

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 29 (1903)
Heft: 20

Artikel: L'arc élastique sans articulation
Autor: Guidi, C.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-23512>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

La vapeur nécessaire soit au chauffage des locaux, soit à celui de l'eau des bains et des douches, est obtenue par les chaudières de l'usine, établies dans le bâtiment contigu. L'eau chaude est obtenue dans un grand récipient cylindrique de 2000 litres de capacité, contenant un fort serpent à vapeur. L'eau froide y arrive d'un réservoir spécial placé au-dessus de lui. Un thermomètre et un jeu de robinets permettent au chauffeur de l'usine de régler aisément la température de l'eau et d'obtenir chaque jour, aux heures de lavage, la quantité d'eau chaude nécessaire. Toutes les installations hygiéniques et sanitaires ont été fournies par la maison Louis Broillet de Genève. Le service du gaz s'est appliqué à n'établir que des appareils très robustes, pratiques, d'un entretien et d'un nettoyage faciles, aménagés selon les règles de l'hygiène. Ce sont là les premières conditions à remplir dans une usine à gaz où de telles installations sont grandement exposées à la saleté et servent journellement à un personnel nombreux. Un grand garage à bicyclettes a été établi à côté du bâtiment sous un hangar existant.

Le bâtiment hygiénique a été inauguré le 24 septembre 1902 et toutes ses installations ont dès lors fonctionné à l'entière satisfaction des intéressés.

Voici le résumé général du coût des travaux :

Maçonnerie, béton armé, catelles, dallages	Fr. 30 400
Couverture	810
Menuiserie: portes, fenêtres, armoires	6 760
Vitrerie	780
Installations hygiéniques et sanitaires: douches,	
bains, water-closet, tuyauterie, ferblanterie	9 060
Amenée d'eau au bâtiment	230
Chauffage à vapeur	1 680
Eclairage au gaz et cuisine	800
Divers	560
Total.	<u>Fr. 51 080</u>

L'arc élastique sans articulation

par C. GUIDI, professeur.

(Extrait de *Memorie della R. Acc. delle Scienze di Torino*,
Seria II, Tom. LII.)

Traduit de l'italien par A. PARIS, ingénieur.

(Suite)¹.

III. Applications.

29. — Nous appliquerons la théorie qui précède à l'étude du beau pont en maçonnerie, dit pont Antoinette, exécuté en France en 1884, pour la voie ferrée Montauban-Castres².

¹ Voir N° du 10 octobre 1903, page 259.

² Voir *Annales des Ponts et Chaussées*, 1886.

La figure 20 représente, à l'échelle $\frac{1}{200}$, la section longitudinale de la moitié de l'arche¹, suivant l'axe de la voie. Les dimensions principales sont :

Portée libre de l'intrados	47,396 m.
Flèche	11,015 »
Epaisseur à la clef	1,500 »
» aux naissances	2,283 »
Rayon de l'arc d'intrados	31,000 »
» d'extrados	34,816 »

Demi-angle au centre de l'arc d'extrados $46^{\circ} 56' 33''$.

La largeur de la voûte, de 4^m,74 à la hauteur de la voie, augmente en descendant, le front de l'arc ayant 4% de fruit.

Pour l'étude statique, nous prendrons un anneau de voûte de 1 m. de largeur à la hauteur de la voie, mais allant s'élargissant dans la même proportion que l'arc entier. De plus nous le supposons situé directement sous la voie.

La figure 20 contient la section longitudinale médiane de la moitié de cet anneau, avec la construction des cinq polygones funiculaires et le tracé de la ligne d'intersection et de la courbe enveloppe des réactions de l'appui gauche. Vu la symétrie, les constructions ont été limitées à la moitié de l'arc.

L'arc est divisé en 18 éléments Δs égaux, de 3^m,08 chacun. Les ellipses des différents tronçons ont toutes pour demi-axe longitudinal

$$\rho = 3,08 \sqrt{\frac{1}{12}} = 3,08 \times 0,289 = \text{m. } 0,890,$$

tandis que le demi-axe radial est 0,289 fois la hauteur de la section moyenne de l'élément, ce qui donne en partant de la clef :

$$\rho'_1 = 1,51 \times 0,289 = 0,436 \text{ m.}$$

$$\rho'_2 = 1,53 \times \text{ » } = 0,442 \text{ »}$$

$$\rho'_3 = 1,57 \times \text{ » } = 0,454 \text{ »}$$

$$\rho'_4 = 1,63 \times \text{ » } = 0,470 \text{ »}$$

$$\rho'_5 = 1,70 \times \text{ » } = 0,491 \text{ »}$$

$$\rho'_6 = 1,80 \times \text{ » } = 0,520 \text{ »}$$

$$\rho'_7 = 1,92 \times \text{ » } = 0,555 \text{ »}$$

$$\rho'_8 = 2,05 \times \text{ » } = 0,591 \text{ »}$$

$$\rho'_9 = 2,20 \times \text{ » } = 0,635 \text{ »}$$

Pour le calcul des moments d'inertie des sections il fallait encore tenir compte de la variation de largeur moyenne des éléments; voici les valeurs trouvées :

$$I_1 = \frac{1}{12} \frac{4,88}{4,74} 1,51^3 = 0,29539 \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} \frac{4,90}{4,74} 1,53^3 = 0,30854 \text{ »}$$

$$I_3 = \frac{1}{12} \frac{4,95}{4,74} 1,57^3 = 0,33678 \text{ »}$$

¹ Les dessins du mémoire original sont à l'échelle double, nécessaire pour l'exactitude de constructions graphiques.

