

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DU

CONGRÈS DES CHEMINS DE FER

[624. (01 (.493)]

Tabliers métalliques pour ponts-rails de grande portée,

Par M. ALBERT RONSSE,

INGÉNIEUR PRINCIPAL AUX CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE,

et

M. E. J. F. DERIJCKERE,

INGÉNIEUR AUX CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE.

Fig. 1 à 15, p. 886 à 895.

Nous avons été chargés de l'étude d'un pont-rails de 60 m. de portée environ, devant livrer passage à cinq voies.

L'espace réservé à cet ouvrage d'art est si réduit, tant en largeur qu'en hauteur, qu'il a fallu envisager la construction d'un pont à deux tabliers métalliques, l'un pour une double voie et l'autre pour trois voies.

Le pont doit être jeté au-dessus de l'Ourthe, à la sortie de la gare de Chênée, entre un pont-route en béton armé existant et les bâtiments des usines de la Vieille-Montagne. Le plan (fig. 1) montre que l'espace compris entre le pont-route et l'usine est à peine suffisant pour établir les deux tabliers métalliques, aussi a-t-il fallu adopter une section de membrure aussi peu large que possible. Le profil (fig. 2), qui est celui adopté pour les panneaux du milieu de la membrure supérieure, et le profil (fig. 3) des panneaux du milieu de la membrure inférieure montrent toute la difficulté du problème.

De plus, il faut réserver une hauteur

libre de 4 m. 60 au-dessus de la cote des plus hautes eaux navigables, laquelle est fixée à 65 m. 10. La cote du niveau inférieur du tablier est donc au minimum 69 m. 70. La cote du rail est 72 m. 22; il reste donc $72 \text{ m. } 22 - 69 \text{ m. } 70 = 2 \text{ m. } 52$ entre le rail et le niveau inférieur du tablier. Comme les voies comportent des liaisons sur le pont, elles doivent être établies sur ballast. Il en résulte que la distance 2 m. 52 est à peine suffisante.

Des poutres principales en treillis simple en N auraient comporté tout au plus dix panneaux de 6 m. environ. Par suite de la grande largeur de ces panneaux (6 m.) et de l'entre-distance des poutres principales, les entretoises auraient dû être extrêmement importantes. Dans les deux tabliers métalliques et surtout dans celui à trois voies, il n'aurait pas été possible de donner aux pièces de pont une résistance suffisante, eu égard au manque de hauteur disponible. De plus, le treillis simple aurait exigé des longrines très importantes.

Il a donc fallu, par nécessité et par

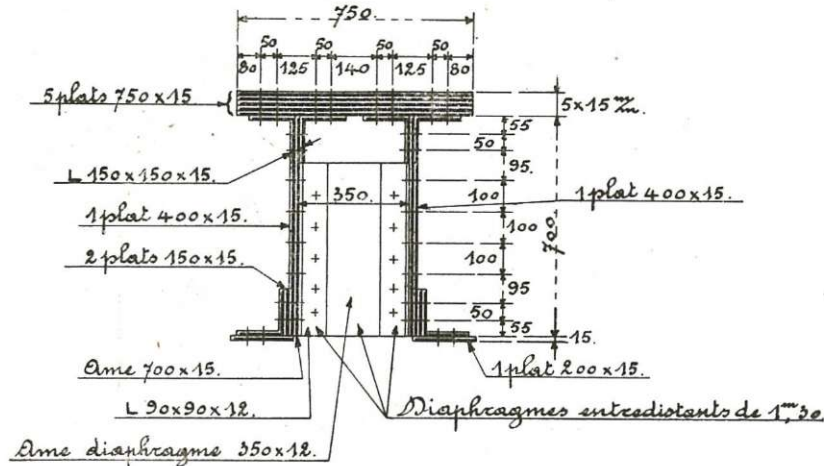


Fig. 2.

