

EVALUATION DES CAPACITÉS PORTANTES DES ANCIENS PONTS FERROVIAIRES.

T. KADRI : Ingénieur de l'ENTP Phd de Saint Petersburg,
N. BELARIBI BELAS : Docteur de l'INSA de Toulouse

RÉSUMÉ

Cette étude a pour but de déterminer les conditions d'affranchissement des trains, existants actuellement sur notre site ferroviaires. Les ouvrages d'arts, qu'étaient calculés pour l'effet des anciens surcharges roulantes, qui sont moins lourdes et moins rapides, que les surcharges actuelles. Pour cela notre étude est basée sur la détermination des classes de surcharges roulantes, actuelles et celles des anciens ponts ferroviaires. La détermination des classes de ponts et leurs éléments est faite sous la conditions suivante:
Condition de résistance. Condition d'endurance. Condition de fissuration.

Mots Clés

Capacité portante, pont, endurance, résistance, fissuration, classe d'un pont, coefficient dynamique, coefficient de sécurité, charge étalonnées, charge équivalente, poutre.

1. Introduction

Les ouvrages qui se trouvent sur le site des chemins de fer d'Algérie se différencient entre eux par leurs ancienneté, leurs états et normes et méthodes de calcul avec lesquelles ils étaient conçus et calculés.

Parmi ces ouvrages, ils existent certains, qui répondent aux conditions actuelles de circulation, mais d'autres non. Pour cela, ces dernières années, plusieurs travaux scientifiques et de recherche traitent le problème des ouvrages d'art pareils. [2]

Le plus perspectif est de déterminer le changement des conditions d'exploitations de ces ouvrages, qu'est lié principalement à l'augmentation du poids propre des surcharges roulantes, la vitesse de leur mouvement et l'intensité de trafic [2], [3].

Pour cela, il est indispensable de déterminer les conditions des ouvrages existants sur le site, et surtout les plus anciens dans les conditions normales, et par conséquent on doit connaître la capacité portante de chaque ouvrage d'art et de chacun de ses éléments, comme on doit connaître les effets dynamiques et de vibrations des surcharges roulantes sur l'ouvrage et par conséquent on détermine leurs classes.

Dans certains cas, on rencontre des ouvrages d'art, qui ne sont même pas capable de supporter ces surcharges à l'état statique, pour ces derniers, on doit prévoir des travaux de renforcement pour l'amélioration de leurs capacités portantes.

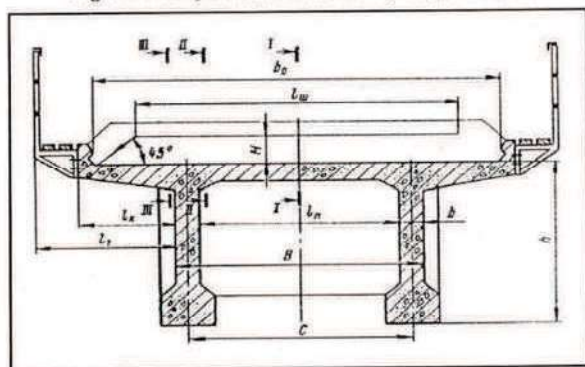
2. Évaluation de la capacité portante des ouvrages d'art en béton précontraint

Dans le travail actuel, la capacité portante d'un ouvrage d'art est déterminée par la méthode des états limites :

- à la résistance;
- à l'endurance;
- à la fissuration.

a) - La classe d'un pont dalle avec un ballaste est déterminée en fonction du moment fléchissant dans les sections $X = P/2$, c'est à dire au milieu de la travée et aux encastremets (voir figure 1), et de l'effort tranchant au niveau des encastremets.

Figure-1 Coupe transversale d'un pont ferroviaire



b)- Pour un pont poutre, la classe de l'ouvrage d'art est déterminée toujours en fonction du moment fléchissant au milieu de la travée et dans les sections les plus sollicitées, et à l'effort tranchant dans les sections inclinées.

c)- La détermination de la classe d'un ouvrage d'art à l'endurance se détermine de la même manière pour les ponts dalles que pour les ponts poutres sous l'effet du moment fléchissant dans les mêmes sections que celles que sont prises en considération à la résistance (Cas a 1b).

d)- Classification d'un pont à la fissuration se détermine sans prendre en considération la fissuration ou une fissure sous l'effet du poids propre d'ouverture inférieure à 0,30mm, mais dans le cas où l'ouvrage doit être exploité par une surcharge lourde, comme les convois exceptionnels, il faut prévoir des travaux d'entretien et de renforcement.

