

Action dynamique des charges mobiles sur la superstructure des ponts-rails

Autor(en): **Caseï, I.I.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **6 (1960)**

PDF erstellt am: **13.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-6948>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ib2

Action dynamique des charges mobiles sur la superstructure des ponts-rails

Dynamische Wirkung beweglicher Lasten auf Eisenbahnbrücken

The Dynamic Effects of Live Loads on the Superstructure of Railway Bridges

I. I. CASEÏ

Institut de recherches scientifiques pour les constructions relatives aux transports,
URSS

Le réseau ferroviaire de l'Union Soviétique comporte de nombreux ponts-rails de types de construction divers. Actuellement, les ouvrages en matériaux à haute résistance sont de plus en plus largement utilisés. On associe l'acier et le béton armé ou précontraint dans des constructions mixtes. Les essais et les calculs montrent que des ouvrages de même portée, mais de types divers, peuvent résister d'une manière différente à l'action dynamique des charges mobiles.

Actuellement on introduit sur une grande échelle la traction électrique et à diesel, on met en service de nouveaux wagons lourds; les vitesses de circulation des trains montent en flèche.

Cependant, les taux des coefficients dynamiques actuellement en vigueur ont été établis d'après des données expérimentales recueillies sur des ouvrages anciens, pour des trains avec traction à vapeur et pour des wagons relativement légers, à une époque où les vitesses des trains de marchandises ne dépassaient pas 60—70 km/h. L'application de ces taux dans les conditions actuelles ne traduit en tout cas pas le comportement élastique réel des constructions.

L'établissement d'une méthode générale pour le calcul dynamique des superstructures de ponts sous l'action des diverses charges mobiles provenant du trafic est considéré comme un problème important dans le domaine de la théorie de la construction des ponts.

C'est pourquoi un certain nombre d'organisations de recherches ont effectué ces dernières années d'importants essais sur les ponts ferroviaires en Union Soviétique. Des ponts-poutres et des ponts en arc de portées différentes,

construits en matériaux divers, ont été soumis à des essais dynamiques. Des trains conduits par des locomotives électriques ou à diesel ou par des locomotives à vapeur servaient principalement de charges. Quelques essais ont été effectués avec des trains spéciaux qui circulaient à une vitesse atteignant 170 km/h. Des appareils modernes de mesure ont été utilisés pour enregistrer les déformations et les contraintes des ouvrages. La coordination des recherches expérimentales et théoriques est réalisée par l'Institut de recherches scientifiques pour les constructions relatives aux transports.

Actuellement l'analyse d'un grand nombre de données expérimentales est déjà terminée, ce qui permet d'émettre certaines conclusions très importantes, servant à améliorer les méthodes de calcul pratiques des ponts-rails sous l'action dynamique des charges mobiles et permettant de tracer les principes généraux de la théorie de ce problème.

Les plus importantes de ces conclusions sont les suivantes:

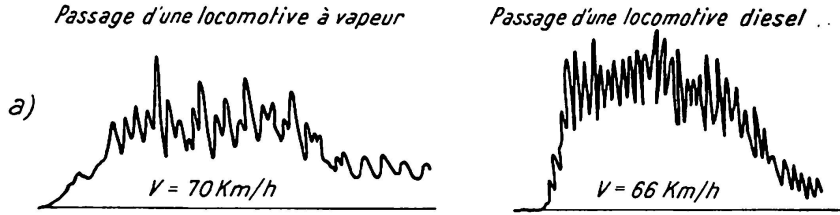
1. La nature des actions dynamiques produites dans les ponts-rails par les charges roulantes varie et dépend du type des véhicules ferroviaires (locomotives, wagons), de la construction et de l'état de la voie sur le pont ainsi que sur ses accès les plus proches, de la portée prévue et des propriétés dynamiques générales des superstructures (masse, rigidité, fréquence des vibrations, paramètres caractéristiques de l'amortissement etc.). Dans certaines conditions, une force faisant partie de tout le complexe des forces dynamiques agissant pendant le passage du train peut produire le plus grand effet dynamique quoique la plus grande valeur instantanée de ladite force ne soit pas toujours le maximum dans ce complexe de forces.