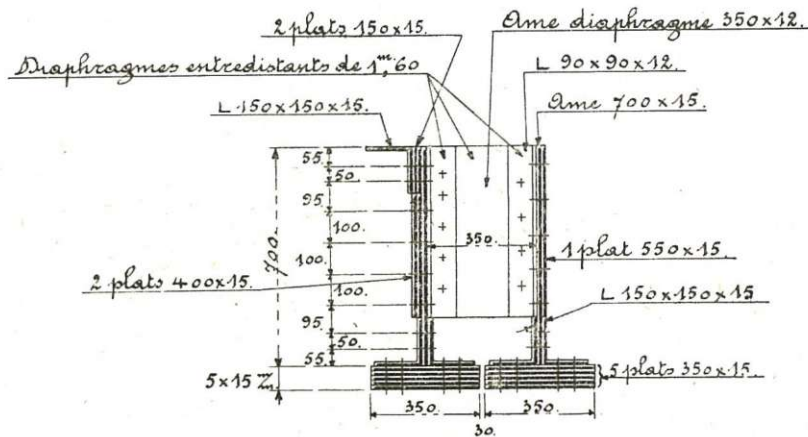


Fig. 3.

économie, abandonner le type de poutre principale en treillis simple et adopter un autre système.

Nous avons donné la préférence à la poutre Baltimore, treillis relativement simple, en N avec bielle et contre-fiche.

Cette solution réduit de moitié la portée des longrines, donc aussi l'entre-distance des entretoises.

Ces dernières ont, dans ce cas, des di-

mensions admissibles même dans le tablier à trois voies. Les longrines sont aussi beaucoup moins importantes.

Le biais de l'ouvrage étant petit, les deux tabliers sont droits, sauf l'extrémité du tablier à triple voie du côté des usines de la Vieille-Montagne. Ainsi il a été possible d'établir un bon contreventement supérieur s'appuyant à chaque extrémité du pont sur un portique rigide.

Nous croyons que, jusqu'à présent, aucun pont-rails à tabliers métalliques avec poutres principales du type Baltimore n'a été construit en Belgique. Il est vrai que cette poutre, tant prise en Amérique, n'est pas très souvent d'application dans notre pays où les tabliers de grande portée sont rares. De plus, d'aucuns trouvent que, dans cette poutre, le nœud formé par la diagonale, la bielle et

la contre-fiche, est d'une construction difficile.

La figure 4 montre cependant que ce nœud peut être réalisé très simplement.

D'autres estiment que le calcul des éléments de ce système triangulé est compliqué. Voici une méthode générale qui permet de déterminer rapidement les tensions dans les différentes barres du treillis.

LIGNES D'INFLUENCE DES EFFORTS DANS LES BARRES D'UNE POUTRE BALTIMORE.

Dans cette étude nous tiendrons compte de l'action indirecte des forces extérieures. Nous savons qu'alors la ligne d'influence se déduit de celle tracée dans l'hypothèse de l'action directe, en prenant le polygone inscrit dont les sommets se trouvent au droit des entretoises.

1. — Membrure supérieure.

Pour les barres des membrures, nous tracerons les lignes d'influence du moment dû à l'action d'une force extérieure $P = 1$ t. agissant indirectement sur la poutre, ce moment étant pris au centre des moments obtenu par la coupuration isostatique II' de la poutre qui passe par la barre de membrure que nous voulons étudier.

Alors la ligne de ces moments est la même que pour une poutre en N ordinaire. Nous avons par exemple sur la figure 5 la ligne d'influence des moments au centre D pour la barre C'D'. Il suffira alors de diviser après coup la somme des moments dus à un certain état de charge par le bras de levier μ .

2. — Membrure inférieure.

Ici encore nous tracerons la ligne d'influence des moments pris au centre des

moments relatif à la barre étudiée. Il sera en C' pour la barre CD dont nous allons nous occuper (fig. 6).

Nous voyons immédiatement que de A en C et de D en K nous avons encore la même chose que pour une poutre en N ordinaire. Cherchons la valeur du moment quand la force mobile $P = 1$ t. est au droit de R. Il convient de remarquer que nous traitons le cas général et qu'il ne faut donc nullement que $CR = RD$.

Nous savons que le moment en C' est égal à $-\frac{Pu}{L}x'$, c'est-à-dire que nous avons

la même valeur que si la loi de A en C continuait. Entre C et R et entre R et D nous aurons la loi linéaire due à l'action indirecte des forces extérieures.

Voyons la valeur de ST.

Nous avons que $ST = SQ - TQ$.

$$\begin{aligned} &= \frac{Pu}{L}x' - \frac{Pu'}{L}x = \\ &= \frac{P}{L}[(x + \lambda)x' - (x' - \lambda)x] = P\lambda. \end{aligned}$$

Nous aurons donc pour ligne d'influence du moment nécessaire au calcul de l'effort dans AB, celle représentée par la figure 7.

Écrivons que nous voulons pour
donner les équations de statique
donnant la ligne d'influence
demandée.