2.1. Détermination de la classe d'un élément de l'ouvrage

La classe de tout élément de l'ouvrage d'art est déterminée par le rapport de la charge propre de l'élément, et de la surcharge verticale uniformément réparties (à la résistance K_R , à l'endurance K_E et à la fissuration K_F) sur la charge de référence K_R .

D'où la classification des éléments d'un ouvrage d'art est déterminée par les expression suivantes : [4]

a) pour un pont poutre :

A la résistance :

$$K_R = \frac{k_R}{k_N(1 + \mu)\eta} \theta ;$$

A la fissuration :

$$K_f = \frac{k_f}{k_N(1 + \frac{2}{3}\mu)} \theta ;$$

A l'endurance :

$$K_e = \frac{k_e}{k_N(1 + \frac{2}{3}\mu)} \theta ;$$

b) pour un pont dalle :

A la résistance :

$$K_R = \frac{q_R}{k_N(1 + \mu)\eta} \theta ;$$

A la fissuration :

$$K_f = \frac{q_f}{k_N(1 + \frac{2}{3}\mu)} \theta ;$$

A l'endurance :

$$K_e = \frac{q_e}{k_N(1 + \frac{2}{3}\mu)} \theta ;$$

où k_R , k_f , k_e - la surcharge verticale limitée uniformément répartie sur une seule voie par ml de la poutre principale à la résistance, à la fissuration et à l'endurance (KN/ml) respectivement;

K_N - La surcharge de référence équivalente uniformément répartie sur une seule voie par ml (KN/ml).

η - Coefficient de sécurité pour la surcharge.

q_R , q_f , q_e - Surcharges limitées verticales, uniformément réparties sur 1 ml de la longueur de la dalle de 1 m de largeur respectivement à la résistance, à la fissuration et à l'endurance (KN/m²)

q_N - Surcharge verticale uniformément répartie sur 1 m² (KN/m²) de la surcharge de référence.

$(1 + \mu)$, $(1 + \frac{2}{3}\mu)$ - Coefficient de majoration dynamique

$\theta = \frac{1 + \mu}{1 + \mu_0}$ - coefficient d'influence de l'épaisseur de la dalle sur l'effet dynamique des surcharges

$(1 + \mu_0)$ - coefficient de majoration dynamique pour le calcul de la poutre principale pour une épaisseur de la couche de la ballaste

sur les traverses $H > 0,25$ m tel que [5].

$$(1 + \mu_0) = (1 + \mu) \text{ pour } H \leq 0,25 \text{ m ; } \theta = 1$$

$$(1 + \mu_0) = 1,0 \text{ pour } H \geq 1,0 \text{ m}$$

Pour notre étude, dans le cas de classification des ponts dalles, on a pris q_N comme une pression exercée sur la dalle par une surcharge H-1 (34,3 KN/axe) répartie sur la ballaste sur 1,2 m selon le sens longitudinal de la voie et la largeur de la dalle $b_0 = l_t + 2H$;

l_t - longueur des traverses

H - l'épaisseur de la dalle sous les traverses.

tel :

$$q_N = \frac{34,3}{1,2 b_0} = \frac{34,3}{1,2(l_t + 2H)}$$

Dans le cas du calcul à la résistance d'une poutre principale ($H \leq 0,25$ m) pour une vitesse illimitée du mouvement des surcharges sur l'ouvrage; le coefficient dynamique est déterminé par l'expression :

$$1 + \mu = 1 + \frac{15}{20 + 1}$$

Pour le calcul à la fissuration et à l'endurance de la poutre principale, on a:

$$1 + \frac{2}{3}\mu = 1 + \frac{2}{3}(\frac{15}{20 + 1})$$

l - la longueur de la portée.

