

Comportement des viaducs sous rails, en maçonnerie, sous les actions dynamiques

Autor(en): **Perrousset, M. / Janin, M.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **5 (1956)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-6081>

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.

1 b 1

Comportement des viaducs sous rails, en maçonnerie, sous les actions dynamiques

Behaviour of masonry railway bridges under dynamic loading

**Das Verhalten von gemauerten Eisenbahnviadukten unter
dynamischer Belastung**

**Comportamento dos viadutos de caminho de ferro, de alvenaria,
submetidos a acções dinâmicas**

M. PERROUSSET

*Ingénieur à la Région Nord
de la S. N. C. F.*

M. JANIN

*Chef d'Etudes à la Région Nord
de la S. N. C. F.*

Paris

Etant donné le petit nombre des publications faites sur le sujet ⁽¹⁾, nous croyons devoir rendre compte d'essais effectués en 1953 et 1955 sur le comportement, au passage des charges roulantes, du viaduc de Comelle, situé aux abords de Chantilly, sur la ligne de Paris à Lille.

Description de l'ouvrage et mesures effectuées

Il s'agit d'un ouvrage en maçonnerie, à 2 voies, de 325 m de longueur, constitué par 15 arches en plein cintre de 19 m d'ouverture, sur piles élancées, de 2,70 m d'épaisseur aux sommets, les 7 piles centrales ayant des hauteurs voisines (24,50 m à 25,15 m).

Construit en 1856-1858, cet ouvrage, sans piles-culées, est très remarquable par sa grande légèreté, ainsi qu'il ressort du diagramme comparatif de Séjourné ⁽²⁾.

Le viaduc est actuellement en bon état, après renforcement, en 1935, des voûtes d'élégissement et, en 1938, d'une culée et de la voûte contigüe

⁽¹⁾ Des essais intéressants ont bien été effectués au viaduc de l'Escarène (ligne de Nice à Coni), sous la direction de MM. MARTINET et BASTIEN, puis, récemment, à celui de Barentin (ligne de Paris au Havre), mais ils n'ont pas été publiés.

⁽²⁾ Séjourné «Grandes Voûtes» — Tome VI — Bourges — 1916.

C'est en vue de relever la vitesse de 120 à 140 km/h et compte tenu des vibrations de l'ouvrage que les essais suivants ont été effectués.

Ils ont comporté la mesure des variations de flèche et d'ouverture de voûtes, la mesure des vibrations longitudinales, transversales et verticales à basse fréquence, à l'aide de sismographes mécaniques, et la détection des oscillations de fréquence élevée, grâce à un capteur électrodynamique Philips GM 5520. Les oscillations longitudinales de basse fréquence ont été, en outre, mesurées directement par rapport à une base fixe.

Résultats des mesures

1 – Les mesures de flèches et d'ouvertures de voûte ont permis de vérifier le fonctionnement de ce type d'ouvrage, devenu classique depuis les travaux de MM. GRELOT, VALETTE et LOSSIER.

2 – L'amplitude des oscillations verticales et transversales est assez forte, mais sans dépasser les valeurs observées sur d'autres ouvrages.

3 – En dehors d'oscillations à fréquence élevée, le passage des charges provoque, dans certaines conditions, des oscillations à basse fréquence (1,5 Hertz environ), d'amplitude relativement forte ($\pm 1,2$ mm) et de forme presque sinusoïdale, qui font l'objet de l'exposé suivant.

Oscillations longitudinales à basse fréquence

L'aspect de ces oscillations est donné par la Fig. 1 qui reproduit, outre le mouvement d'un des sismographes installés dans les voûtes d'élégissement de la pile 9, la variation de la flèche de la voûte 9-10.

On constate, ce qui est général, que les flèches et contre-flèches correspondent au passage du convoi sur la voûte expérimentée et sur les quatre voûtes encadrantes.

