

places. On a prévu sur chaque plate-forme trois places sur strapontins, ce qui permet d'y charger, au besoin, des marchandises. Si l'on tient compte de la place réservée au conducteur, la voiture complète contient quinze voyageurs.

Sur les deux plates-formes sont disposées, comme pour une voiture de funiculaire à rails, la manivelle de commande du frein à main et la manivelle pour l'embrayage du frein automatique. Sur un côté de la voiture, à sa partie inférieure, se trouve le rouleau du câble-guide.

L'éclairage de la voiture se fait par l'acétylène; pour des motifs de sécurité, le générateur a été placé sur le toit, de même que deux grands réflecteurs pour l'éclairage de la ligne.

**DISPOSITIFS DE SÛRETÉ.** — Il faut distinguer les dispositifs de sûreté dans les stations, sur les voitures et sur la ligne : à cette dernière catégorie appartiennent les installations de signaux et le téléphone mis en circuit au moyen de fiches, qu'on branche en cas de besoin, de chaque voiture, sur les fils téléphoniques tendus le long de la ligne.

*Dispositifs de sûreté des stations.* — L'arbre moteur principal d'une station motrice porte le frein à main, qui sert à arrêter la ligne en cas de rupture d'une roue dentée. Sur le deuxième arbre horizontal sont montés (fig. 10) deux autres freins, dont l'un automatique et l'autre à main. La commande du câble tracteur est également munie d'un frein à sabot qui fonctionne automatiquement quand on freine au moyen du câble-frein, la voiture étant en marche. D'autre part, dans le cas où le courant électrique ferait défaut, un

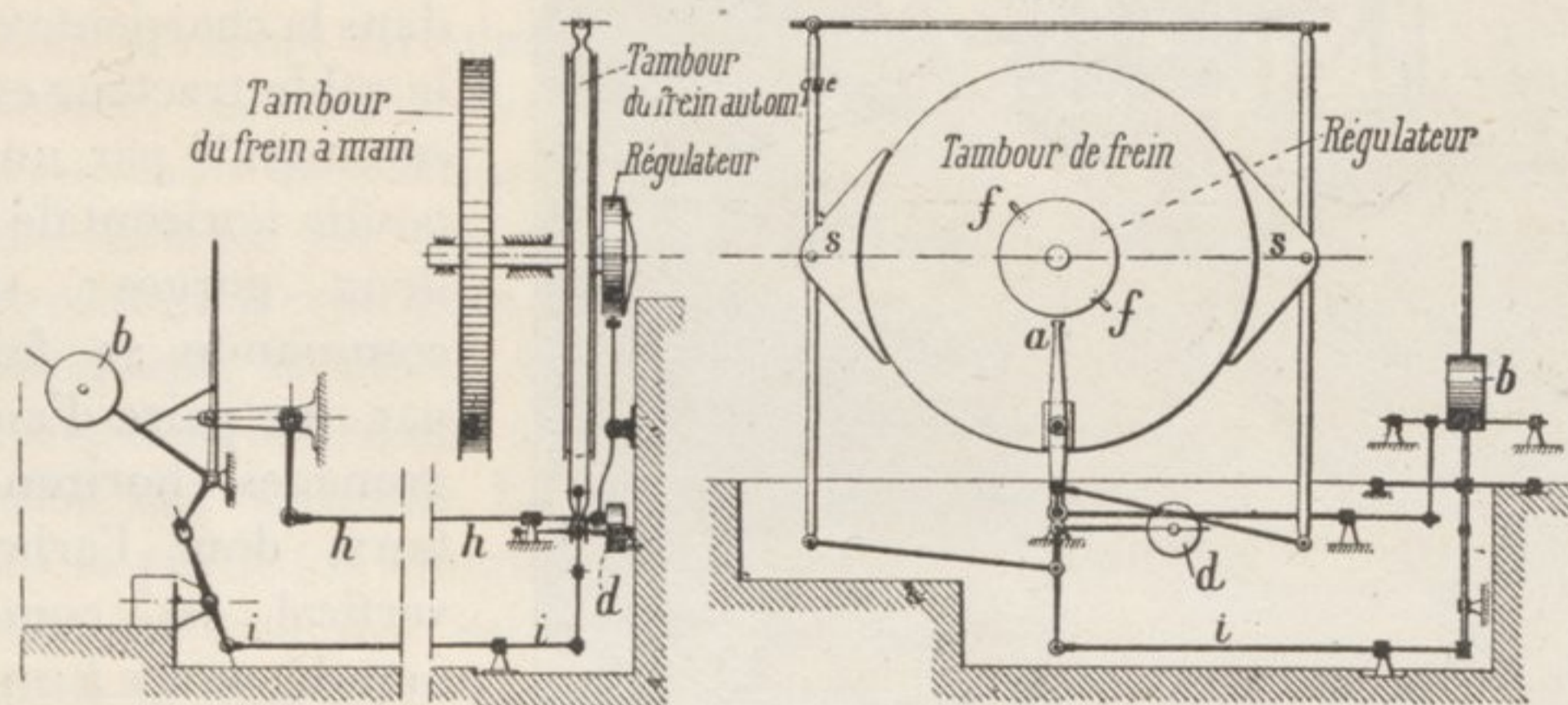


FIG. 10. — Schéma de la commande du frein automatique, dans une station.

Le régulateur agit, par les butoirs *f*, sur le levier *a* et déclenche le contrepois *b*, par la transmission *h*. Ce contrepois agit par la commande *i* pour serrer les sabots *s*, que le contrepois *d* maintient normalement desserrés.

frein électromagnétique agissant sur l'arbre du moteur arrêterait toute l'installation, autrement la vitesse du câble tracteur pourrait devenir excessive; le même but est atteint par un régulateur centrifuge qui, si le nombre de tours des poulies de commandes dépassait la limite fixée, ferait fonctionner le frein automatique.

On a prévu pour le câble tracteur un dispositif d'arrêt qui, en cas de rupture de ce câble, rattraperait automatiquement le bout devenu libre. Enfin, si par un hasard quelconque, un effort excessif était exercé sur les câbles, le disjoncteur à maxima fonctionnerait et toute l'installation s'arrêterait instantanément.

*Dispositifs de sûreté de la voiture.* — Nous rappellerons d'abord ceux qui empêchent la voiture de dérailler et de tomber. Mais le dispositif de sûreté le plus remarquable est le frein automatique destiné à agir en cas de rupture du câble tracteur, en rattachant automatiquement la voiture au câble-frein. Par mesure de sécurité et pour réduire le poids mort, on produit la pression sur les mâchoires qui embrassent constamment le câble-frein, au moyen du poids propre de la voiture et de la traction du brin inférieur du câble tracteur (1). En cas de fonctionnement de ce frein, la caisse de la voiture tomberait de 70 à 80 millimètres; un amortisseur à huile réduirait la secousse. Ce frein peut également, en cas de danger, être actionné à partir des plates-formes, de même qu'un frein à main et à vis produisant les mêmes effets. Pour faciliter le contrôle des câbles porteurs et tracteurs, on a prévu, près du mécanisme de roulement, deux sièges d'où l'on peut commodément observer ces câbles.

