. Le cintre est élastique et la maçonnerie ne le suit qu'en s'ouvrant. On ne peut empêcher les fissures : mais on peut les localiser et les bien remplir. On laisse des joints vides qu'on mate au refus absolu avec du mortier de ciment à la consistance de sable humide (fig. 8.)

#### VII. — POURQUOI N'A-T-ON PAS ENCORE FAIT DE VOÛTES EN MAÇONNERIE DE PLUS DE 100 MÈTRES ?

Aujourd'hui, on a d'excellents ciments ; on sait faire une voûte. Il est permis d'être hardi, et on n'y court pas grand risque : une voûte bien fondée, en bons moellons bien posés, ne peut tomber.

Dans une très grande voûte, on fera travailler les matériaux au moins au quart de leur charge de rupture. On y abaissera les

pressions en donnant du fruit aux têtes, en ajourant largement les tympans, en employant, — pour les parties qui travaillent peu, des matériaux légers (1).

Il y faut de bonnes pierres, de bon mortier, des appuis qui ne

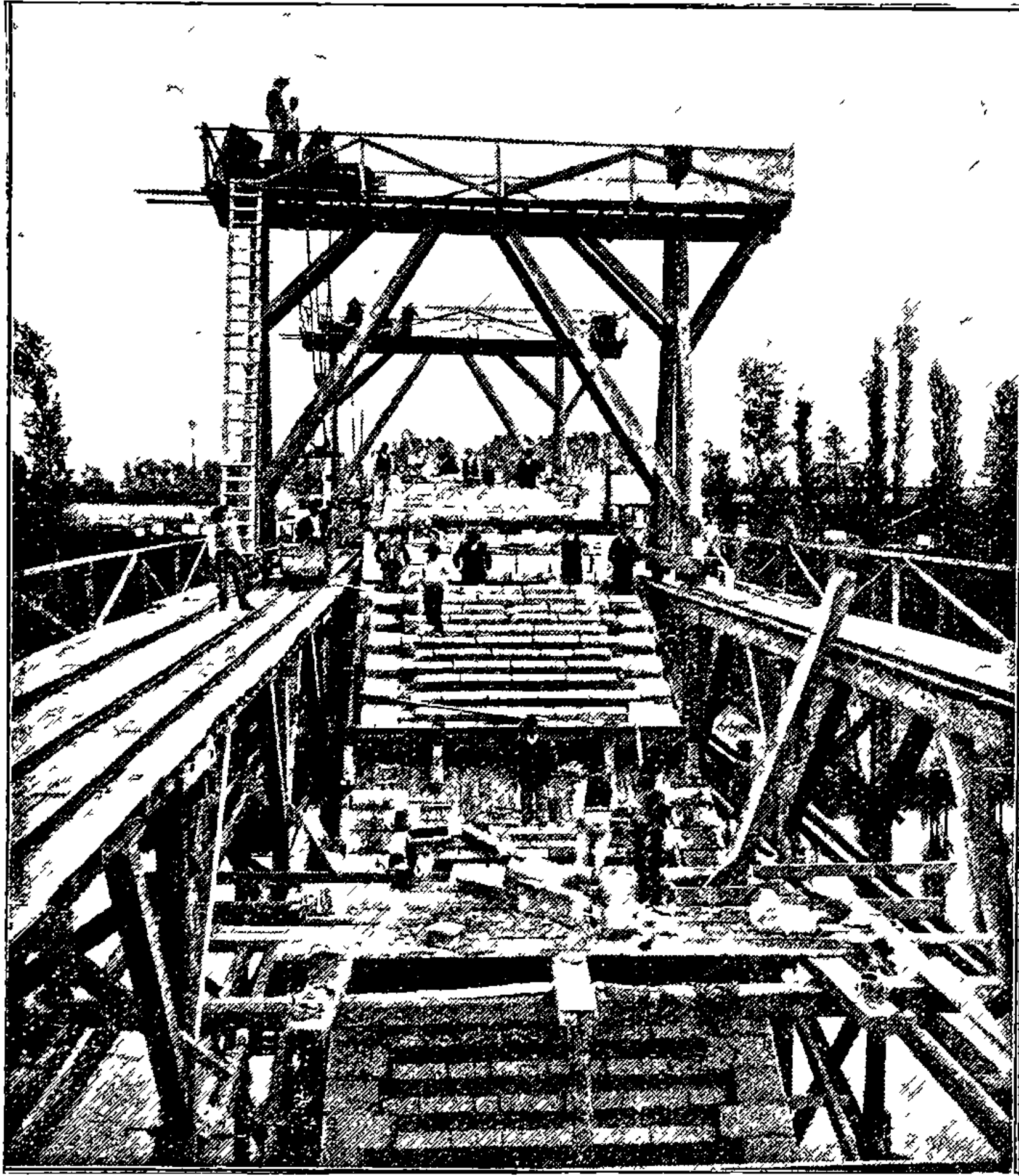


Fig. 8 — Construction du pont Antoinette, sur l'Agout (Tarn) (1883-1884).

reculent pas, qui ne s'enfoncent pas. En coupant les rouleaux en tronçons, en matant au refus les joints vides, on prévient les fissures sur cintre et au décintrement.