$$I_4 = \frac{1}{12} \frac{5,02}{4,74} 1,63^3 = 0,38222 \text{ m}^4$$

$$I_5 = \frac{1}{12} \frac{5,11}{4,74} 1,70^3 = 0,44138 \text{ »}$$

$$I_6 = \frac{1}{12} \frac{5,22}{4,74} 1,80^3 = 0,53521 \text{ »}$$

$$I_7 = \frac{1}{12} \frac{5,35}{4,74} 1,92^3 = 0,66573 \text{ »}$$

$$I_8 = \frac{1}{12} \frac{5,52}{4,74} 2,05^3 = 0,83607 \text{ »}$$

$$I_9 = \frac{1}{12} \frac{5,68}{4,74} 2,20^3 = 1,06330 \text{ »}$$

Le coefficient E d'élasticité étant constant, nous le supposons égal à 1 et nous aurons pour les poids élastiques :

$$\frac{\Delta s}{I_1} = 10,4270 \quad \frac{\Delta s}{I_5} = 6,9782$$

$$\frac{\Delta s}{I_2} = 9,9825 \quad \frac{\Delta s}{I_6} = 5,7547$$

$$\frac{\Delta s}{I_3} = 9,1455 \quad \frac{\Delta s}{I_7} = 4,6265$$

$$\frac{\Delta s}{I_4} = 8,0583 \quad \frac{\Delta s}{I_8} = 3,6839$$

$$\frac{\Delta s}{I_9} = 2,8967$$

La courbe de variation de I et $\frac{\Delta s}{I}$ est donnée au haut de la figure 20.

30. — Les poids élastiques ont été portés à l'échelle de 2 mm. par unité, puis on a exécuté la construction des cinq polygones funiculaires. Ceux-ci ont permis de tracer la ligne des réactions des culées pour des charges verticales unitaires concentrées et passant par le centre de gravité des sections de contact des éléments Δs . La construction est indiquée pour la cinquième charge. Le choix de ces lignes d'action est déterminé par le fait que, si l'on suppose les Δs remplacés par des éléments infiniment petits ds , les courbes qui remplaceront les polygones p_1 , p_3 et p_5 leur sont inscrites, leurs points de contact tombant sur ces verticales, rigoureusement du moins pour p_1 .

Les paramètres M , A et H sont ainsi plus exactement déterminés. Pour vérifier la position du centre de gravité G de l'arc, ainsi que les moments statiques et la somme des moments d'inertie des poids élastiques par rapport à l'axe horizontal x passant par G , nous faisons les calculs numériques suivants :

Premièrement, nous déterminons les moments statiques wy des poids élastiques par rapport à l'horizontale passant par le centre de gravité du dernier élément Δs . Ceci nous permet de déterminer la position de G dont l'ordonnée est $\Sigma wy : \Sigma w$. Nous calculons ensuite les moments statiques $w\eta$ des poids w par rapport à l'axe horizontal x du centre de gravité G ; nous les divisons par $\lambda_2 = 40$ mm., ce qui nous donne la grandeur des segments interceptés sur l'axe

des x par les côtés du polygone p_2 . Nous multiplions ces segments par $\frac{\eta'}{75}$, où η' est l'ordonnée sur x des antipôles de cet axe par rapport aux ellipses d'élasticité des éléments Δs , et 75 la distance polaire du polygone p_4 . Nous trouvons par la somme obtenue la valeur du segment $\frac{1}{2} n$ proportionnel au moment d'inertie du demi-axe par rapport à l'axe x .

La table suivante résume ces calculs¹ :

Tabelle I.

N° d'ordre.	w mm.	y mm.	wy	η mm.	$\frac{w\eta}{40}$	$\frac{w\eta}{40} \cdot \frac{\eta'}{75}$
1	20,8	49,1	1025	12,4	6,4	1,11
2	20,0	47,8	953	11,0	5,5	1,02
3	18,3	44,8	821	8,1	3,7	0,44
4	16,1	40,7	655	3,9	1,6	0,12
5	13,9	34,9	487	— 1,8	— 0,6	0,05
6	11,5	28,1	323	— 8,6	— 2,5	0,20
7	9,3	19,9	184	— 16,9	— 4,0	0,93
8	7,3	10,5	77	— 25,7	— 4,8	1,69
9	5,8	0	0	— 36,8	— 5,3	2,65
	123,0		4525		0	$8,21 = \frac{1}{2} n$

¹ Les planches originales ayant été réduites, on a dû réduire en conséquence les chiffres de la table. Si la vérification numérique se rapportait à un dessin à si petite échelle, elle perdrait sa valeur.