**INSTALLATION ÉLECTRIQUE.** — Le courant triphasé à 3 000 volts et 50 périodes est fourni par l'usine de Lana, et transformé dans la station supérieure en courant continu à 550 volts; une ligne alimente en continu la station intermédiaire.

(1) Ce mécanisme ingénieux a été décrit en détail dans le numéro précité du *Génie Civil* (23 novembre 1912).

Dans la station supérieure est installée la batterie-tampon au moyen de laquelle, en cas d'arrêt du courant électrique, le fonctionnement de la ligne peut encore être maintenu pendant une à deux heures. Les moteurs, de 50 chevaux, peuvent supporter pendant quelques minutes une forte surcharge sans s'échauffer. La consommation moyenne, avec la voiture montante chargée complètement, est de 35 chevaux, mais il faut 70 chevaux au moment où la voiture entre sur la rampe maximum.



FIG. 11. — Croisement de deux voitures, au milieu d'une section.

**MONTAGE DU FUNICULAIRE.** — Pour le montage, il a été construit, le long de la ligne définitive, une ligne électrique auxiliaire, également aérienne à une seule voie et à deux tronçons, transportant le sable, les matériaux de construction, l'eau, les pièces de fer et les organes de machines, et enfin les ouvriers chargés du montage; il n'y a eu aucun accident. Au mois d'août 1911, on commença l'opération la plus difficile, le tirage des câbles, en posant provisoirement sur les pylônes des rouleaux en bois dur. Le treuil du câble-frein, dont les dimensions ont été renforcées dans ce but, a été employé pour ce travail, qui n'a duré qu'une vingtaine de jours.

A. C.

## RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

### PONT SUSPENDU FIXE, SYSTÈME GISCLARD sur la Luzège (Corrèze).

(Suite et fin 1.)

**ÉPREUVES SUBIES PAR LE PONT.** — Les épreuves subies par le pont de Lapeau ont été combinées de façon à présenter une certaine progression dans les surcharges, de manière que l'on puisse tirer des conclusions intéressantes de l'étude comparative des résultats annoncés par la théorie et de ceux observés lors des épreuves.

Ces épreuves comprirent quatre opérations distinctes qui consistèrent à faire circuler et stationner :

1° Une locomotive et son tender dans la position A de la figure 13;

(1) Voir le *Génie Civil*, t. LXIII, n° 5, p. 81.



Si l'on rapproche de ces résultats théoriques les résultats pratiquement observés — 1<sup>kg</sup> 20, — 1<sup>kg</sup> 60, — 1<sup>kg</sup> 60, et — 2<sup>kg</sup> 00, la concordance justifie : d'une part, l'exactitude de la théorie en ce qui concerne le travail développé dans les poutres de rive et dû à la flèche prise par le tablier ; d'autre part, les précisions des résultats théoriques en ce qui concerne les flèches prises par le tablier lors des surcharges. Nous reviendrons plus loin sur ce point important.

Toutefois, il est nécessaire d'insister ici sur ce fait que le taux de travail  $R_i$  précédent, n'est pas le travail réel développé dans les poutres de rive. En effet, le tablier étant à vide est réglé, lors de sa pose, suivant un bombement déterminé ; ici, au viaduc de la Luzège, le bombement adopté a été de 0<sup>m</sup> 120 (correspondant à une valeur légèrement supérieure à l'abaissement relatif au passage d'un train normal) un travail d'extension de + 1<sup>kg</sup> 400 par millimètre carré est donc développé dans la membrure supérieure ; lors du passage du train d'épreuve complet, par exemple, le travail réel n'est donc plus que la différence, soit + 1,40 — 2,185 = — 0<sup>kg</sup> 785 par millimètre carré.

Pour les pièces de pont, si on envisage le moment fléchissant théorique qui est développé dans sa section centrale, en tenant compte des poids des roues qui sont reportés sur cette pièce de pont axiale de la travée par les longerons sous rails (encastrés à leurs extrémités), on trouve :

$$m = 37\,930 \text{ kilogrammètres,}$$

dans le cas de la quatrième opération.

Le module de section de cette pièce de pont, composée de 1 âme de 822/10, 4 cornières de 125/125/13 et des semelles de 350/14, est pour la semelle supérieure :

$$\frac{I}{n} = 0,008\,620,$$

d'où un travail de — 4<sup>kg</sup> 39 par millimètre carré. Le travail observé est — 2<sup>kg</sup> 50 par millimètre carré. L'écart entre les résultats théoriques et observés était prévu *a priori* ; les diverses pièces de pont du tablier sont ici les appuis successifs d'un certain nombre de travées solidaires qui, lors de la présence des surcharges concentrées sur une ou plusieurs travées reportent une fraction de ces surcharges sur les travées voisines non chargées. Ce report des charges diminue donc la valeur de celles envisagées théoriquement sur la pièce de pont axiale, et, par conséquent, diminue pratiquement le travail moléculaire dans ces éléments.

Pour les longerons sous rails, il en est de même : les taux du travail calculés dans le cas du train d'épreuve sont supérieurs à ceux obtenus pratiquement.

**Câbles des fermes de suspension.** — Dans cette étude comparative du travail dans les câbles des fermes de suspension, on est mieux placé que pour les éléments du tablier en acier laminé. Dans les câbles, on obtient, en effet, le travail total par millimètre carré de section, y compris l'action du poids permanent ; au contraire, dans les éléments du tablier, on ne peut déterminer que l'augmentation de travail due aux surcharges. Toutefois, pour qu'on connaisse aussi avec une grande approximation les résultats dus aux surcharges seules, il faut déterminer les résultats théoriques dus au poids permanent et les comparer à ceux obtenus pratiquement sur les câbles-témoins. Pour arriver à des conclusions intéressantes, il faut connaître avec précision les poids d'exécution résultant des pesées directes des éléments entrant dans la constitution du tablier et de la suspension.

Dans le cas du viaduc de la Luzège, pour la travée suspendue, le poids permanent du tablier, qui était dans le projet d'exécution prévu à 1 540 kilogr. par mètre courant, est réellement, d'après les pesées directes des éléments mis en œuvre, 1 515 kilogr. (1). Si on y ajoute, d'une part le poids de la voie, soit 85 kilogr., et, d'autre part, le poids d'exécution des câbles de la suspension supporté par les câbles de la ferme, soit 400 kilogr. (2), on arrive à un total de 2 000 kilogr. par mètre courant.