Il y a 137 ans, Perronet recherchait « les moyens que l'on pourrait employer pour construire de grandes arches de pierre

(1) Ceci, on le fait depuis longtemps : la coupole de Sainte-Sophie est en briques très légères.



de 200, 300, 400 et jusqu'à 500 pieds d'ouverture (65 m., 97 m., 130 m., 162 m.), qui seraient destinées à franchir de profondes vallées bordées de rochers escarpés »

Ces voûtes de 97 m., 130 m., 162 m. ne sont pas faites. Plauen (moellons) a 90 m. ; Villeneuve-sur-Lot (béton) : 96 m. 25 (1).

### VIII. — PONTS MÉTALLIQUES OU PONTS VOÛTÉS ?

Le métal de nos ponts est un produit industriel dans la nature, on ne le rencontre qu'oxydé.

La pierre, nous l'employons telle que la donnent les carrières : elle ne change plus.

Le liant des mortiers est, lui, un produit industriel ; mais le temps, qui rouille le métal, qui desserre les rivets, durcit le mortier.

Si un pont métallique doit laisser passer des machines plus lourdes, il faut le consolider, souvent le remplacer.

Or, le poids des essieux augmente continuellement et très vite ; il faut donc, continuellement, soit consolider les ponts métalliques si on le peut, soit les refaire.

Les grands ouvrages en maçonnerie ont pu porter sans fatigue les lourdes « Pacific », puis les plus lourdes « Mountain ».

Le pont en maçonnerie travaille surtout au poids mort ; il a de la masse ; les surcharges ne l'impressionnent guère ; on peut impunément les augmenter.

Le pont métallique, quelle qu'en soit la forme, n'est qu'un

(.) Cette note ne vise que les voûtes *non* armées. Je n'ai donc pu parler du pont des Usses (Haute-Savoie) — à quelque 14 km au nord d'Annecy), construit en 1928 sous la route des Alpes. La voûte a 137 m. 50 de portée, elle est en deux arcs en béton, reliés par 4 voiles verticaux, armés. Les arcs ne sont pas armés longitudinalement contre la tension. Ils sont frettés transversalement contre la compression.

Mais cette légère armature ne permettait pas de compter le pont des Usses parmi les voûtes non armées.

Il a été construit sur cintre retroussé, en trois rouleaux. arc d'intrados puis les voiles, puis l'arc d'extrados. Le béton était coulé par tronçons, séparés par des voussoirs minces en béton armé, fabriqués d'avance. Le pont des Usses fait grand honneur à son auteur, M. Caquot.



échafaudage pour passer l'eau : l'aspect n'en importe guère plus que d'un pont de service ou d'un bac.

Les ponts voûtés peuvent s'ajuster aux lieux, n'y point sembler étrangers, importés ; ils ne se laissent pas écraser sous un train, crever par un train déraillé, renverser par le vent.

La passerelle en fonte des Arts a 128 ans ; le pont suspendu sur le détroit de Menai, 107 ans. Mais les ponts de Trajan ont 18 siècles ; ceux d'Auguste 19. Le Parthénon a 24 siècles, — les Temples de Thèbes 34 et 37, — les Pyramides 54.

Pour le fer, on compte par année ; pour la pierre, par siècle.

#### IX. — QUELQUES RÉFLEXIONS SUR L'ARCHITECTURE ET LA DÉCORATION DES PONTS.

Un pont est fait pour qu'on passe dessus : c'est une œuvre d'utilité et qui doit durer. Il doit être et paraître ajusté à son objet : solide, clair, simple, sans vains ornements.

Il vaut par ses formes générales, ses grandes lignes, par un heureux rapport de la portée à la hauteur, de la montée à la portée.

Il doit être adapté, non seulement aux lieux, mais au climat, aux monuments voisins, à la lumière, à la couleur locales : il faut à Toulouse un pont toulousain

De tous les ouvrages, — même des petits, — l'aspect importe il n'est pas permis de faire laid.

Tout n'a pas été fait, depuis quelque 2.000 ans qu'on bâtit des ponts.

Dans une grande ville, on n'a pas le droit de faire un grand pont qui ne marque un progrès. « *Il en résultera peut-être un surcroît de dépenses, mais l'art des ponts ne saurait être trop perfectionné et il ne peut l'être que par de grands exemples : il en coûte plus pour l'ouvrage qu'on entreprend, mais il en coûte moins pour ceux qui suivent (1).* »

(1) Mémoire présenté au Roi par les États de Languedoc, 31 décembre 1779.

Dans un grand pont, la décoration proprement dite compte peu. Elle doit simplement distinguer les différents membres, accentuer le rôle et l'importance de chacun. Mais elle doit faire partie du corps même de l'ouvrage : elle ne doit pas pouvoir en être détachée.