La figure 20 donne les éléments nécessaires au calcul des efforts maxima dus à la charge accidentelle. Elle sert aussi à la détermination des efforts dus à la charge permanente ou à celle des déformations.

31. — **Efforts dus à la charge permanente.** La grande arche dont nous étudions l'équilibre est construite en pierre de taille. Sur la partie centrale de l'arc, figure 21, la voie repose par un remplissage continu, mais aux retombées il y a des arcs de décharge en maçonnerie de briques, accotés par du béton et s'appuyant sur des piles en maçonnerie ordinaire, reposant sur le grand arc.

Poids relatifs aux tronçons Δs .

Maçonnerie de moellons . . .	2,5 t. m ³ .
» briques . . .	1,6 »
Ballast	2,0 »
Béton	2,3 »

Poids propre des tronçons Δs de l'anneau considéré.

1°	2,5	$\frac{4,88}{4,74}$	$1,51 \times 3,08 = 11,97 \text{ t.}$
2°	2,5	$\frac{4,90}{4,74}$	$1,53 \times 3,08 = 12,18 \text{ »}$
3°	2,5	$\frac{4,95}{4,74}$	$1,57 \times 3,08 = 12,62 \text{ »}$
4°	2,5	$\frac{5,02}{4,74}$	$1,63 \times 3,08 = 13,24 \text{ »}$
5°	2,5	$\frac{5,11}{4,74}$	$1,70 \times 3,08 = 14,11 \text{ »}$