2. Pour les ponts à faible portée (période des oscillations verticales naturelles ne dépassant pas 0,07—0,10 sec.) l'effet dynamique a souvent un caractère de choc très prononcé et provient d'une action de forces instantanées verticales (dynamiques) qui ont dans une grande mesure une nature accidentelle non périodique (fig. 1).

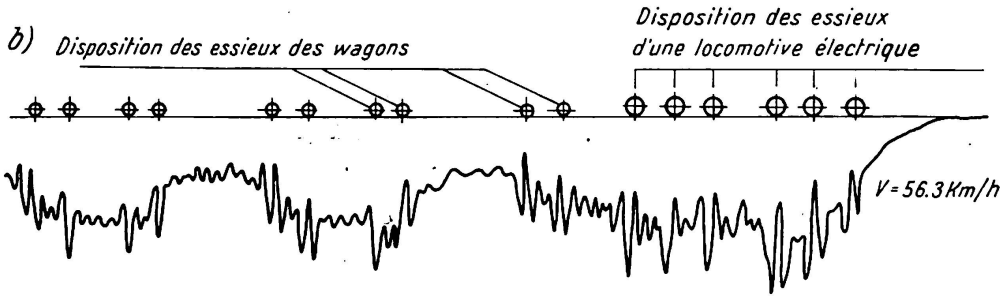
Dans plusieurs cas, une action dynamique sensible peut apparaître ici à cause des particularités qui ne sont propres qu'à la locomotive en question ou à un certain type de locomotives (par exemple à cause du grand «frétillement» ou du «roulis» qui sont typiques pour cette série de locomotives ou bien à cause des méplats locaux ou des défauts de bandage de la locomotive etc.).

Pour les petites portées, l'effet dynamique provoqué par le choc des roues des différents véhicules sur les joints des rails et sur les autres inégalités peut être fort divers. Cet effet est surtout considérable quand les chocs se suivent avec une régularité déterminée et quand la phase du choc postérieur coïncide avec la phase de la vibration apparaissant dans la superstructure à la suite des chocs antérieurs.

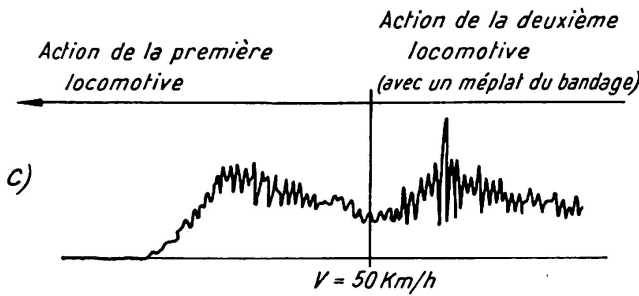
L'effet dynamique des chocs de chaque roue augmente, pour des vitesses de passage du train atteignant 150—170 km/h, plus lentement que les vitesses. Une augmentation double ou triple de la masse portée par un essieu, non



a) Action dynamique avec caractère de chocs accidentels (superstructure en béton armé, $l = 9,3$ m).

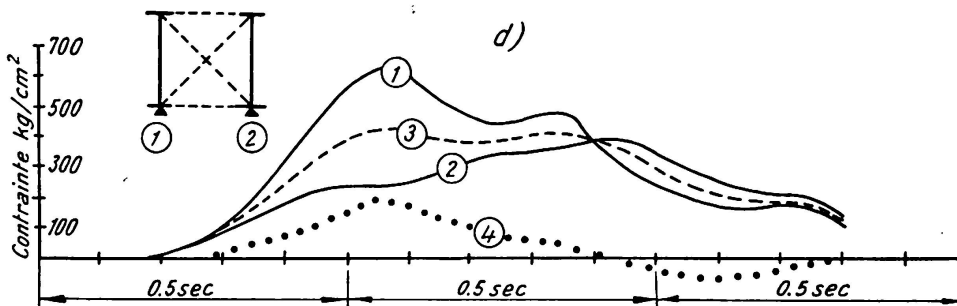


b) Effet net dynamique du choc des roues du véhicule sur les joints des rails (superstructure en béton armé, $l = 9,3$ m).



c) Influence très marquée des particularités (défauts des organes de roulement) de certains véhicules (superstructure en béton armé, $l = 9,3$ m).