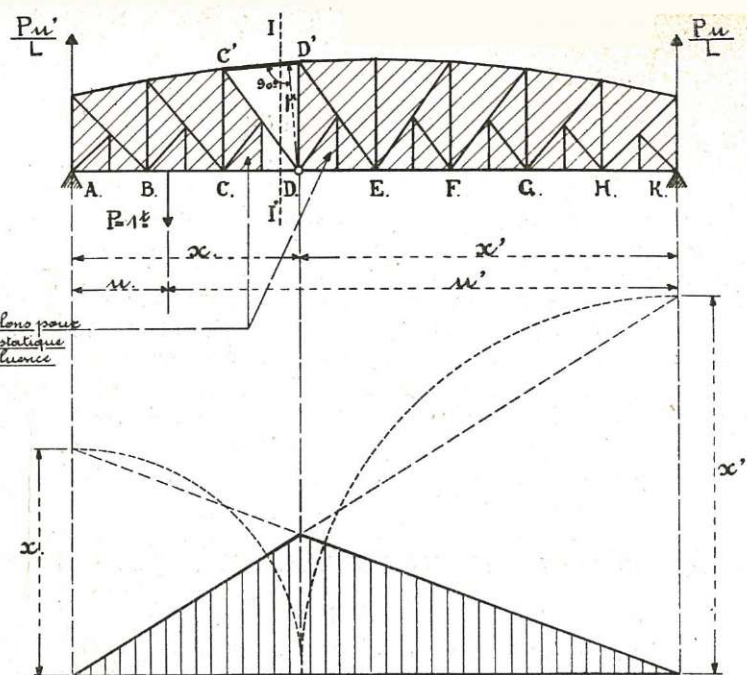


Fig. 5.

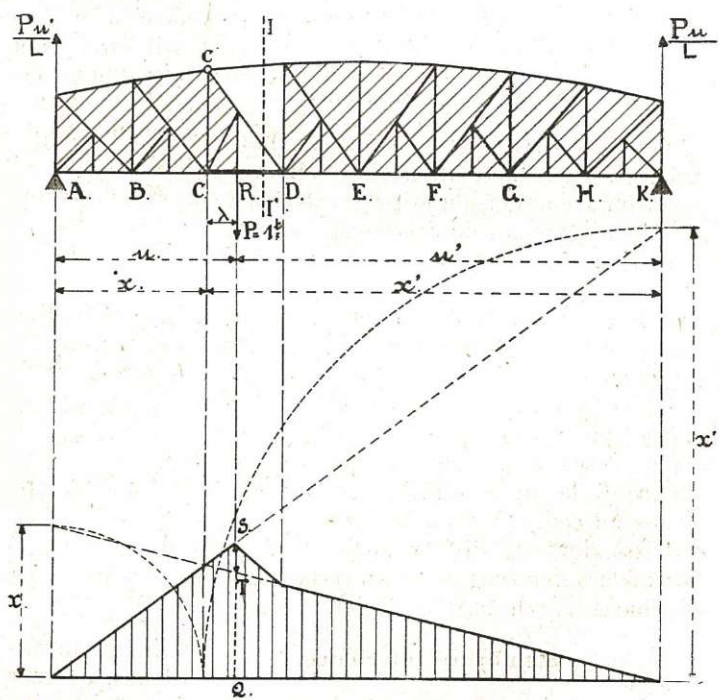


Fig. 6.

Nous voyons que l'effort dans AB n'est plus théoriquement nul, ainsi qu'il le serait dans la même poutre où l'on aurait enlevé les bielles et les contre-fiches.

3. — Bielles.

Les lignes d'influence des efforts dans une bielle sont tellement simples que

l'examen de la figure 8 suffit comme explication.

4. — Contre-fiches.

Nous donnerons d'abord sur la figure 9 les notations employées pour désigner les longueurs des barres intervenant dans les formules.

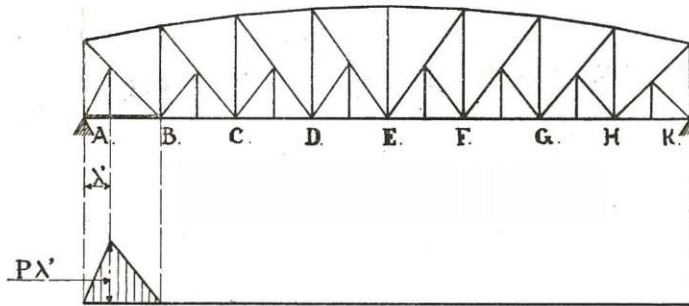


Fig. 7.