$$6^o \quad 2,5 \frac{5,22}{4,74} 1,80 \times 3,08 = 15,26 \text{ t.}$$

$$7^o \quad 2,5 \frac{5,35}{4,74} 1,92 \times 3,08 = 16,69 \text{ »}$$

$$8^o \quad 2,5 \frac{5,52}{4,74} 2,05 \times 3,08 = 18,38 \text{ t.}$$

$$9^o \quad 2,5 \frac{5,68}{4,74} 2,20 \times 3,08 = 20,30 \text{ »}$$

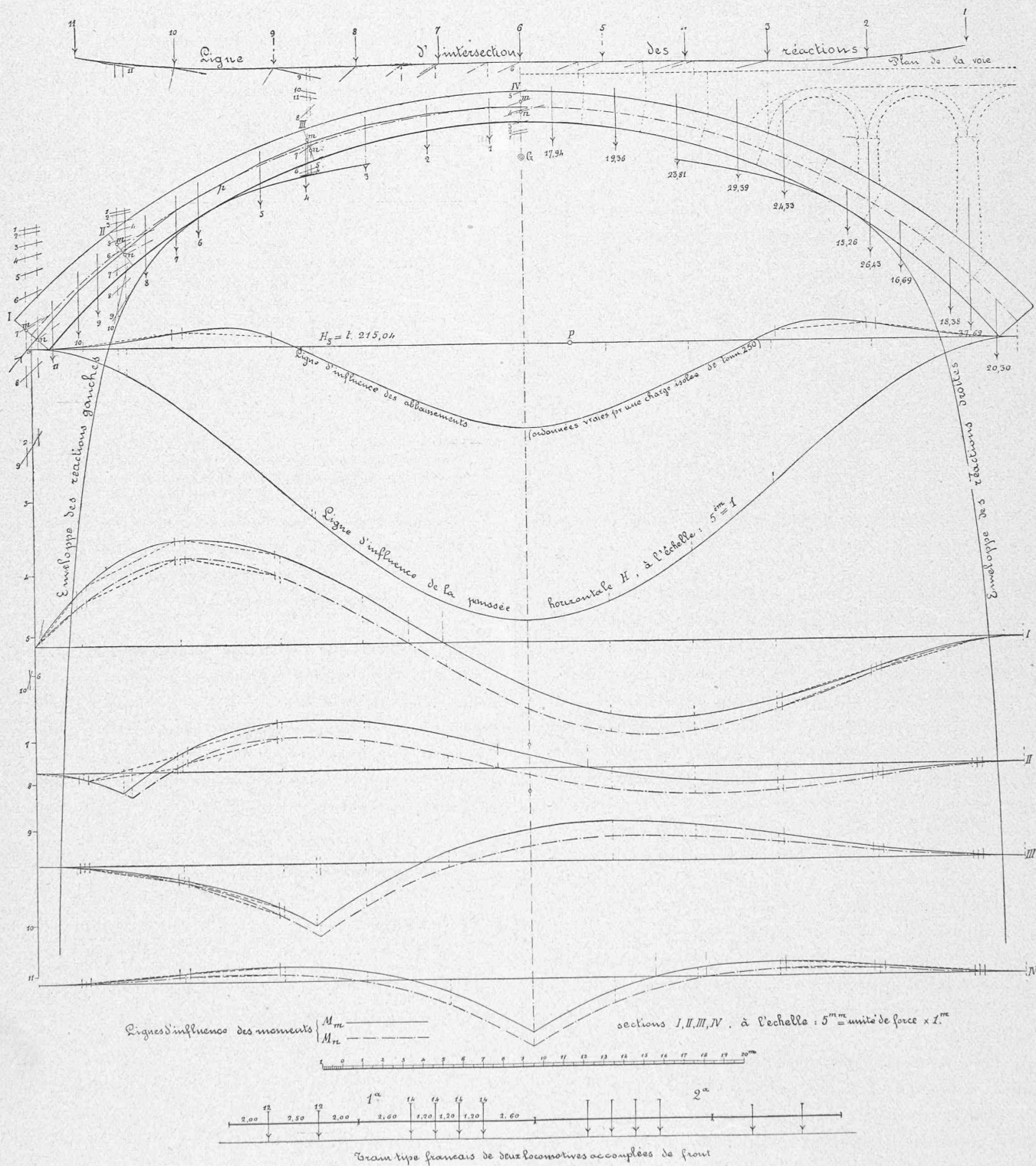


FIG. 21. — PONT ANTOINETTE. — LIGNE MONTAUBAN-CASTRES.
Ligne de pression pour le poids propre. — Ligne d'influence pour la charge accidentelle.

Poids de la superstructure pour les tronçons du milieu.

$$\begin{aligned} 1^{\circ} \quad & 2,0 \frac{4,78}{4,74} 3,15 \times 0,94 = 5,97 \text{ t.} \\ 2^{\circ} \quad & 2,0 \frac{4,79}{4,74} 3,12 \times 1,14 = 7,18 \text{ »} \\ 3^{\circ} \quad & 2,0 \frac{4,81}{4,74} 3,08 \times 1,79 = 11,19 \text{ »} \\ 4^{\circ} \quad & 2,0 \frac{4,85}{4,74} 3,00 \times 2,63 = 16,15 \text{ »} \end{aligned}$$

Poids d'un arc de décharge et des remplissages.

$$\begin{aligned} \text{Béton} \quad & 2,3 \left[4,96 \times 2,44 \frac{4,93}{4,74} - \frac{3,14 \times 2,44^2}{2} \frac{4,94}{4,74} \right] \\ & = 6,54 \text{ t.} \\ \text{Voûte de brique} \quad & 1,6 \frac{3,14 (2,44^2 - 2^2)}{2} \frac{4,92}{4,74} = 5,10 \text{ »} \\ \text{Ballast} \quad & 2,0 \times 4,96 \times 0,88 \frac{4,78}{4,74} = 8,80 \text{ »} \\ & 20,44 \text{ »} \end{aligned}$$

Poids des piliers.

$$\begin{aligned} 1^{\circ} \quad & 2,5 \frac{1,00 + 1,08}{2} 2,14 \frac{5,10}{4,74} = 5,99 \text{ t.} \\ 2^{\circ} \quad & 2,5 \frac{1,00 + 1,24}{2} 5,55 \frac{5,24}{4,74} = 17,18 \text{ »} \end{aligned}$$

Poids totaux.

$$\begin{aligned} 1^{\circ} \quad & 11,97 + 5,97 = 17,94 \text{ t.} \quad 6^{\circ} \quad \dots = 15,26 \text{ t.} \\ 2^{\circ} \quad & 12,18 + 7,18 = 19,36 \text{ »} \quad 7^{\circ} \quad 20,44 + 5,99 = 26,43 \text{ »} \\ 3^{\circ} \quad & 12,62 + 11,19 = 23,81 \text{ »} \quad 8^{\circ} \quad \dots = 16,69 \text{ »} \\ 4^{\circ} \quad & 13,24 + 16,15 = 29,39 \text{ »} \quad 9^{\circ} \quad \dots = 18,38 \text{ »} \\ 5^{\circ} \quad & 14,11 + \frac{20,44}{2} = 24,33 \text{ »} \quad 10^{\circ} \quad 20,44 + 17,18 = 37,62 \text{ »} \\ & 11^{\circ} \quad \dots = 20,30 \text{ t.} \\ & \Sigma = 249,51 \text{ t.} \end{aligned}$$

La figure 21 indique les lignes d'action de ces charges.

32. — La recherche du *polygone des pressions* pour la charge permanente peut se faire, comme nous l'avons vu, soit par l'emploi des lignes d'influence permettant de déterminer la réaction de l'appui gauche, soit par la méthode directe des figures en affinité.

Nous commencerons par suivre la première méthode.