On a déjà donné, lors de la description du premier pont suspendu rigide (système Gisclard) (voir le *Génie Civil* des 20 et 27 février 1909) une méthode permettant de trouver les efforts de tension développés dans une pareille ferme triangulée. Dans le cas actuel, où pour le poids permanent chaque nœud d'articulation est supposé supporter un poids égal à  $\pi$ , une épure

(1) Le poids total de la partie métallique du tablier est, d'après les pesées d'exécution, 212 400 kilogr., soit au mètre courant  $\frac{212\,400 \text{ kilogr.}}{140 \text{ mètres}} = 1\,515 \text{ kilogrammes.}$

(2) Le poids total des fermes de suspension de la travée centrale donne  $\frac{72\,000}{140\,000} = 500$  kilogr. le mètre courant, dont  $\frac{1}{5}$  correspond aux éléments mêmes des câbles Ordish et au poids propre des câbles des fermes de la suspension que portent les câbles Ordish ; quant aux  $\frac{4}{5}$ , soit 400 kilogr., ils reviennent aux câbles des fermes.

graphique de Cremona appliquée à ce système isostatique et strictement défini de forme, donne directement les efforts suivants développés dans les différents câbles de la suspension :

$$\begin{aligned} T &= (5,4166 - 0,3800) \cdot \pi \\ U_5 &= 1,350 \cdot \pi & V_5 &= 5,650 \cdot \pi \\ U_4 &= 1,713 \cdot \pi & V_4 &= 4,333 \cdot \pi \\ U_3 &= 1,666 \cdot \pi & V_3 &= 2,800 \cdot \pi \\ U_2 &= 1,350 \cdot \pi & V_2 &= 1,400 \cdot \pi \\ U_1 &= 1,100 \cdot \pi & V_1 &= 0,483 \cdot \pi \end{aligned}$$

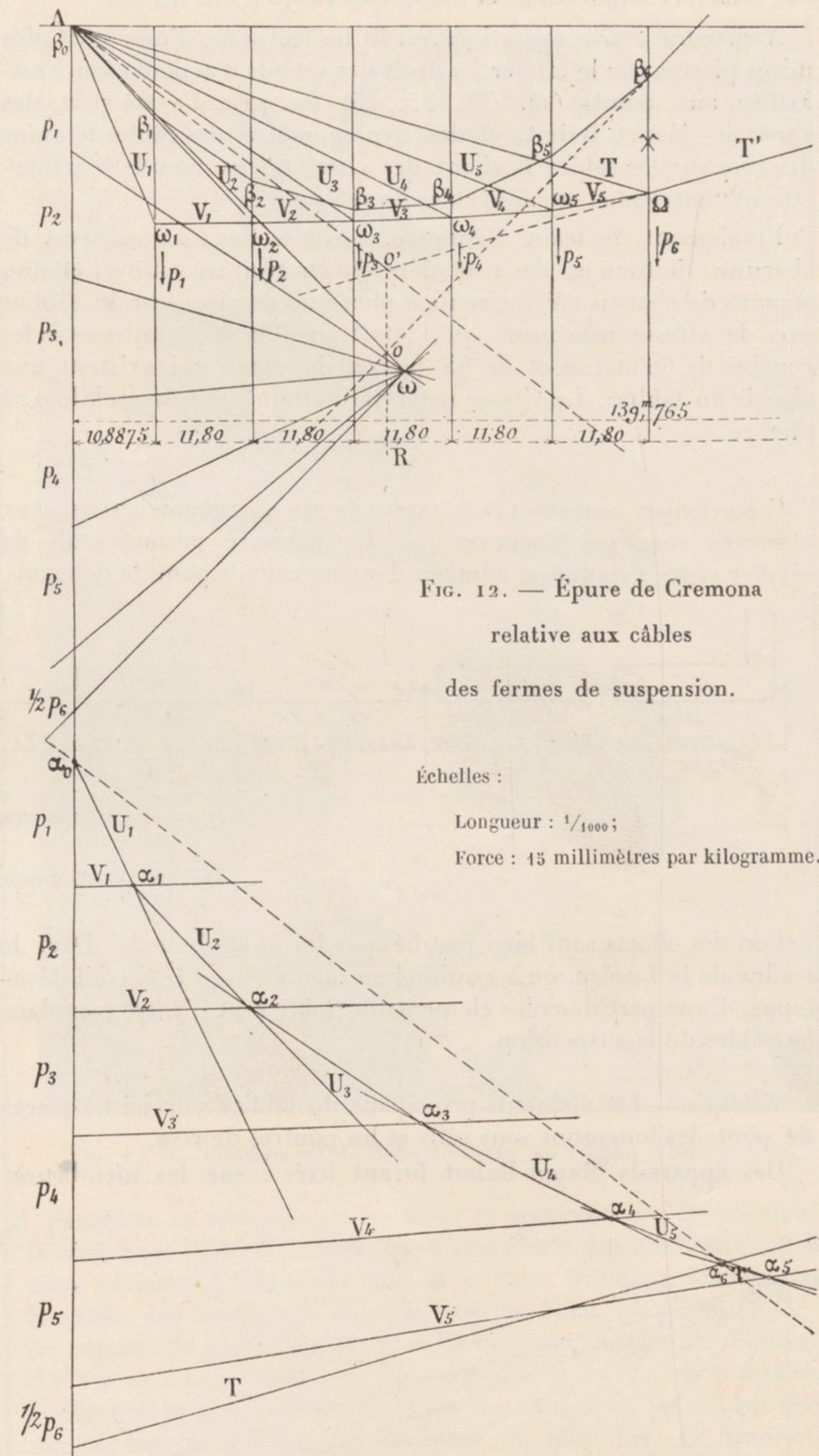


FIG. 12. — Épure de Cremona relative aux câbles des fermes de suspension.

Échelles :

Longueur :  $\frac{1}{1000}$  ;

Force : 15 millimètres par kilogramme.