pour les ponts dalles, le coefficient dynamique est:

- à la résistance :

$$1 + \mu = 1,5$$

pour les autres cas :

$$1 + \frac{2}{3}\mu = 1,33$$

2.2 Classification des charges roulantes

La classe K_0 des surcharges roulantes réelles exercées sur un ouvrage d'art est exprimée par :

$$K_0 = \frac{k_0(1 + \mu_0)}{k_N(1 + \mu_N)} ;$$

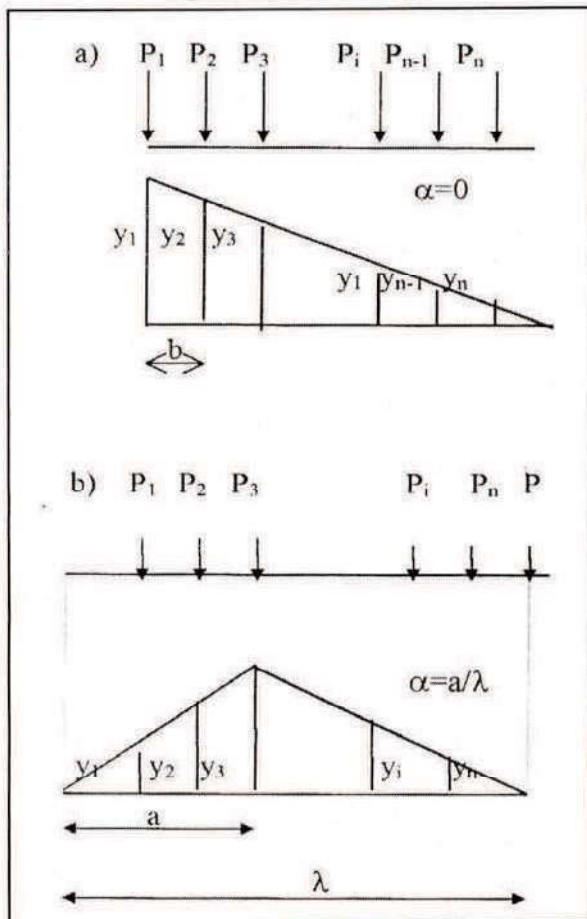
où K_N et $(1 + \mu_N)$ - les valeurs normalisées des charges équivalentes et coefficient dynamique.

k_0 et $(1 + \mu_0)$ - charges équivalentes et coefficient dynamique pour les surcharges roulantes réelles.

Remarque : Les charges équivalentes k_0 et k_N sont déterminées par ligne d'influence pour $\alpha = 0$. La position critique de la charge roulante est déterminée par la relation suivante :

$$P_1 \lambda > b (P_2 + P_3 + \dots + P_n)$$

Figure-2 Schéma de calcul



où :

P_1 - La 1^{ère} surcharge (la plus lourde surcharge)

P_2, P_3, P_n , le reste des surcharges.

λ - la longueur surchargée de L.I.

b - La distance entre la 1^{ère} et la 2^{ème} surcharge

Pour la ligne d'influence $\alpha = a/\lambda$ (voir fig. 2.b), la position de chargement la plus défavorable doit vérifier les inéquations suivantes [1]:

$$R_g < \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n P_i \quad ; \quad R_g + P_{cr} > \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n P_i$$

où P_{cr} - charge critique placée au sommet de L.I.

$\sum P_i$ - Somme de toutes les surcharges trouvées sur la ligne d'influence.

R_g - la somme de toutes les charges qui se trouvent à gauche de la position critique.