33. — **Détermination de la réaction de la culée.** Les poussées horizontales ont été déterminées par la ligne d'influence provenant du polygone p_5 de la figure 20. On a :

$$\begin{aligned} H_1 &= 1,088 \times 17,94 = 19,52 \text{ t.} & H_6 &= 0,306 \times 15,26 = 4,67 \text{ t.} \\ H_2 &= 1,006 \times 19,36 = 19,48 \text{ »} & H_7 &= 0,240 \times 26,43 = 6,34 \text{ »} \\ H_3 &= 0,860 \times 23,81 = 20,48 \text{ »} & H_8 &= 0,155 \times 16,69 = 2,59 \text{ »} \\ H_4 &= 0,675 \times 29,39 = 19,84 \text{ »} & H_9 &= 0,053 \times 18,38 = 0,99 \text{ »} \\ H_5 &= 0,515 \times 24,33 = 12,53 \text{ »} & H_{10} &= 0,027 \times 37,62 = 1,02 \text{ »} \\ H_{11} &= 0,003 \times 20,30 = 0,06 \text{ t.} \\ \Sigma_{11} H &= 107,52 \text{ t.} \end{aligned}$$

Pour obtenir les moments, autour de G , des réactions de la culée gauche dues au poids de la moitié droite de l'arc, il suffit de multiplier les ordonnées verticales de G sur les différentes lignes d'action par les poussées H correspondantes, ce qui donne :

$$\begin{aligned} \mathcal{M}_1 &= 4,06 \times 19,52 = 79,25 \text{ tm.} & \mathcal{M}_6 &= 1,38 \times 4,67 = 6,44 \text{ tm.} \\ \mathcal{M}_2 &= 3,08 \times 19,48 = 60,00 \text{ »} & \mathcal{M}_7 &= 1,32 \times 6,34 = 8,37 \text{ »} \\ \mathcal{M}_3 &= 2,42 \times 20,48 = 49,56 \text{ »} & \mathcal{M}_8 &= 1,27 \times 2,59 = 3,29 \text{ »} \\ \mathcal{M}_4 &= 1,95 \times 19,84 = 38,69 \text{ »} & \mathcal{M}_9 &= 1,20 \times 0,99 = 1,19 \text{ »} \\ \mathcal{M}_5 &= 1,65 \times 12,53 = 20,67 \text{ »} & \mathcal{M}_{10} &= 1,20 \times 1,02 = 1,22 \text{ »} \\ \mathcal{M}_{11} &= 1,20 \times 0,06 = 0,07 \text{ tm.} \\ \Sigma_{11} \mathcal{M} &= 268,75 \text{ tm.} \end{aligned}$$

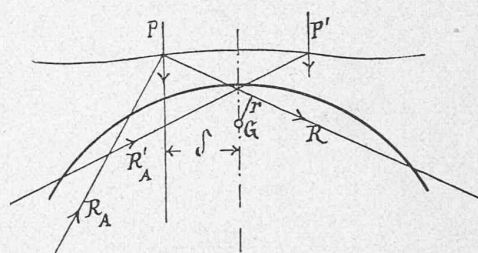


Fig. 22

Pour une charge P sur la moitié gauche de l'arc, symétrique à une P' de la moitié droite, nous aurons (fig. 22), si \mathcal{M}' et \mathcal{M} représentent les moments autour de G des réactions R_A' et R_A ,

$$\begin{aligned} Rr &= \mathcal{M}' = \mathcal{M} - P\delta \\ \mathcal{M} &= \mathcal{M}' + P\delta; \end{aligned}$$

ce qui donne pour le moment autour de G de la réaction totale de gauche

$$\mathcal{M} = 2\Sigma_{11} \mathcal{M}' + \Sigma P\delta = 537,50 + 3662,81 = 4200,31 \text{ tm.}$$

soit, pour les segments interceptés sur les axes x et y à partir de G :

$$\begin{aligned} \frac{\mathcal{M}}{\Sigma_{11} P} &= \frac{4200,31}{249,51} = 16,834 \text{ m.} \\ 35) \quad \frac{\mathcal{M}}{2\Sigma_{11} H} &= \frac{4200,31}{215,04} = 19,533 \text{ m.} \end{aligned}$$

Avec ces valeurs, nos réactions sont déterminées.

34. — **Polygone des pressions pour le poids propre.**

Une fois la réaction construite au moyen des valeurs 35), on peut tracer la ligne des pressions par un simple polygone p de résultantes successives, ayant comme distance polaire la poussée horizontale H_g . La droite des forces est à gauche de la figure 21.

35. — Cette même ligne de pression a été déterminée dans la figure 23 par la méthode directe exposée plus haut. Elle ne demande aucun nouvel éclaircissement, mais on voit que les deux solutions concordent parfaitement. Le calcul s'est trouvé simplifié par la double symétrie de l'arc et des charges.