Résultats.

pour	$p_1 = p_2 = p_3 ;$	$= p_5 = p_6 = 1 \text{ kg} ;$
on en déduit :	$T = \frac{162,5}{30} = 5,4166 \cdot \pi ;$	$T' = -\frac{14,4}{30} = -0,380 \cdot \pi ;$
	$U_5 = \frac{40,5}{30} = 1,350 \cdot \pi ;$	$V_5 = \frac{169,5}{30} = 5,650 \cdot \pi ;$
	$U_4 = \frac{51,4}{30} = 1,713 \cdot \pi ;$	$V_4 = \frac{130,0}{30} = 4,333 \cdot \pi ;$
	$U_3 = \frac{50,0}{30} = 1,666 \cdot \pi ;$	$V_3 = \frac{84,0}{30} = 2,800 \cdot \pi ;$
	$U_2 = \frac{40,5}{30} = 1,350 \cdot \pi ;$	$V_2 = \frac{42,0}{30} = 1,400 \cdot \pi ;$
	$U_1 = \frac{33}{30} = 1,100 \cdot \pi ;$	$V_1 = \frac{14,5}{30} = 0,4833 \cdot \pi ;$

Les données d'exécution sont :

$$\begin{aligned} f_0 &= 19^m\,86 ; & f_5 &= 21^m\,68 ; & f_4 &= 22^m\,62 ; & \lambda &= 11^m\,80 \\ f_3 &= 23^m\,44 ; & f_2 &= 23^m\,44 ; & f_1 &= 23^m\,64 ; \end{aligned}$$

NOTA. — Si l'on désigne par  $p_0$  le poids par mètre courant de tablier, y compris le poids de la voie,  $\pi = p_0 \cdot \lambda$ . On en conclut que pour le poids permanent la tension développée dans les câbles T est :

$$T = (5,4166 - 0,3800)\pi = 5,036 \times 11,80 \times p_0 = 59,4248 \cdot p_0.$$

Ici  $\pi$  a pour valeur  $11,80 \times \frac{2\,000 \text{ kilogr.}}{2} = 11\,800 \text{ kilogr.}$ . Cette épure de Cremona est faite en adoptant les échelles suivantes (fig. 12) :

- { Force : 15 millimètres par kilogramme.
- { Longueur :  $\frac{1}{1\,000}$ .

On voit que cette épure présente une vérification intéressante, la ligne de fermeture  $\alpha_0\alpha_6$  du polygone  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_5, \alpha_6$  est parallèle à la résultante des efforts de tension développés au sommet A par les divers câbles de la ferme de suspension. Cette résultante s'obtient en traçant le polygone funiculaire des charges  $p_1, p_2, p_3, \dots$  soit  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_5, \beta_6$ ; les côtés extrêmes de ce polygone se coupent en o, la verticale de ce point o rencontre le côté  $\Omega T A'$  prolongé au point o', qui, joint au point A, donne la droite cherchée.

On conclut, de ce qui précède, que sous le poids permanent seul la tension dans les câbles T est :

$$T_{p_0} = 5,0366 \times 11,80 \times \frac{2\,000}{2} = 59,4318^{(1)} \times 1\,000 = 59\,431 \text{ kg } 80.$$

Comme la nappe des câbles T est, par demi-ferme, composée de 4 câbles de 91 fils de  $4 \text{ mm } 63$  de diamètre, présentant chacun une section de  $1\,532 \text{ mm}^2$  17, il en résulte que, sous le poids permanent seul, le travail ressort à 9 kilogr. par millimètre carré. Ce taux théorique correspond aux données d'exécution des flèches et du débouché de la travée suspendue.

Ce résultat, acquis par une épure graphique, peut être vérifié par la

Lors des expériences du viaduc de la Luzège, le 8 mai 1913, on a commencé à lire avec le tablier à vide les dynamomètres des câbles-témoins réglés sur les câbles T, et on a obtenu :

- Côté Lapleau :  $9 \text{ kg } 50$  par millimètre carré.
- Côté Soursac :  $9 \text{ kg } 00$  —

La différence entre la moyenne, soit  $9 \text{ kg } 25$ , et le résultat annoncé par la théorie est donc :  $0 \text{ kg } 44$  par millimètre carré, écart peu important.

Opérations successives faites avec le train d'épreuve. — On déterminera d'abord les résultats prévus par la théorie pour chacune des quatre opérations successives définies plus haut; et on les comparera ensuite avec les taux de travail et les abaissements au centre de la travée obtenus lors des expériences d'épreuves de l'ouvrage.

La locomotive et son tender sont disposés dans la première opération en A comme l'indique la figure 13; l'augmentation de tension dans les câbles T est définie par la relation :

$$T_1 = \frac{1}{50} \left[ \frac{25\,000}{6} (91,45 + 90,75 + 90,05) + \frac{10\,000}{4} (84,0 + 81,0) \right] = 30\,937 \text{ kg } 46.$$

L'augmentation théorique du travail dans ces câbles est donc de  $5 \text{ kg } 05$  par millimètre carré. Comme le train d'épreuve est situé sur la demi-travée côté Lapleau, le maximum de tension développé dans les câbles-T est dans la demi-ferme opposée, côté Soursac.