Mais, en outre, le sismographe enregistre un mouvement périodique de longue durée, nettement ressenti par un observateur placé sur l'ouvrage, et dont voici les caractéristiques :

1 – Ce type de vibrations ne se produit avec netteté que pour des vitesses d'environ 90 à 130 km/h. Au-dessous et au-dessus de ces vitesses, les mouvements sont à peu près apériodiques et de durée beaucoup plus courte.

2 – Il existe un maximum d'amplitude entre 100 et 110 km/h.

3 – La fréquence des oscillations est indépendante de la vitesse.

4 – Le mouvement s'amorce dès que le train aborde le viaduc et se poursuit après le dégagement de l'ouvrage, avec sensiblement la même fréquence.

5 – Cet ébranlement du viaduc, qui apparaît nettement au passage d'un train de voyageurs ou d'une rame automotrice, cependant moins lourde, est très atténué pour une machine isolée; son amplitude croît avec le nombre de voitures du convoi.

6 – Les piles oscillent en phase, mais les amplitudes sont nettement plus faibles :

- a) pour les piles situées près des extrémités du viaduc,
- b) pour une même pile, si l'on se place, non plus dans les voûtes d'élégissement, mais sur la plateforme des voies.

7 – En général, l'amplitude des oscillations présente deux maximums ; ils correspondent sensiblement aux moments où chaque moitié du viaduc

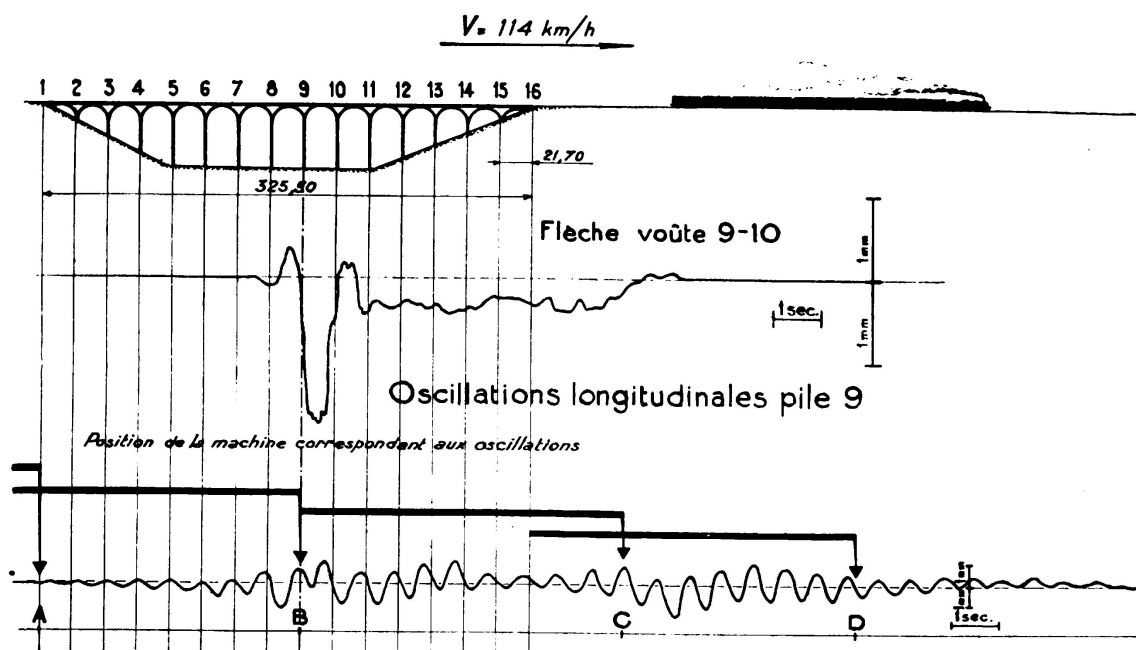


FIG. 1. Comportement des viaducs en maçonnerie à voûtes multiples sous les actions dynamiques.

est chargée ; les oscillations se trouvent, par contre, amorties lorsque le viaduc est chargé symétriquement.