Passage sur le pont d'un train de marchandises conduit par deux locomotives du même type.



d) Influence dynamique des grandes oscillations latérales d'une locomotive électrique à la vitesse $V = 86$ km/h (superstructure métallique, $l = 12,1$ m).

- (1) contraintes dans la poutre gauche,
- (2) contraintes dans la poutre droite,
- (3) courbe des contraintes moyennes,
- (4) courbe des différences des contraintes des deux poutres.

Fig. 1. Oscillogrammes typiques des déformations dynamiques des ponts-rails à faibles portées.

appuyée sur les ressorts de la voiture, provoque une augmentation valant seulement de 1,2—1,5 fois l'effet perceptible du choc (à la même vitesse et sur la même inégalité de la voie).

3. Les diverses forces périodiques apparaissant à un certain degré pendant le passage de presque chaque train provoquent toujours un effet dynamique sensible dans les poutres de grande portée, si la période de leurs vibrations naturelles verticales dépasse 0,2—0,25 sec.

Les locomotives à vapeur provoquent un effet dynamique considérable sur les superstructures, quand leur vitesse est telle que le nombre de tours par seconde des roues déséquilibrées est semblable à la fréquence des vibrations naturelles de la construction (fig. 2a) dont la charge d'ailleurs varie.

Les essais ont montré qu'on peut déterminer avec une certaine précision, à l'aide de calculs théoriques, les amplitudes des oscillations provenant du passage des locomotives à vapeur sur les poutres de portées moyennes et grandes. Les flèches dynamiques au centre de la superstructure (y) sont exprimées par l'équation différentielle suivante:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2u\epsilon_0 \frac{dy}{dt} + u^2 \alpha_p^2 y = \frac{\mathfrak{M}z}{M_p} u^2 j \omega^2 \sin(\omega t + \varphi), \quad \text{où}$$

- α_p, M_p Fréquence circulaire de l'oscillation propre de la superstructure et masse réduite de la superstructure.
- u Fonction caractérisant la variation de la fréquence inférieure de l'oscillation verticale de la superstructure pendant la variation graduelle de son chargement.
- ϵ_0 Coefficient de l'amortissement de l'oscillation pour la superstructure non chargée.
- ω Vitesse angulaire des roues motrices (déséquilibrées) de la locomotive.
- $\mathfrak{M}z$ Coefficient du déséquilibre des roues de la locomotive.
- j Coefficient provenant de la réduction de la force périodique de la locomotive au centre de la travée.
- φ Phase initiale de l'action de la force périodique, au moment où la locomotive entre sur le pont.

La variation des paramètres dynamiques de la superstructure pendant le passage du train n'était pas prise en considération dans la pratique précédente. La détermination théorique des oscillations possibles de la superstructure au moment où le train entre sur le pont conduisait à des résultats erronés si pareille hypothèse ($u = 1$ ou $u = \text{const.}$) avait été faite.

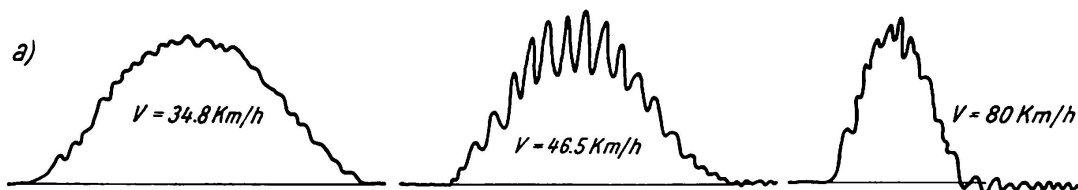
Le complément dynamique apparaissant à cause de l'action des forces périodiques est lié directement à la valeur du rapport de l'intensité de la surcharge à la charge permanente.