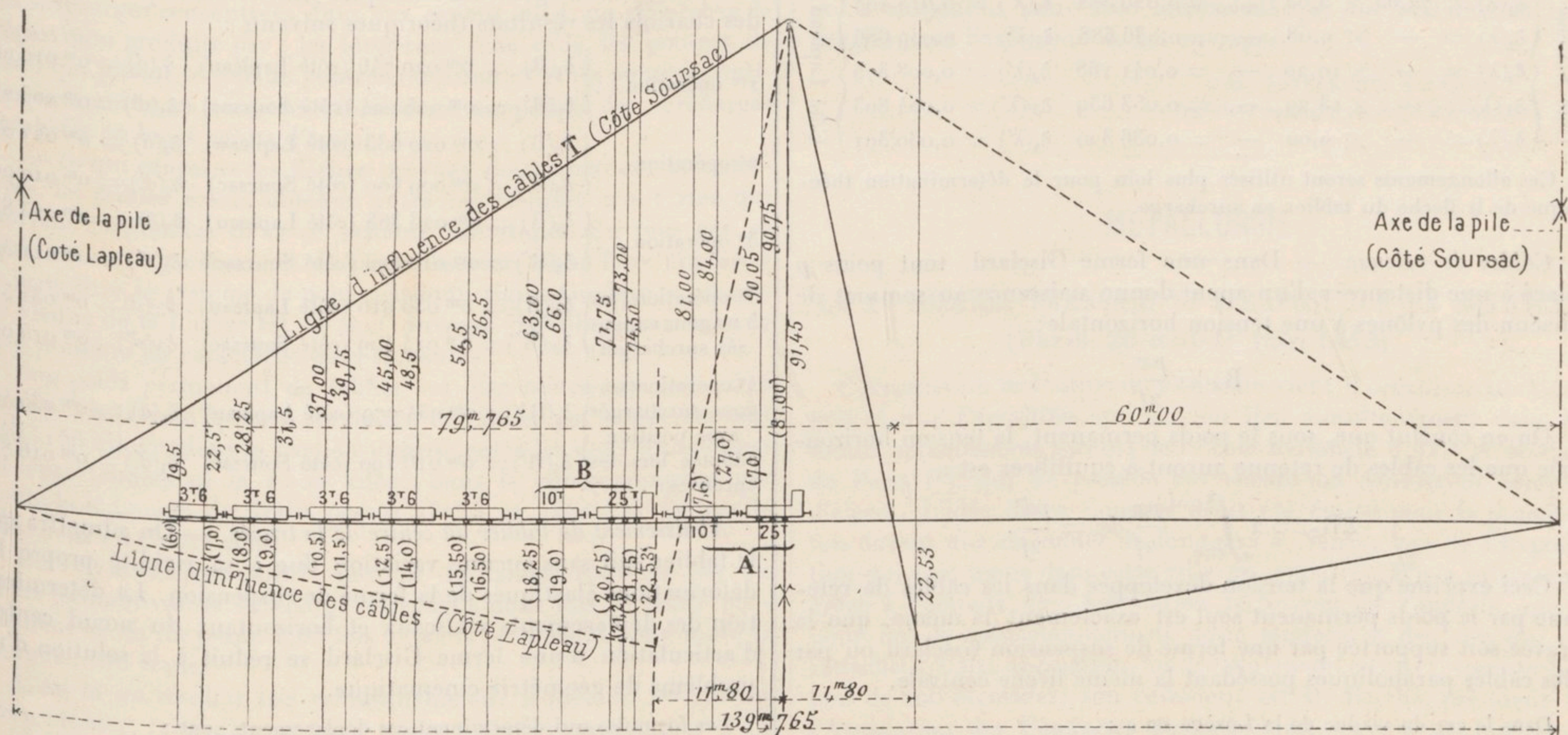


FIG. 13. — Épure de la ligne d'influence des câbles T.

méthode rigoureuse qui consiste à définir la ligne d'influence de la tension développée dans les câbles T.

Cette ligne d'influence résulte, comme on sait (voir le Génie Civil du 27 février 1909), des valeurs des expressions :

$$\text{Max. } T = P \sqrt{\frac{d^2 + f^2}{2f}}$$

$$\text{Min. } T = -P \cdot \frac{d - x_0}{2\Delta_0} \left( \frac{x_0}{d} + \frac{y_0}{f} \right)$$

Les données d'exécution sont :

$$2d = 139 \text{ m } 765 \quad f = 19 \text{ m } 86 \quad x_0 = + 11 \text{ m } 80 \quad y_0 = - 1 \text{ m } 82$$

$$\Delta_0 = 4 \text{ m } 975 \quad P = 1 \text{ kilogr.}$$

Par conséquent, en adoptant les échelles suivantes :

- { Longueur :  $\frac{1}{300}$ ,
- { Force : 50 millimètres par kilogramme,

on en conclut :

$$\text{Max. } T = 91 \text{ mm } 4525, \quad \text{Min. } T = - 22 \text{ mm } 5340.$$

Cette ligne d'influence (fig. 13) donne, pour l'action du poids permanent :

$$T_{p_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{50} [19,765 \times 91,45 - 22,53 \times 60] p_0 = 59,42709 \times p_0 = 59\,427 \text{ kg } 09.$$

et par conséquent un travail de  $9 \text{ kg } 69$  par millimètre carré de section.

(1) Ce coefficient est le même que celui qui est trouvé plus loin par la méthode des lignes d'influence.

Quant à l'augmentation de tension que subissent les câbles T de la demi-ferme, côté Lapleau, elle est égale à :

$$T_1 = \frac{1}{50} \left[ \frac{25\,000}{6} (91,45 + 81,0 + 70,0) + \frac{10\,000}{4} (27,0 + 7,5) \right] = 21\,929 \text{ kg } 134,$$

donnant lieu à une augmentation de travail de  $+ 3 \text{ kg } 57$  par millimètre carré de section.

On obtient de la même façon les résultats qui correspondent aux trois autres opérations. Les wagons employés dans la troisième opération pesaient à vide 3 600 kilogr., et en pleine charge, dans la quatrième opération, 13 500 kilogrammes.

On déduit de ces résultats le tableau suivant, qui résume d'une part les efforts et taux théoriques du travail et d'autre part les taux de travail obtenus au moyen des câbles-témoins, lors des opérations correspondantes.

	CABLES T (CÔTÉ SOURSAC)				CABLES T (CÔTÉ LAPLEAU)			
	AUGMENTATION		TRAVAIL théorique total	TRAVAIL observé	AUGMENTATION		TRAVAIL théorique total	TRAVAIL observé
	Tension	Travail			Tension	Travail		
	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	kilogr.	
Poids permanent seul.	62 398,44	+ 9,69	+ 9,69	+ 9,00	62 398,44	+ 9,69	+ 9,69	+ 9,50
1 <sup>re</sup> opération.	30 937,46	+ 5,05	+ 14,74	+ 14,00	24 929,13	+ 3,37	+ 13,26	+ 14,00
2 <sup>e</sup> opération.	35 658,26	+ 9,08	+ 18,77	+ 14,60	14 754,44	+ 2,40	+ 12,09	+ 14,60
3 <sup>e</sup> opération.	62 532,266	+ 10,20	+ 19,89	+ 14,00	12 765,14	+ 2,08	+ 11,77	+ 10,50
4 <sup>e</sup> opération.	55 170,807	+ 9,00	+ 18,69	+ 13,50	46 193,768	+ 7,53	+ 17,22	+ 12,30

Si l'on avait adopté pour le train d'épreuve avec les 5 wagons chargés à 13<sup>t</sup> 5 l'un, la position de la troisième opération, la ligne d'influence indique que l'augmentation de tension dans les câbles T aurait été :

$$\begin{aligned} \text{Côté Lapleau} &= 81\,510^{\text{kg}}\,766 = T_3 \\ \text{Côté Soursac} &= 7\,295^{\text{kg}}\,390 = T_3' \end{aligned}$$

conduisant successivement à :

$$\begin{aligned} \text{une augmentation de travail de} & \left\{ \begin{array}{l} + 13^{\text{kg}}\,39 \text{ par mm}^2 \text{ côté Soursac} \\ + 1^{\text{kg}}\,19 \text{ — côté Lapleau} \end{array} \right. \\ \text{un travail théorique total} & \left\{ \begin{array}{l} + 22^{\text{kg}}\,98 \text{ — côté Soursac} \\ + 10^{\text{kg}}\,88 \text{ — côté Lapleau} \end{array} \right. \end{aligned}$$

La position adoptée pour la quatrième opération a donné théoriquement une augmentation de tension (côté Soursac) de :

$$T_4 = 4\,166,66 \times 3,899 + 2\,500 \times 15,57 = 55\,170^{\text{kg}}\,807.$$

Quant à l'augmentation de tension (côté Lapleau) dans les câbles T, elle est :

$$T_4' = 4\,166,66 \times 9,719 - 2\,500 \times 2,28 = 46\,195^{\text{kg}}\,768.$$

Le surcroît de travail est donc dans cette hypothèse de :

$$\begin{aligned} + 9^{\text{kg}}\,00 \text{ par millimètre carré dans ces câbles T (côté Soursac);} \\ + 7^{\text{kg}}\,53 \text{ — — — — — (côté Lapleau).} \end{aligned}$$