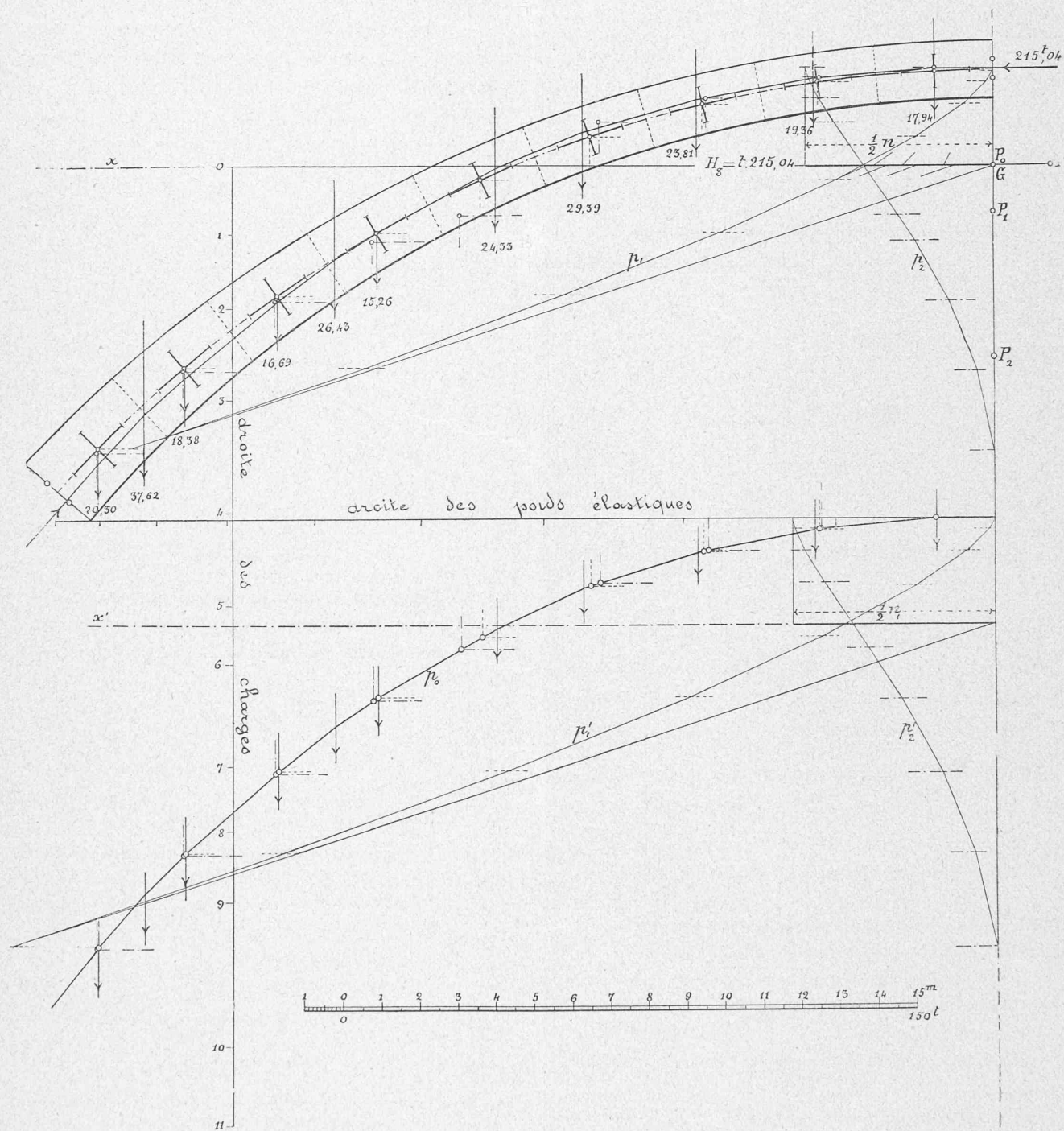


FIG. 23. — PONT ANTOINETTE. — LIGNE MONTAUBAN-CASTRES.
Ligne de pression pour le poids propre.

36. — Comme on le voit, la courbe des pressions pour le poids propre est entièrement contenue dans le tiers intérieur des sections de l'anneau de voûte, c'est-à-dire dans le noyau central. Son voisinage de l'axe géométrique fait prévoir d'excellentes conditions statiques.

Remarquons encore que la résultante horizontale à la clef agit sensiblement au centre de gravité de la section.

37. — Coefficient maximum de travail pour le poids propre. Nous examinerons quatre sections, soit la naissance, la clef et deux intermédiaires. Elles sont indiquées sur la figure 21 par les N^{os} I, II, III, IV.

Nous emploierons pour cela le moment statique de la résultante, pris du point du noyau central antipôle de l'arc d'intrados ou d'extrados¹.

$$36) \quad \sigma_i = \frac{M_m}{W}, \quad \sigma_e = \frac{M_n}{W}.$$

Les moments de résistances des sections sont :

$$\text{Section I (naissance)} \quad W = \frac{1}{6} \frac{5,76}{4,74} 2,283^2 = 1,056 \text{ m}^3$$

$$\text{» II} \quad W = \frac{1}{6} \frac{5,42}{4,74} 1,99^2 = 0,755 \text{ »}$$

$$\text{» III} \quad W = \frac{0,38222}{0,815} = 0,469 \text{ »}$$

$$\text{» IV (clef)} \quad W = \frac{1}{6} \frac{4,87}{4,74} 1,50^2 = 0,385 \text{ »}$$

La poussée horizontale à la clef est

$$H = 215,04 \text{ t.}$$

Les distances verticales des points *m* et *n* du noyau central des sections considérées au polygone des pressions donnent, multipliées par *H*, les moments *M_m* et *M_n* cherchés.