Les essais ont bien confirmé le rapport du coefficient dynamique du calcul à la vitesse du passage de la locomotive exprimé par l'équation suivante, adoptée par les règlements des chemins de fer soviétiques:

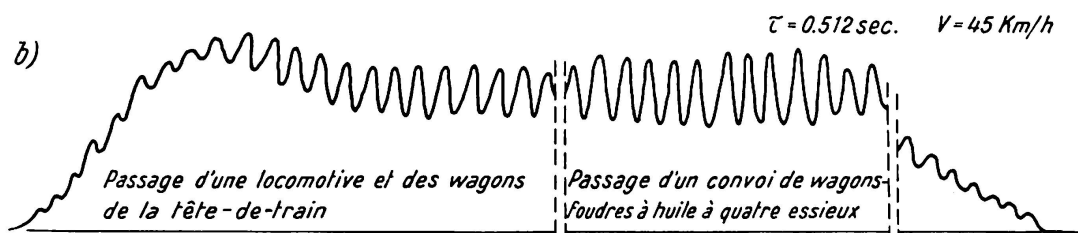
$$1 + \mu_v = 1 + u \mu_{max}, \quad \text{où}$$

- μ_v Complément dynamique maximum à la vitesse critique de marche v_{cr} .
- μ_{max} Complément dynamique à la vitesse de marche v .
- u Coefficient qui dépend du rapport des vitesses $\frac{v}{v_{cr}}$.

Comme les locomotives électriques et celles à diesel n'ont pas de masses tournantes déséquilibrées, leur action dynamique diffère sensiblement de l'effet provenant des trains conduits par des locomotives à vapeur.

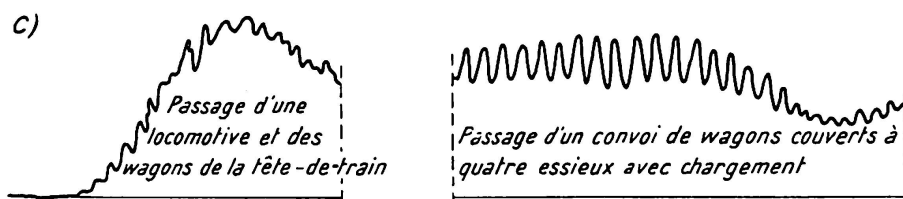


a) Apparition d'une oscillation proche de la résonance, au passage d'une locomotive à vapeur (sans wagons) sur une superstructure mixte acier-béton, $l = 56,43$ m.

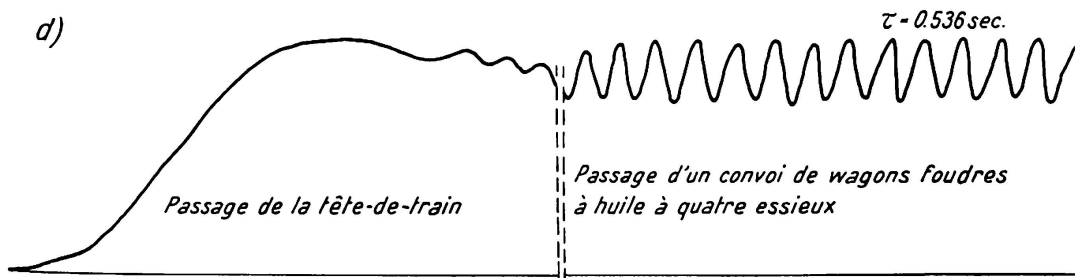


b) Oscillation provoquée par les groupes de chocs périodiques des roues pendant le passage de wagons à quatre essieux à une vitesse critique sur le pont.

Superstructure métallique, $l = 66$ m.



Superstructure métallique, $l = 77$ m.



Superstructure métallique, $l = 87,33$ m.

Fig. 2. Oscillogrammes typiques des déformations dynamiques des ponts-rails à moyennes et grandes portées.