Le coefficient d'allongement élastique des câbles est de  $\frac{1}{18000}$ , la longueur des câbles T est 72<sup>m</sup> 65, on en conclut pour chacune des quatre opérations précédentes les allongements suivants :

$$\begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} \delta_1(\lambda) = 72,65 \times 5,05 \frac{1}{18000} = 0,020\,382 \\ \delta_2(\lambda) = \text{—} \times 9,08 \text{ —} = 0,036\,688 \\ \delta_3(\lambda) = \text{—} \times 10,20 \text{ —} = 0,041\,168 \\ \delta_4(\lambda) = \text{—} \times 13,29 \text{ —} = 0,053\,639 \\ \delta_5(\lambda) = \text{—} \times 9,00 \text{ —} = 0,036\,320 \end{array} \right\} \text{Côté Soursac} \\ \left. \begin{array}{l} \delta_1(\lambda') = 0,014\,408 \\ \delta_2(\lambda') = 0,009\,686 \\ \delta_3(\lambda') = 0,008\,375 \\ \delta_4(\lambda') = 0,004\,803 \\ \delta_5(\lambda') = 0,030\,391 \end{array} \right\} \text{Côté Lapleau} \end{array}$$

Ces allongements seront utilisés plus loin pour la détermination théorique de la flèche du tablier en surcharge.

*Câbles de retenue.* — Dans une ferme Gisclard, tout poids  $p$  placé à une distance  $x$  d'un appui donne naissance au sommet de chacun des pylônes à une tension horizontale;

$$R_x = \frac{px}{2f}$$

On en conclut que, sous le poids permanent, la tension horizontale que les câbles de retenue auront à équilibrer est :

$$\Sigma R_x = 2 \int_{x=0}^{x=d} \frac{px}{2f} dx = \frac{pd^2}{2f}$$

Ceci exprime que la tension développée dans les câbles de retenue par le poids permanent seul est exactement la même, que la travée soit supportée par une ferme de suspension Gisclard ou par des câbles paraboliques possédant la même flèche centrale.

Dans le cas du viaduc de la Luzège on a :

$$p = \frac{2\,000 \text{ kilogr.}}{2} \quad 2d = 139^{\text{m}}\,765 \quad f = 19^{\text{m}}\,86,$$

on en conclut :  $\Sigma R_x = 122\,944^{\text{kg}}\,282.$

Les câbles Ordish qui supportent par mètre courant un poids de 100 kilogr. de la suspension développent au sommet d'un chariot de dilatation une tension horizontale de :

$$\frac{pd^2}{2f_1} = 16\,279^{\text{kg}}\,247 \quad f_1 = 7^{\text{m}}\,50 \\ p_1 = 50 \text{ kilogrammes.}$$

En tenant compte de l'angle d'inclinaison des câbles de retenue sur la verticale, soit 79°—20' côté Lapleau et 74°—00' côté Soursac, on obtient les tensions théoriques de :

$$\begin{aligned} 142\,007^{\text{kg}}\,99 \text{ côté Lapleau,} \\ 145\,140^{\text{kg}}\,53 \text{ côté Soursac,} \end{aligned}$$

dans les câbles de retenue. Ces câbles sont constitués par quatre câbles de chacun 127 fils de 4<sup>mm</sup> 87 de diamètre présentant une section totale de 9 462<sup>mm</sup>² 52. Les taux de travail correspondants sous le poids permanent sont donc :

$$\begin{aligned} 15^{\text{kg}}\,01 \text{ par millimètre carré côté Lapleau;} \\ 15^{\text{kg}}\,33 \text{ — — — — — côté Soursac.} \end{aligned}$$

Les observations faites sur les câbles-témoins placés sur ces câbles de retenue ont donné, le tablier étant à vide :

$$\frac{15,80 + 14,90}{2} = 15^{\text{kg}}\,35 \text{ — — — — — côté Soursac.}$$

*Action du train d'épreuve.* — La ligne d'influence définissant la tension horizontale développée au sommet d'un pylône est déterminée par la relation citée précédemment.

En opérant comme on l'a montré précédemment pour les câbles T on obtient les résultats successifs suivants :

	TENSION horizontale à équilibrer	CABLES DE RETENUE							
		CÔTÉ LAPLEAU				CÔTÉ SOURSAC			
		Tension développée	Travail par mm <sup>2</sup>	Travail théorique total	Travail observé	Tension développée	Travail par mm <sup>2</sup>	Travail théorique total	Travail observé
kilogr.	kilogr.	kg	kg	kg	kilogr.	kg	kg	kg	
Action du poids permanent . . . . .	139 223,53	142 007,99	15,01	15,01	15,00	145 140,53	15,33	15,33	15,35
1 <sup>re</sup> opération . . . . .	25 513,40	26 023,67	2,75	17,76	16,00	26 597,72	2,81	18,74	16,00
2 <sup>e</sup> opération . . . . .	48 946,46	49 925,39	5,28	20,29	17,50	51 026,68	5,39	20,72	17,00
3 <sup>e</sup> opération (5 wagons à vide) . . . . .	55 462,46	56 571,71	5,98	20,99	18,00	57 819,64	6,44	21,44	17,50
3 <sup>e</sup> opération (les 5 wagons supposés surchargés) . . . . .	72 381,46	74 849,09	7,91	22,92	»	76 500,17	8,09	23,42	»
4 <sup>e</sup> opération . . . . .	82 497,02	84 446,96	8,90	23,91	19,70	86 003,14	9,09	24,42	19,50

Si l'on remarque que la longueur d'exécution des câbles de retenue côté Lapleau est 70<sup>m</sup> 341 et côté Soursac 32<sup>m</sup> 061, on en conclut pour les allongements élastiques  $\delta(R)$  et les déplacements  $\delta(d)$  des chariots les résultats théoriques suivants :