- Charge équivalente :

Dans notre étude, on a déterminé la charge équivalente en fonction de la position la plus défavorable de la surcharge roulante, tel que :

$$k_0 = \frac{\sum P_i y_i}{\Omega_k}$$

où P_i - est la surcharge de la i ème essieu de la surcharge

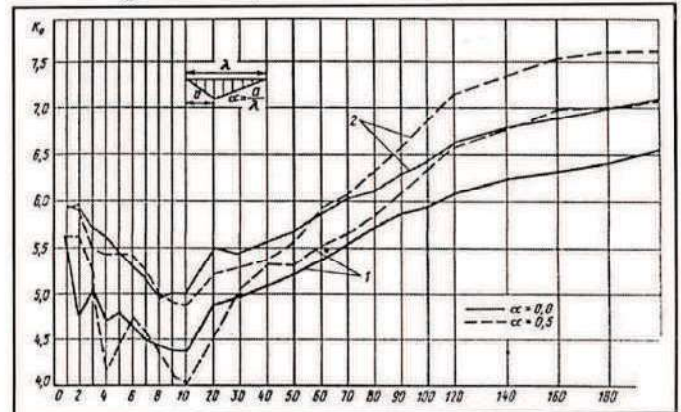
roulante ;

y_i - L'ordonnée de la ligne d'influence au dessous de la surcharge roulante P_i ;

Ω_k - la surface chargée de L.I.

Dans notre étude, on a pris deux cas, pour $\alpha=0$ et $\alpha=0,5$ pour les valeurs intermédiaires, on a utilisé l'interpolation linéaire d'où on a obtenu les résultats mentionnés dans la fig. 3

Figure-3 Classification des surcharges roulantes.



1- Terrain électrique à 2 locomotives B A 22

2- terrain électrique à 1 locomotive + 8 wagons.

3. Evaluation des résultats de classification des éléments de l'ouvrage et des charges roulantes

Pour cette évaluation, on doit comparer les classes des ouvrages d'art et de leurs éléments les plus faibles aux classes des surcharges roulantes, tel que :

1- Si les classes des éléments de l'ouvrage à la résistance et à l'endurance K sont supérieures ou égales aux classes des surcharges roulantes K_0 ($K > K_0$). Ces surcharges sont autorisées de franchir l'ouvrage sans condition limites de circulation.

2- Si les classes des éléments les plus faibles de l'ouvrage d'art à la résistance inférieure aux classes des surcharges. Ces surcharges roulantes ne peuvent pas franchir l'ouvrage. Par conséquent, il faut prévoir un renforcement ou remplacement de ces éléments par d'autres qui sont plus résistants qu'eux.

Avant de passer à ces opérations, on a essayer de limiter les effets dynamiques des surcharges roulantes, tel que leurs classes soient inférieures à celles de l'ouvrage et de son élément le plus faible à la résistance et à l'endurance.

4. Limitation des effets dynamiques des surcharges roulantes

Dans les premiers temps, on a déterminé la classe de la surcharge sans effet dynamique K'_0 , tel que :

$$K'_0 = \frac{K_0}{1 + \mu_0}$$

Si $K'_0 > K_N$, la surcharge roulante ne peut pas franchir l'ouvrage quelques soient les conditions.

Si $K'_0 < K_N$, on détermine le coefficient dynamique de cette surcharge roulante tel que :

$$(1 + \mu') K_0 = K_N(1 + \mu)$$

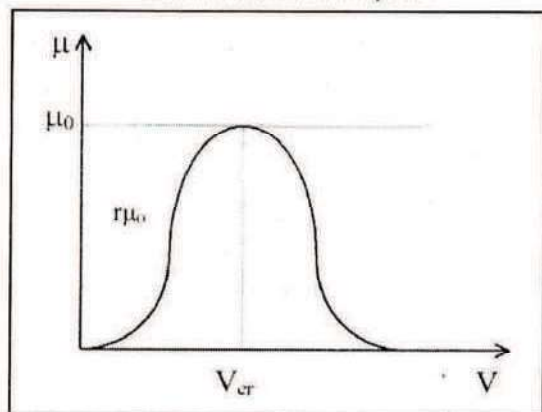
$$1 + \mu' = \frac{K_N}{K_0}(1 + \mu)$$

Dans l'étude actuelle, la vitesse de référence est de 60 km/H, sur cette base on a arrivé à déterminer la vitesse autorisée de circulation des surcharges roulantes sur un ouvrage par :

$$V = 60 \frac{\mu'}{\mu}$$

Mais cette vitesse ne doit dépasser la vitesse critique V_{cr} (Fig. 4).

Figure-4 Caractère d'indépendance de coefficient μ à la vitesse de circulation des trains à vapeur.