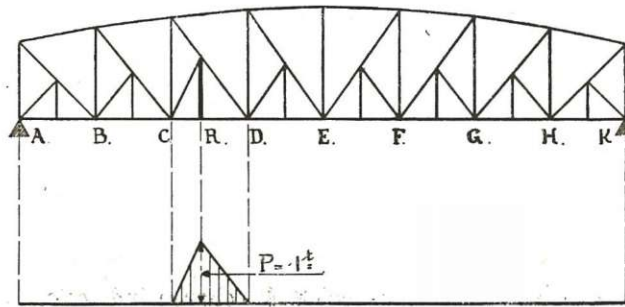


Fig. 8.

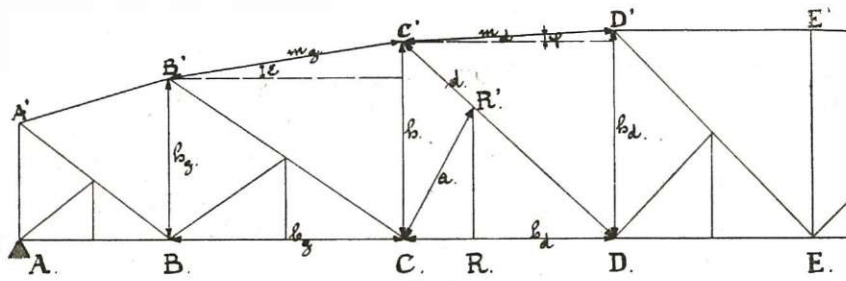


Fig. 9.

Pour déterminer l'effort F dans la contre-fiche CR' en fonction de l'effort E dans la bielle RR' nous écrirons une équation de projection sur la normale XX' à $C'D$!

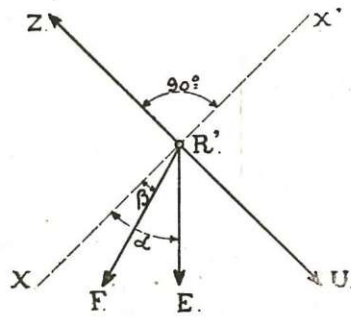


Fig. 10.

Nous aurons :

$$E \cos \alpha + F \cos \beta = 0.$$

D'où

$$F = -E \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}.$$

Mais

$$\cos \alpha = \sin \widehat{RR'D}$$

$$\cos \beta = \sin \widehat{CR'D} = \sin (\widehat{CR'R} + \widehat{RR'D}).$$

D'où

$$F = -E \frac{\sin \widehat{RR'D}}{\sin \widehat{CR'R} \cos \widehat{RR'D} + \sin \widehat{RR'D} \cos \widehat{CR'R}}.$$

$$F = -E \frac{\frac{RD}{R'D}}{\frac{CR}{a} \cdot \frac{RR'}{R'D} + \frac{RD}{R'D} \cdot \frac{RR'}{a}}.$$

ou encore :

$$F = -E \frac{RD}{RR' \left(\frac{CR}{a} + \frac{RD}{a} \right)} = -E \times \frac{RD}{RR'} \times \frac{a}{b_d}.$$

Mais

$$\frac{RD}{RR'} = \frac{b_d}{h}.$$

D'où

$$F = -E \frac{a}{h} \dots \dots (1)$$

Cette formule (1) absolument générale montre que les efforts dans la bielle et la contre-fiche sont toujours de signe contraire; ainsi dans un pont à poutres en garde-corps les bielles sont toujours étendues et les contre-fiches comprimées; dans un pont à poutres sous voie les bielles sont toujours comprimées et les contre-fiches étendues.

5. — Diagonales.

1^{re} Partie inférieure.

Traçant encore la ligne d'influence des moments pris au centre des moments Z relatif à la barre $R'D$ par

exemple, nous voyons que la ligne des moments de la poutre en N simple subsiste encore de A en C et de D en K (fig. 11).

Quand la force P est en R nous avons encore comme moment $-\frac{Pu}{L} x'$ et intermédiairement la loi linéaire due à la charge indirecte.

2^o Partie supérieure.