$$\begin{aligned} 1^{\text{re}} \text{ opération. } & \left\{ \begin{array}{l} \delta_1(R) = 0^{\text{m}}\,010\,746 \text{ (côté Lapleau)} \\ \delta_1(R') = 0^{\text{m}}\,005\,004 \text{ (côté Soursac)} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta_1(d) = 0^{\text{m}}\,010\,961 \\ \delta_1(d') = 0^{\text{m}}\,005\,217 \end{array} \right. \\ 2^{\text{e}} \text{ opération. } & \left\{ \begin{array}{l} \delta_2(R) = 0^{\text{m}}\,020\,633 \text{ (côté Lapleau)} \\ \delta_2(R') = 0^{\text{m}}\,009\,600 \text{ (côté Soursac)} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta_2(d) = 0^{\text{m}}\,021\,045 \\ \delta_2(d') = 0^{\text{m}}\,010\,008 \end{array} \right. \\ 3^{\text{e}} \text{ opération. } & \left\{ \begin{array}{l} \delta_3(R) = 0^{\text{m}}\,023\,368 \text{ (côté Lapleau)} \\ \delta_3(R') = 0^{\text{m}}\,010\,872 \text{ (côté Soursac)} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta_3(d) = 0^{\text{m}}\,023\,835 \\ \delta_3(d') = 0^{\text{m}}\,011\,334 \end{array} \right. \\ 3^{\text{e}} \text{ opération (les 5 wagons supposés surchargés)} & \left\{ \begin{array}{l} \delta_3^{\text{sur}}(R) = 0^{\text{m}}\,030\,910 \text{ (côté Lapleau)} \\ \delta_3^{\text{sur}}(R') = 0^{\text{m}}\,014\,409 \text{ (côté Soursac)} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta_3^{\text{sur}}(d) = 0^{\text{m}}\,031\,528 \\ \delta_3^{\text{sur}}(d') = 0^{\text{m}}\,015\,021 \end{array} \right. \\ 4^{\text{e}} \text{ opération (wagons surchargés avec position adoptée lors des épreuves) . . . . .} & \left\{ \begin{array}{l} \delta_4(R) = 0^{\text{m}}\,034\,779 \text{ (côté Lapleau)} \\ \delta_4(R') = 0^{\text{m}}\,016\,190 \text{ (côté Soursac)} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \delta_4(d) = 0^{\text{m}}\,035\,474 \\ \delta_4(d') = 0^{\text{m}}\,016\,878 \end{array} \right. \end{aligned}$$

*Abaissement du tablier au centre de la travée.* — On admettra que le tablier suit sans aucune variation due à sa rigidité propre les déformations élastiques de la ferme de suspension. La détermination des déplacements verticaux et horizontaux du nœud central d'articulation d'une ferme Gisclard se réduit à la solution d'un problème de géométrie cinématique.

Les formules qui déterminent ces déplacements sont :

$$\begin{aligned} \delta_{(y)} &= -\frac{1}{2f} \left[ \sqrt{f^2 + d^2} (\delta(\lambda) + \delta(\lambda')) + d(\delta(d) + \delta(d')) \right], \\ \delta_{(x)} &= \frac{1}{2d} \left[ \sqrt{f^2 + d^2} (\delta(\lambda) - \delta(\lambda')) + d(\delta(d) - \delta(d')) \right], \end{aligned}$$

$\delta_{(y)}$  et  $\delta_{(x)}$  représentent respectivement l'abaissement vertical et le déplacement horizontal du nœud d'articulation central.

Dans le viaduc de la Luzège, on a :

$$\frac{\sqrt{f^2 + d^2}}{2f} = 1,82\,905 \quad \frac{d}{2f} = 1,759\,3.$$

On en conclut, avec les valeurs données plus haut pour  $\delta(\lambda)$ ,  $\delta(\lambda')$ ,  $\delta(d)$  et  $\delta(d')$ , le tableau suivant :

	ABAISSEMENT théorique	MOYENNE de l'abaissement observé par deux observateurs	ECART entre les résultats théoriques et observés
	millim.	millimètres	millim.
Première opération . . . . .	92	$\frac{73 + 69}{2} = 71$	21
Deuxième opération . . . . .	139	$\frac{134 + 133,5}{2} = 134$	5
Troisième opération { 5 wagons vides . . . . . { 5 wagons surchargés. . . . .	152 188	$\frac{136 + 137,5}{2} = 137$ »	15 »
Quatrième opération . . . . .	214	$\frac{188,5 + 186,0}{2} = 187,25$	26,75

(1) Lors des épreuves on a observé, pour les déplacements des chariots : 34 millimètres côté Lapleau et 43 millimètres côté Soursac.

Les observateurs étaient placés l'un sur la pile côté Lapleau, l'autre, sur la pile côté Soursac.

D'ailleurs, le graphique (fig. 14) reproduit aux échelles suivantes :

horizontale,  $\frac{1}{1000}$ ,  
verticale,  $\frac{1}{10}$ .

les déformations du tablier lors des quatre opérations successives.

CONCLUSION. — Les taux théoriques du travail dans les câbles des fermes de suspension sont confirmés par les observations lors-

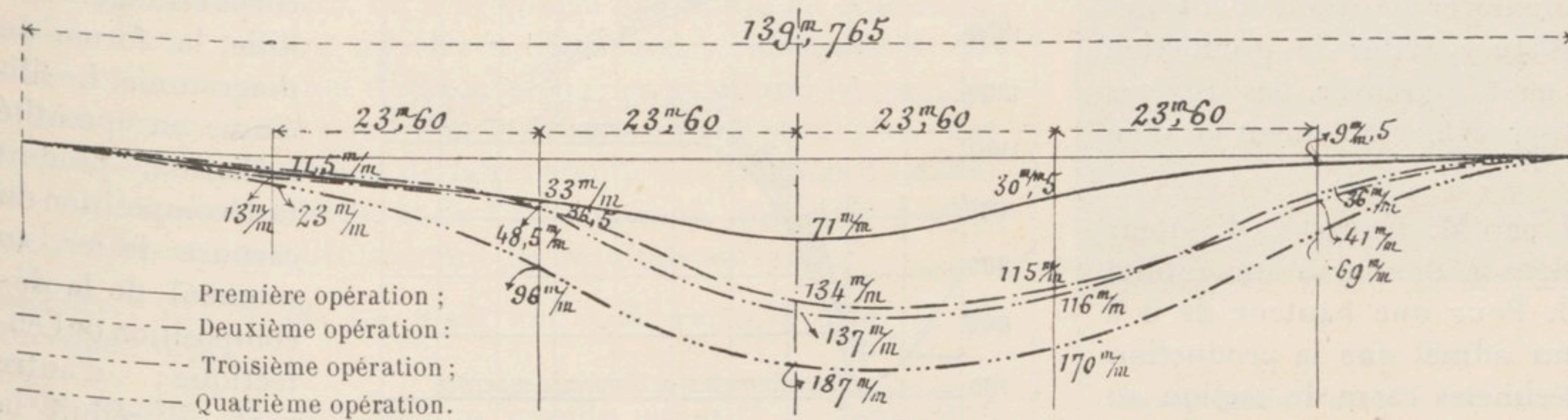


FIG. 14. — Déformations du tablier dans les quatre essais.

qu'il s'agit de l'action du poids permanent. Dès qu'interviennent les surcharges concentrées dues aux essieux du train d'épreuve la répartition produite par : les longerons sous rails, les poutres de rive, qui jouent le rôle de poutres raidissantes et de poutres continues, diminue les tensions calculées en supposant les surcharges localisées en leurs points d'appui.