4. En étudiant l'effet dynamique des charges mobiles sur les superstructures des ponts moyens et grands et en élaborant une théorie appropriée aux problèmes pratiques du calcul dynamique des ponts, nous prêtons une attention toute particulière au problème de la formation et de l'effet sur les superstructures des groupes de chocs, qui apparaissent sur la voie du pont pendant le passage du convoi et qui se répètent périodiquement.

La formation de ces groupes de chocs se manifeste de façon sensible (fig. 2b) pendant le passage à la vitesse critique de rames composées uniquement de wagons d'un certain type (y compris également les wagons à quatre essieux), quand sur le pont les inégalités (par exemple joints des rails, méplats des champignons des rails et autres) se succèdent régulièrement. Il est établi par des recherches expérimentales et théoriques qu'il existe plusieurs vitesses critiques pour lesquelles se fait sentir l'effet dynamique des chocs se produisant par groupes. Les valeurs absolues des vitesses critiques dépendent du type de wagons. La grandeur du complément dynamique correspondant dépend de la disposition des essieux du wagon, de l'espèce et de la disposition des inégalités de la voie ou de l'endroit qui provoque les chocs et de la valeur de la vitesse critique.

Les grandeurs des demi-amplitudes de l'oscillation des superstructures enregistrées lors de nombreux essais pendant le passage de wagons à la vitesse critique s'accordent bien avec les valeurs données par la formule:

$$y_i = \frac{2\pi}{CT} \frac{J_n}{n} \frac{1 - e^{-ni\vartheta}}{\vartheta} F, \quad \text{où}$$

C, T, ϑ Se rapportent au coefficient caractéristique de la rigidité, à la période de l'oscillation, au décrement de l'amortissement de l'oscillation de la superstructure chargée.

n Ordre de la vitesse critique.

J_n Coefficient caractérisant les groupes de chocs provenant des wagons du type en question sur les inégalités de la voie existant sur le pont.

i Quantité des groupes de chocs provenant des wagons après leur passage.

F Impulsion moyenne d'un choc provenant du passage d'un axe sur une inégalité d'une certaine espèce.

5. L'évaluation correcte du rôle des résistances inélastiques apparaissant dans une construction et provoquant l'amortissement de l'oscillation a une grande importance. Les essais ont montré que ce sont les forces extérieures, et non pas les forces intérieures de la résistance inélastique dans le matériau lui-même, qui ont le plus d'influence sur l'amortissement de l'oscillation des superstructures de ponts-rails, particulièrement celles en acier ou en béton précontraint.

Ces forces extérieures proviennent du frottement entre les appuis de la voie et le pont, de l'oscillation des culées et des piles sur le sol, etc. La dispersion considérable des valeurs expérimentales des décrets caractérisant l'amor-

tissement de l'oscillation des superstructures s'explique par le fait que les causes extérieures de la dispersion de l'énergie provenant de l'oscillation peuvent avoir dans les conditions concrètes, une importance bien différente. Il faut prendre en considération dans les calculs dynamiques ces forces extérieures de la résistance, en tenant compte des valeurs intervenant dans n'importe quelles conditions de l'exploitation des superstructures.

Actuellement on peut déjà aborder par une méthode de calcul l'établissement des décrets de l'amortissement qui doivent être contrôlés et ainsi éviter pour les superstructures de types nouveaux l'adoption de coefficients dynamiques trop grands et injustifiés.

6. L'action dynamique provenant des véhicules ferroviaires modernes a souvent une nature vague et très compliquée dans les superstructures de 10—20 m de portée, avec une période des oscillations verticales naturelles valant de 0,10—0,15 sec. environ. Cet effet dynamique résulte de l'action commune des forces accidentelles provoquées par les chocs et provient des forces régulières périodiques qui apparaissent au moment du passage des véhicules (fig. 3).