A partir du graphe (Fig.4), on détermine un coefficient de réduction r , tel que la classe de la surcharge roulante doit être inférieure à la classe du plus faible élément de l'ouvrage.

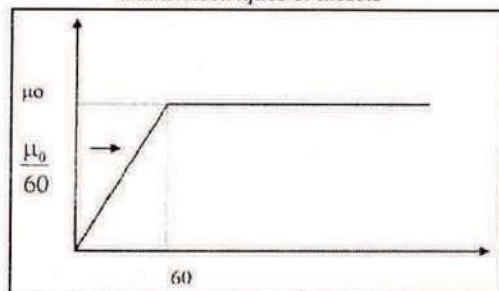
$$K'_0 = r \cdot K_0$$

K'_0 - classe de la surcharge roulante, après réduction.

$$r = \frac{1 + \mu'}{1 + \mu}$$

Dans le cas où la vitesse de circulation des trains électriques et diesels < 60 KM/H et celle des trains à vapeur $< V_{cr}$ on a déterminé un nouveau coefficient dynamique qui permet à la surcharge de franchir l'ouvrage (fig. 5)

Figure-5 Relation entre le coefficient μ et la vitesse du mouvement des trains électriques et diesels



D'après les résultats obtenus (fig. 5) le nouveau coefficient dynamique pour les trains électriques et diesels est :

$$1 + \mu' = 1 + \frac{V}{60} (\mu)$$

$$= 1 + \frac{V}{60} \left(\frac{21}{30 + N} \right)$$

Pour notre étude, on a pris la vitesse de circulation et leur classes doivent vérifier l'équation :

$$K' = K_0 \frac{1 + \left(\frac{V}{60}\right)\mu_0}{1 + \mu_0} \leq K$$

d'où on a :

$$\frac{V}{V_0} \leq \frac{1}{\mu} \left[\frac{K}{K_0} (1 + \mu) - 1 \right]$$

De la même façon, on déterminé le coefficient de réduction de l'effet dynamique d'un train à vapeur.

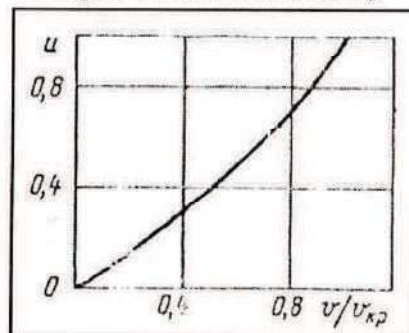
$$r \leq \frac{1}{\mu} \left[\frac{K}{K_0} (1 + \mu) - 1 \right];$$

avec

$$\mu_0 = \frac{27}{30 + d}$$

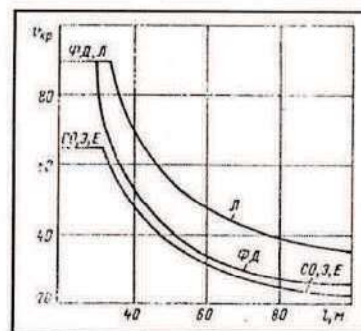
pour chaque valeur de r , on a déterminé une relation V/V_{cr} (Fig. 6)

Figure-6 Relation entre r et V/V_{cr}



En fonction des résultats obtenus (fig. 7), on a déterminé les conditions de franchissement des ouvrages d'art par les trains.

Figure-7 la relation entre la vitesse critique V_{cr} des trains de série CO, 3, E, $\Phi\Delta$ Et la portée de l'ouvrage d'art.



Dans le cas où on a obtenu $K_{oc} > K$, on a déterminé la classe de la surcharge roulante à l'état statique :

$$K_{oc} = \frac{K_0}{1 + \mu}$$

tel que $K_{oc} < K$

Et on déterminé la vitesse admissible avec laquelle on peut faire passer notre train sur l'ouvrage d'art. (fig 8,9).

Figure-8 Limitation de la vitesse de circulation des trains électriques et Diesels sur les ouvrages d'arts métalliques dont leurs capacités portantes sont insuffisantes.