¹ Voir C. Guidi, *Lezioni sulla Scienza delle costruzioni*, Parte II. Torino, 1899.

Tabelle II.

Sec-tions.	W m ³	h _m m.	h _n m.	M _m tm.	M _n tm.	σ _i Kg/cm ²	σ _e Kg/cm ²
I	1,056	— 1,04	0,15	— 223,64	32,26	— 21,2	— 3,1
II	0,755	— 0,64	0,20	— 137,63	43,01	— 18,2	— 5,7
III	0,469	— 0,14	0,43	— 30,11	92,47	— 6,4	— 19,7
IV	0,385	— 0,23	0,27	— 49,46	58,06	— 12,8	— 15,1

38. — Efforts maxima résultant de la charge accidentelle. Lignes d'influence des moments *M_m* et *M_n*. Pour étudier le mode de travail des quatre sections envisagées I à IV, nous construirons les lignes d'influence des moments *M_m* et *M_n* pour ces sections. C'est le plus sûr moyen.

Dans ce but, nous considérons 11 positions de la charge mobile. De plus, nous la placerons, pour les sections II et III sur les verticales par *m* et *n* pour avoir avec précision les sommets correspondants des courbes d'influence.

Pour chaque position de la charge, la figure 21 nous donne la poussée horizontale et la position des réactions *h_m* et *h_n* correspondantes, et pour cela les bras de levier verticaux qui nous permettent de calculer *M_m* et *M_n*, donnés dans la table III.

Il faut noter que les lignes d'influence ainsi construites supposent que la charge, reposant directement sur l'arc, se comporte en effet comme charge concentrée, tandis que, en réalité, au milieu de l'arc elle se répartit à travers la superstructure sur une longueur plus ou moins importante, à évaluer par la règle de Winkler. Aux retombées, au contraire, elle agit par les piles des arcs de décharge et cela d'une manière statiquement indéterminée. On peut toutefois, sans trop d'erreur, admettre que la voûte transmet aux piliers deux pressions égales à celles d'une simple poutre droite. Dès lors il suffit de mener une ligne polygonale par l'intersection des verticales passant par le centre des sections d'appui et des courbes d'influence trouvées. Cette ligne est pointillée dans la figure 21.

Tabelle III.

Position de la charge unitaire.	H	SECTION I				SECTION II				SECTION III				SECTION IV			
		h _m m.	h _n m.	M _m	M _n	h _m m.	h _n m.	M _m	M _n	h _m m.	h _n m.	M _m	M _n	h _m m.	h _n m.	M _m	M _n
1	0,027	+ 5,00	+ 5,60	0,135	0,151	+ 1,60	+ 2,20	0,043	0,059	— 1,74	— 1,18	— 0,047	— 0,032	— 1,55	— 1,05	— 0,042	— 0,028
2	0,240	+ 4,80	+ 5,41	1,152	1,298	+ 1,45	+ 2,06	0,348	0,494	— 1,76	— 1,21	— 0,422	— 0,290	— 1,42	— 0,92	— 0,341	— 0,221
3	0,565	+ 4,22	+ 4,86	2,384	2,746	+ 1,06	+ 1,69	0,599	0,955	— 1,76	— 1,21	— 0,994	— 0,684	— 1,02	— 0,52	— 0,576	— 0,294
4	0,833	+ 3,60	+ 4,26	2,999	3,549	+ 0,66	+ 1,30	0,550	1,083	— 1,69	— 1,13	— 1,408	— 0,941	— 0,41	+ 0,09	— 0,342	+ 0,075
5	1,026	+ 2,80	+ 3,50	2,873	3,591	+ 0,18	+ 0,85	0,185	0,872	— 1,53	— 0,94	— 1,570	— 0,964	+ 0,49	+ 0,99	+ 0,502	+ 1,016
6	1,100	+ 1,68	+ 2,45	1,848	2,695	— 0,46	+ 0,25	— 0,506	0,275	— 1,15	— 0,55	— 1,265	— 0,605	+ 1,96	+ 2,46	+ 2,156	+ 2,706
7	1,026	+ 0,10	+ 0,96	0,103	0,985	— 1,28	— 0,50	— 1,313	— 0,513	— 0,40	+ 0,21	— 0,410	0,215				
8	0,833	— 2,29	— 1,24	— 1,908	— 1,033	— 2,30	— 1,40	— 1,916	— 1,166	+ 1,39	+ 2,08	1,158	1,733				
	0,691										+ 4,15		2,868				
	0,680									+ 3,64		2,475					
9	0,565	— 6,20	— 4,76	— 3,503	— 2,689	— 3,40	— 2,29	— 1,921	— 1,294	+ 3,21	+ 3,70	1,814	2,090				
10	0,240	— 17,36	— 14,41	— 4,166	— 3,458	— 3,16	— 1,05	— 0,758	— 0,252	+ 2,40	+ 2,88	0,576	0,691				
	0,106						+ 9,48		1,005								
	0,090					+ 9,00		0,810									
11	0,027	+ 13,95*	+ 14,35*	— 2,253	— 1,663	+ 8,92	+ 9,35	0,241	0,252	+ 2,12	+ 2,61	0,057	0,070				

* Ordonnée verticale de la résultante de *R_A* et de *P*; soit $\begin{cases} M_m = 0,027 \times 13,95 - 1 \times 2,63 = - 2,253 \\ M_n = 0,027 \times 14,35 - 1 \times 2,05 = - 1,663. \end{cases}$

Tabelle IV.