En ce qui concerne les flèches prévues théoriquement et observées, les faibles écarts obtenus entre les résultats n'ont rien qui doivent surprendre dans ce système isostatique. En tous cas, ce qu'il est surtout nécessaire de faire observer, pour faire apprécier à juste titre le système de pont suspendu rigide Gisclard, c'est que le viaduc de la Luzège est le seul ouvrage métallique au monde qui présente les caractéristiques suivantes :

Son poids permanent de tablier est, par mètre courant, 1 515 kilogr. ; le train d'épreuve surcharge ce tablier par mètre courant de 3 156 kilogr. dans la partie comprise entre les deux locomotives et leurs tenders et de 2 500 kilogr. dans la partie comprise par toute la longueur du train pesant 137<sup>t</sup>5 et ayant 55 mètres de longueur en chiffre rond.

On voit ainsi que, dans la portion du tablier couverte par les deux locomotives, la surcharge est égale à deux fois le poids permanent et en moyenne 1,65 fois le poids permanent pour toute la longueur du train.

C'est là un résultat très remarquable sur lequel on ne saurait trop insister, car si l'on ne tient compte dans l'appréciation d'un ouvrage que du rapport obtenu entre l'abaissement et la portée lors des épreuves on a une idée fautive de la valeur économique du système de pont utilisé. Il faut, en effet, faire entrer en ligne de compte, non seulement le rapport de l'abaissement à la portée, mais encore celui du poids permanent comparé au poids de la surcharge par mètre courant. Ainsi, dans la comparaison de deux ponts de systèmes différents, ce sont les coefficients dont la valeur est donnée par la relation :

$$A = \frac{\delta(f)}{2d} \cdot \frac{p}{\pi}$$

qui doivent être mis en parallèle. Ici,  $\delta(f)$  désigne l'abaissement du pont en épreuve;  $2d$  la portée de l'ouvrage;  $p$  le poids permanent par mètre courant;  $\pi$  la surcharge par mètre courant.

Dans le cas du viaduc de la Luzège, les données d'exécution donnent pour ce coefficient :

$$A = \frac{0,18725}{139,765} + \frac{1}{1,65} = \frac{1}{1231,5}$$

Si l'on compare ce résultat à celui du dernier grand pont en arc construit en France, le pont de la Roche-Bernard (1), qui possède les caractéristiques suivantes :

$$p = 8570 \text{ kg}; \quad \delta(f) = 0,057;$$

$$\pi = \frac{210000 \text{ kg}}{90^m 00} = 2333^{\text{kg}} 33; \quad 2d = 198,27;$$

$$\text{on en déduit : } A_1 = \frac{0,057}{198,27} \times \frac{8570 \text{ kg}}{2333^{\text{kg}} 33} = \frac{1}{947,05}$$

(1) Voir la description de cet ouvrage dans le *Génie Civil* du 16 novembre 1912 (t. LXII, n° 3, p. 41), et dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (V-1912).

La valeur économique d'un système de pont est donc directement proportionnelle à la valeur du coefficient  $\frac{1}{A}$ . A ce titre, l'avantage du système Gisclard est encore nettement appréciable.

Dans tous les ponts métalliques pour voie ferrée, à grande portée, le poids du train d'épreuve représente en général au mètre courant le tiers ou le quart du poids permanent; dans le viaduc de la Luzège, le poids du train d'épreuve est supérieur à une fois et demie le poids du mètre courant. L'écart est fort important.

Ce résultat n'a rien qui doive nous surprendre du constructeur qu'est M. F. Arnodin, puisque les très nombreux ponts à grande portée conçus et construits par lui depuis près d'un demi-siècle réalisent depuis longtemps déjà, pour les ponts-routes, ce même rapport du simple au double entre le poids permanent et les surcharges roulantes.

Cette nouvelle consécration par l'expérience du viaduc de la Luzège, en ce qui concerne les ponts suspendus pour voie ferrée, marque un nouveau et réel progrès dans l'exécution de ces ouvrages.

G. LEINEKUGEL LE COCQ,  
Ingénieur hydrographe de la Marine C. R.

## MÉTALLURGIE

### LE I<sup>er</sup> CONGRÈS FRANÇAIS ET L'EXPOSITION DE FONDERIE (Paris, 26 mai-1<sup>er</sup> juin 1913).

L'Association technique de Fonderie vient d'organiser un Congrès et une Exposition, qui ont eu lieu simultanément dans les locaux actuellement vacants de l'École nationale d'Arts et Métiers de Paris (1), qui ne possède pas encore son contingent complet d'élèves. L'idée de ce Congrès avait été émise pour la première fois devant une assemblée de fondeurs à Nancy, lors de l'Exposition qui s'est tenue dans cette ville en 1909 (2). Elle a pris corps, grâce à l'activité de l'Association technique de Fonderie, qui a pour but le perfectionnement de la fonderie et des arts qui s'y rattachent. Cette association, fondée seulement en 1911, compte déjà plus de 200 membres; son président est M. Barthe, président de l'Association des Fonderies du Sud-Ouest, et son premier vice-président, M. Paul Roger, président de l'Association des Anciens Élèves de l'École Centrale des Arts et Manufactures, président de la Chambre syndicale des Fabricants de robinetterie, membre de la Chambre de commerce de Paris.

CONGRÈS. — Le Congrès a obtenu un très grand succès. Il a réuni plus de 300 membres, dont beaucoup étaient venus de l'étranger, et parmi ceux-ci plusieurs métallurgistes éminents, tels que Sir W. H. Hatfield et le docteur Rosenhain.

La séance d'ouverture a eu lieu sous la présidence d'honneur de M. Corre, directeur de l'École d'Arts et Métiers de Paris, délégué du Ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes, et la présidence effective de M. P. Roger. Les autres séances ont été présidées par MM. Barthe, Poinsat, président du Syndicat général des Fondeurs de France, et Bonnavert, ingénieur de la Société John Cockerill, à Seraing (Belgique).

Nous résumerons les principales communications, dans l'ordre où elles ont été faites.

Étude pratique des cubilots de fonderie. — L'Association technique de Fonderie avait ouvert un concours sur ce sujet, et les deux mémoires classés ont été lus et discutés au Congrès. Le premier est dû à M. DESQUENNE. L'auteur donne la description détaillée du cubilot moderne. Il montre, notamment, l'importance de la forme et de la section des tuyères. Pour obtenir une combustion uniforme dans toute la section de la cuve, on doit répartir l'air régulièrement dans toute cette section; pour cela, il est utile d'adopter

(1) Voir, au sujet de cette école, le *Génie Civil* du 25 janvier 1913 (t. LXII, n° 43, p. 241).  
(2) Voir le compte rendu de cette Exposition dans le *Génie Civil*, t. LV, n° 45, p. 273.