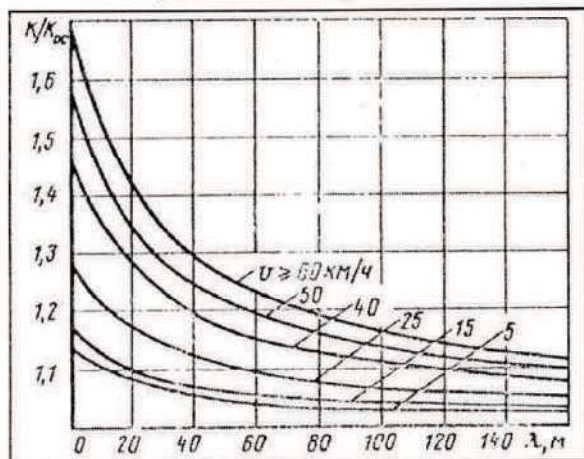
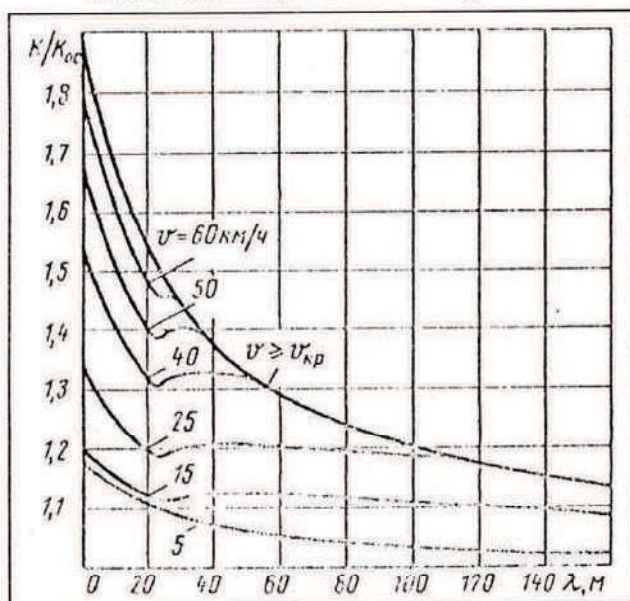


Figure-9 Détermination de la vitesse admissible de la circulation des trains à vapeur de série $\epsilon 3, \Phi\Delta$ sur des ouvrages d'art métalliques dont leurs capacités portantes sont insuffisantes.



5. Conclusion générale et recommandations

D'après les résultats obtenus, on peut conclure que la limitation de vitesse de circulation des surcharges roulantes sur un ouvrage d'art à cause de l'insuffisance de résistance et de stabilité de ses éléments est la mesure extrême provisoire. En même temps, il faut assurer une surveillance stricte pour ces ouvrages fragiles. On fixe un régime de circulation et dans les plus brefs délais on doit éliminer les obstacles qui empêchent une exploitation normale.

Si la classe d'un élément de l'ouvrage à l'endurance $K_e < K$ à la classe de la surcharge roulante, on peut faire passer la surcharge mais dans un temps limité.

Si la classe de l'ouvrage à la fissuration $K_f < K$ à la classe de la surcharge K_{os} , la limitation de la vitesse de circulation n'est pas nécessaire.

Dans le cas où il y a apparition des fissures dans l'ouvrage, d'ouvertures +0.03 mm sous l'effet de la surcharge, il faut prévoir une réparation.

La recommandation de changement de l'ouvrage dépend de :

- sa capacité portante,
- son état physique
- et de l'étude technico-économique pour sa réparation ou renforcement.

Bibliographie

- [1] A.A. CHIRAS : Construction mécanique. Moscou. 1988.
- [2] Z.G. KHOUSHAEV : "Mécanisme de renforcement des ponts métalliques" Revue Express Information, 1991, N° 37; 1993, N° 3; 1994, N° 8. Moscou.
- [3] K.K. KOBSON : Entretien et reconstruction des ponts ferroviaires, Transport. Moscou, 1975.
- [4] V.I. POPOV : Elaboration des projets de construction ferroviaires, Transport. Moscou. 1975.
- [5] I.D. SAKHAROV : Calcul des ponts. Moscou, 1967.