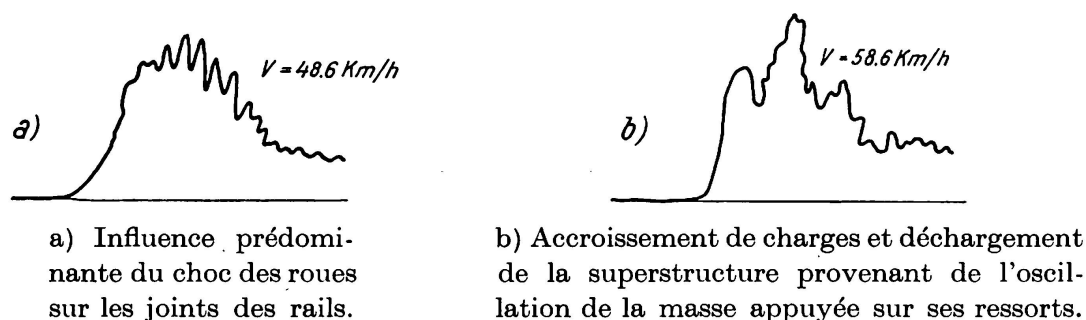


Fig. 3. Oscillogrammes des déformations dynamiques d'un pont-rail en béton armé, $l = 14,77$ m, pendant le passage d'une locomotive à diesel.

Pour les superstructures relativement rigides, il faut en tout cas prendre en considération, quand on détermine les compléments dynamiques de calcul, l'importance réelle de l'accroissement des charges par les forces apparaissant dans les locomotives à cause de l'oscillation de leur masse appuyée sur les ressorts. Cette oscillation, intervenant aussi sur les accès du pont, peut atteindre des grandeurs considérables.

7. Il ne faut pas ignorer actuellement, en faisant les calculs dynamiques de nombreuses superstructures de ponts, l'existence des ressorts dans le matériel roulant moderne, qui ont, comme on le sait, un frottement sec relativement petit.

Le système «superstructure + surcharge» peut se manifester, dans les grandes travées, comme un système à deux degrés de liberté. Les lois de formation des flèches dynamiques sous l'influence des forces de choc et des forces périodiques auront alors une autre nature que lorsqu'il existe une liaison rigide entre la charge et la superstructure.

Le procédé de détermination des effets dynamiques produits dans les ponts-poutres ferroviaires par les charges roulantes est déjà établi en Union Soviétique sur la base de l'analyse des données expérimentales et des recherches théoriques.

Dans l'immédiat, les recommandations élaborées seront vérifiées et précisées pratiquement au moment de la détermination de la capacité portante des ponts anciens et lors de l'établissement des coefficients dynamiques pour le calcul des superstructures de types nouveaux.

Résumé

En Union Soviétique, on a effectué au cours de nombreuses années un programme important de recherches expérimentales et théoriques sur l'action dynamique des charges mobiles sur les ponts-rails.

Les conclusions les plus importantes découlant de ces recherches sont formulées dans la présente contribution. Ces conclusions se rapportent à l'évaluation des diverses composantes de l'action dynamique des charges roulantes en considérant des ponts ayant des paramètres dynamiques différents.

Les recherches selon le programme susmentionné seront poursuivies.

Zusammenfassung

In der Sowjetunion wurde im Verlaufe von vielen Jahren ein wichtiges experimentelles und theoretisches Forschungsprogramm über die dynamischen Wirkungen der beweglichen Lasten auf die Brücken durchgeführt.

Die wichtigsten Schlüsse aus diesen Untersuchungen sind in der vorliegenden Arbeit zusammengestellt. Diese Schlüsse beruhen auf der Berechnung der verschiedenen Komponenten der dynamischen Wirkung von rollenden Lasten bei Brücken mit verschiedenen dynamischen Parametern.

Die Untersuchungen nach dem oben erwähnten Programm werden weitergeführt.

Summary

In the Soviet Union, a considerable programme of experimental and theoretical researches has been carried out, over a period of many years, on the dynamic effects of moving loads on railway bridges.

The more important conclusions resulting from these researches are set out in this paper and relate to the estimation of the various components of the dynamic effects of moving loads in the case of bridges having different dynamic parameters.

Research work in accordance with the above-mentioned programme is being continued.