Proposons-nous par exemple de déterminer la ligne d'influence de l'effort Z dans la barre $C'R'$ en fonction de X_g et X_d , efforts dans les barres de membrure aboutissant en C' . Isolons le nœud C' et écrivons une équation de projection sur la normale YY' à CC' . (Voir figure 12.)

Nous aurons :

$$Z \sin \gamma + X_d \cos \varphi = X_g \cos \epsilon,$$

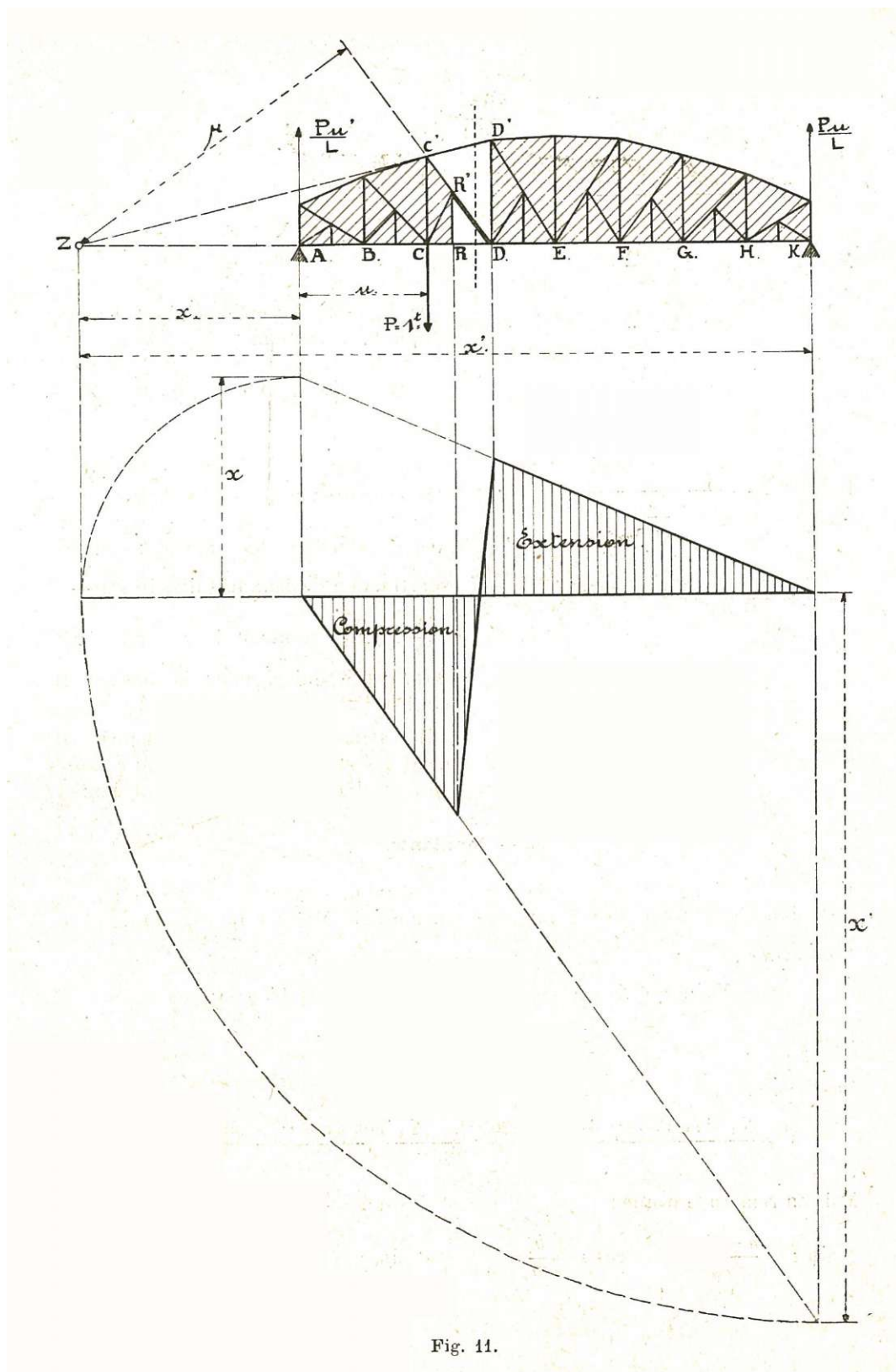


Fig. 11.