Elle doit être sobre, discrète, modeste, raisonnable, utile ; elle sera à l'échelle du pont.

On n'est point obligé de traiter de même les deux têtes d'un pont.

L'archivolte est une excellente décoration de la voûte : on ne l'a pas assez pratiquée.

#### X. — ÉTUDIER ET RESPECTER NOS VIEUX PONTS.

On ne saurait assez étudier les ponts français du XVIII<sup>e</sup> siècle : il y a là mieux et plus qu'un simple intérêt historique.

Sans doute, on ne fonderait plus sur pilotis les grands ponts de la Loire, ni par épaissements sous 26 pieds d'eau les piles-culées du pont de Gignac, sans doute, on ne construira plus de grandes voûtes sur les cintres flexibles de Perronet.

Ce ne sont là que procédés d'exécution : ils ont passé, comme les coches d'eau et les chaises à porteur

Mais ce qui n'a point vieilli, c'est la beauté et la variété de nos vieux ponts, le choix judicieux de leur décoration ; c'est l'ampleur, c'est la majesté solennelle de leurs accès : on ne les a pas égalés.

On a gâté ou détruit de vieux ponts pour les élargir.

Au pont de la Tournelle à Paris, au pont de la Guillotière à Lyon, il n'y a pas eu grand dommage.

Mais on a failli porter la main sur le joli pont d'Entraygues

Des ingénieurs se sont rencontrés, qui ont proposé de démolir le beau pont de Toulouse, le seul du pays qu'ait laissé debout la crue de 1875

Nous n'avons pu obtenir qu'on rebâtisse le pont de Sainte-Maxence, chef-d'œuvre de Perronet, détruit en 1914.

C'est une méchante action que de jeter par terre un fruit, une parure de la « terre des pères ». c'est nous diminuer.

On doit respecter les choses qui ont duré, surtout celles de chez nous.

Restons fidèles au passé, soutien du présent et garant de l'avenir, et gardons des Barbares nos vieux ponts, nos vieilles églises, toute notre vieille France... *Præteriti fides, spes futuri.*

## XI. — PART DE LA FRANCE DANS LES PROGRÈS RÉALISÉS.

Récapitulons les progrès réalisés, surtout depuis 1880.

Tous sont français.

Articuler les voûtes, Dupuit l'avait proposé dès 1871.

Partout où il y a une fissure à craindre, couper les rouleaux en tronçons et les claver au mortier sec · méthode française

Construire les ponts larges sur deux minces anneaux de tête : méthode française.

Grands cintres en éventail, soit fixes, soit retroussés avec câbles d'acier : types français.

Au XVIII<sup>e</sup> siècle, les ingénieurs de France ont enseigné au monde l'art des ponts : leurs successeurs n'ont pas dégénéré.

La France a les plus grandes voûtes, les plus belles, les plus diverses ; c'est elle qui en a le plus.

· Elle a gardé son rang : le premier.

---

## TABLE DES MATIÈRES

I. — STATISTIQUE DES VOÛTES DE 40 M. ET AU-DESSUS	289
A. — Nécessité de cette statistique.....	289
B. — Voûtes non articulées Tableau T <sub>1</sub> ....	290
C. — Voûtes articulées (toutes après 1880).	291
c'. — Indication de Dupuit (1870).....	291
c''. — Tableau T <sub>2</sub> .....	293
c'''. — Pont sur la Meuse, à Renory (Belgique), 1928.....	294

II. — COMMENT ON A CALCULÉ LES EFFORTS DANS UNE GRANDE VOÛTES.....	295
III. — PONTS LARGES. — PLANCHER SUR DEUX ANNEAUX MINCES (APRÈS 1900).....	297
IV. — COMMENT, DANS DEUX CAS PARTICULIERS, ON A ADAPTÉ L'OUVRAGE AU TERRAIN.....	300
A. — Pont en courbe de Scarassoui (Nice-Coni).....	300
B. — Traversée d'un plateau coupé par une gorge profonde (Viaduc de Fontpédrouse).....	301
V. — MATÉRIAUX DES GRANDES VOÛTES : MOELLONS D'APPAREIL OU BÉTON DE CIMENT.....	302
VI. — EXÉCUTION DES GRANDES VOÛTES EN MAÇONNERIE APPAREILLÉE.....	303
A. — Cintres en éventail.....	303
B. — Rouleaux, tronçons, clavages.....	304
VII. — POURQUOI N'A-T-ON PAS ENCORE FAIT DE VOÛTES EN MAÇONNERIE DE PLUS DE 100 M. ?.....	304
VIII. — PONTS MÉTALLIQUES OU PONTS VOÛTÉS ?.....	306
IX. — QUELQUES RÉFLEXIONS SUR L'ARCHITECTURE ET LA DÉCORATION DES PONTS.....	307
X. — ÉTUDIER ET RESPECTER NOS VIEUX PONTS.....	308
XI. — PART DE LA FRANCE DANS LES PROGRÈS RÉALISÉS.	309