Sections.	W m ³	min. M _m tm.	max. M _m tm.	min. M _n tm.	max. M _n tm.	$\frac{\sigma_i}{\mu}$ Kg/cm ²	$\frac{\sigma_e}{\mu}$ Kg/cm ²	Position du train.
I	1,056	— 340	+ 110	— 244	+ 150	— 32,2	+ 23,1	1 ^{er} axe 2 ^{me} locomotive à m. 12,60
II	0,755	— 172				— 22,8		» » » 13,20
III	0,469					+ 23,5		» » » 7,40
IV	0,385					+ 125		» » » 13,10
								» » » 11,70
								1 seule locomotive avec le 3 ^e essieu sur la clef.

Pour une charge située près de la verticale du sommet d'une ligne d'influence, l'ordonnée correspondante doit être convenablement réduite à cause de la répartition de la charge dont on a parlé. A part cette position spéciale, la correction est négligeable.

Au moyen de ces lignes d'influence, on peut vérifier les moments M_m et M_n calculés d'autre façon pour le poids propre.

39. — Coefficients maxima de travail pour la charge accidentelle. Ces observations faites, nous rechercherons, pour les sections I, II, III, IV, les coefficients de travail maximum à l'intrados et à l'extrados, résultant du passage de deux locomotives accouplées de front, du type donné par la *Circulaire ministérielle française* de 1891. Le schéma en est donné au bas de la figure 21.

Le calcul a été limité aux efforts pouvant intéresser pour la recherche ultérieure des coefficients maxima de travail. De plus, on a considéré le poids intégral des axes de machines et de tender, soit 14 t. et 12 t., laissant de côté, pour le moment, la question de la répartition de cette charge en sens transversal au pont.

Les efforts effectifs se déduiront de ceux indiqués ci-après par simple multiplication par un facteur de réduction μ , dont la table IV ne tient pas compte.

Nous avons donné à μ la valeur $\frac{1}{4}$ en admettant que la charge totale se répartit sur 4 fois la largeur de l'anneau. En faisant la somme algébrique des efforts dus au poids propre et à la charge accidentelle, nous trouvons :

40. — Coefficients maxima totaux de travail dû aux charges.

Sections.	$\frac{\sigma_i}{\mu}$ Kg/cm ²	$\frac{\sigma_e}{\mu}$ Kg/cm ²
I	— 29,3	+ 2,7
II	— 23,9	—
III	—	— 27,7
IV	—	— 23,2

41. — Efforts dus à une variation de température. Une variation de température provoque une poussée (n° 26) agissant suivant l'horizontale passant par le centre de gravité G. Sa valeur est

$$37) \quad H_t = \frac{\alpha t l \cdot E}{\sum \frac{ds}{I} \cdot y^2}$$

où, dans notre cas,

$$\alpha = 0,000008$$

$$E = 250 \text{ t./cm}^2$$

$$l = \text{corde de l'axe géométrique de l'arc, soit 4904 cm.}$$

$\sum \frac{ds}{I} y^2 =$ moment d'inertie de l'arc par rapport à l'axe x.

Cette dernière valeur est donnée soit par la figure 20, soit par la figure 23. On lit n à l'échelle des poids élastiques $\frac{ds}{I}$, soit 2 mm. par unité, et la multiplie par les deux distances polaires exprimées en mètres à l'échelle :

$$\sum \frac{ds}{I} y^2 = \frac{2 \times 24,6}{2} \times 8 \times 5 = 984,$$

en prenant le mètre comme unité. Les autres quantités de l'équation 37) ayant le centimètre comme unité, cela nous donne 9,84 à cette échelle

$$H_t = \frac{0,000008 \times 250 \times 4904}{9,84} t^0 = 0,997 \cdot t^0.$$

Dans la supposition justifiée d'une variation de température de 10° dans toute la masse de la construction, nous trouvons

$$H_t = 9,97 \text{ t.}$$

Les coefficients de travail à l'intrados des naissances et à l'extrados de la clef produits par un abaissement de température de 10° sont :

$$- \sigma_i = \frac{9970 \times 825}{1\,056\,000} = 7,8 \text{ Kg/cm}^2$$

$$- \sigma_e = \frac{9970 \times 226}{385\,000} = 5,8 \text{ »}$$

42. — Coefficient maximum absolu de pression. Tenant compte encore de ce dernier effort, nous trouvons comme coefficient maximum de pression dans la grande arche du pont Antoinette $\sigma = 37 \text{ kg./cm}^2$ à l'intrados des naissances et 29 kg./cm² à l'extrados de la clef.

[A suivre].