d'où
$$Z = \frac{X_g \cos \varepsilon - X_d \cos \varphi}{\sin \gamma}.$$

Mais
$$\cos \varepsilon = \frac{b_g}{m_g}.$$

$$\cos \varphi = \frac{b_d}{m_d}.$$

$$\sin \gamma = \frac{b_d}{d}.$$

D'où
$$Z = \frac{X_g \frac{b_g}{m_g} - X_d \frac{b_d}{m_d}}{\frac{b_d}{d}}.$$

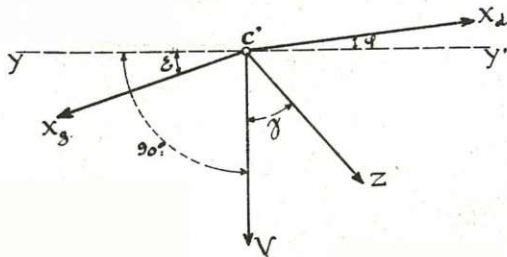


Fig. 12.

Et finalement

$$Z = d \frac{X_g}{m_g} \cdot \frac{b_g}{b_d} - d \frac{X_d}{m_d} \quad (2)$$

Si $b_g = b_d$, comme cela est presque toujours, nous avons :

$$Z = d \frac{X_g}{m_g} - d \frac{X_d}{m_d} \quad (2')$$

Les relations (2) et (2') permettent de construire très facilement la ligne d'influence des efforts Z , car elles ne sont que la traduction algébrique d'une simple soustraction de deux lois linéaires $d \frac{X_g}{m_g}$ et $d \frac{X_d}{m_d}$. Elles donnent lieu à une ligne d'influence qui a pour la barre C'R' étudiée l'allure de la figure 13.

Il suffit de calculer les ordonnées au droit des extrémités du panneau comprenant la diagonale que l'on veut étudier.

6. — Montants.

Etudions la ligne d'influence de l'effort V dans le montant CC' . Pour cela écrivons une équation de projection sur la normale NN' à $C'D$ (fig. 14).

Nous avons :

$$V \sin \gamma + X_g \sin (\varepsilon + 90^\circ - \gamma) = X_d \sin (\varphi + 90^\circ - \gamma).$$

D'où
$$V = \frac{X_d \cos (\varphi - \gamma) - X_g \cos (\varepsilon - \gamma)}{\sin \gamma}.$$

Ou encore :

$$V = \frac{X_d [\cos \varphi \cos \gamma + \sin \varphi \sin \gamma] - X_g [\cos \varepsilon \cos \gamma + \sin \varepsilon \sin \gamma]}{\sin \gamma}.$$

Mais en remarquant que :

$$\sin \varepsilon = \frac{h - h_d}{m_g}.$$

$$\cos \varepsilon = \frac{b_g}{m_g}.$$

$$\sin \varphi = \frac{h_d - h}{m_d}.$$

$$\cos \varphi = \frac{b_d}{m_d}.$$

$$\sin \gamma = \frac{b_d}{d}.$$

$$\cos \gamma = \frac{h}{d}.$$

nous pouvons écrire :

$$V = h_d \frac{X_d}{m_d} - \left[h \left(1 + \frac{b_g}{b_d} \right) - h_g \right] \frac{X_g}{m_g} \quad (3)$$

Si $b_g = b_d$ nous avons :

$$V = h_d \frac{X_d}{m_d} - (2h - h_g) \frac{X_g}{m_g} \quad (3')$$

(3) et (3') permettent encore de tracer très facilement les lignes d'influence des efforts dans les montants. Nous avons ainsi une ligne d'influence pour la barre CC' qui a l'allure de la figure 15.

Le calcul des ordonnées au droit des extrémités du panneau par lequel il faudrait faire la coupure isostatique, rencontrant le montant étudié dans le cas de la poutre en N ordinaire (c'est-à-dire

en supposant les bielles et les contre-fiches enlevées), donne les sommets de la ligne d'influence demandée.

Il convient d'ajouter que les formules établies (1) (2) (3) sont absolument générales, c'est-à-dire qu'elles sont applicables en cas de panneaux inégaux (ponts biais par exemple), en cas de poutres sous voies et de poutres en garde-corps, et aussi quelle que soit la forme de la membrure supérieure qui devient membrure inférieure en cas de poutres sous voie.

Tout ce qui précède s'applique évidemment aussi aux ponts-routes; mais les réactions produites par nos fortes locomotives sont tellement importantes que l'emploi de la poutre Baltimore s'impose surtout pour les ponts-rails.