Essai d'interprétation

Les quatre premières caractéristiques sont typiques des phénomènes de résonance. Il s'agit certainement ici d'une mise en vibration du viaduc sur des fréquences voisines de sa fréquence propre d'oscillation, par suite de ce que M. BRÜCKMANN appelle « effet d'intervalle » (3).

Il s'agit en fait, et c'est ce qui rend le phénomène si remarquable, de la superposition de deux effets d'intervalle de périodes très sensiblement égales (4).

(3) BRÜCKMANN — Brückenmesswesen, Brückenschwingungen und Brückenbelastbarkeit — «Der Eisenbahnbau» octobre-novembre 1950.

(4) L'effet d'intervalle dû aux joints de rails n'est pas à considérer, car le phénomène a même intensité sur les deux voies dont l'une est armée de rails sans joints.

1° - *Effet d'intervalle dû à l'égalité d'entr'axe des voûtes*

Par suite de la flexibilité des piles, leur sommet reçoit des impulsions longitudinales au passage d'une charge isolée, ainsi que l'ont montré Rabut, Séjourné et les auteurs déjà cités (5). Les entr'axes étant égaux, les impulsions se suivent à intervalles égaux.

2° - *Effet d'intervalle dû à la composition du train*

Les bogies des voitures à voyageurs modernes et des rames automotrices utilisées sur la ligne sont groupés deux par deux aux extrémités des voitures consécutives et leur charge peut être considérée comme concentrée à ces extrémités; pour des voitures de même longueur, ces charges sont donc équidistantes.

«L'intervalle» du viaduc est de 21,70 m (entr'axe des piles); celui du train varie de 20,80 m à 23 m (longueur des voitures à voyageurs).

Les deux effets d'intervalle sont donc sensiblement en phase et s'ajoutent.

Le capteur Philips a enregistré avec précision la fréquence des oscillations propres de l'ouvrage (1,38 Hertz), lorsque, le train ayant dégagé le viaduc, les oscillations basse fréquence ne sont plus masquées par celles de 25 Hertz. Cette fréquence correspond à des ébranlements donnés par un essieu circulant à 108 km/h sur des voûtes espacées de 21,70 m: c'est bien autour de cette vitesse que s'observent les plus fortes oscillations.

Mais, bien qu'il y ait résonance, les amplitudes ne dépassent pas $\pm 1,2$ mm, limitation qui peut s'expliquer comme suit:

- a) Le coefficient d'amortissement des ouvrages en maçonnerie est, en principe, assez grand et, en fait, les oscillations libres du viaduc, après passage des charges, ne comportent qu'une vingtaine de périodes.
- b) Les éléments perturbateurs suivants interviennent:

Les impulsions données à une même pile par deux charges situées de part et d'autre sont en opposition de phase; les impulsions données par la machine d'un train ne sont pas en phase avec celles des voitures; la fréquence propre de l'ouvrage varie avec la position et le poids du convoi; la longueur des voitures n'est pas exactement égale à l'entr'axe des piles.

Toutes ces causes modifient l'allure de la courbe de résonance, d'une part, en réduisant la valeur maximum des amplitudes, d'autre part, en élargissant la bande de fréquences excitatrices possibles.

(5) RABUT — «Comptes rendus de l'Académie des Sciences» — T. 159 page 652 (cité par Séjourné — «Grandes Voûtes»).

Nocivité comparée des diverses catégories d'oscillations

Pour classer les différentes vibrations constatées, au point de vue de leur nocivité, nous utiliserons, dans le tableau ci-après, l'échelle des degrés «PAL» de la norme allemande DIN 4150 (6) et le «taux d'énergie ER» proposé par M. F. J. Crandel (7).

Nature des oscillations	Vitesse maximum	Degré PAL	Taux d'énergie ER
longitudinales haute fréquence ... (25 Hz)	0,42 cm/sec	19,4	0,0007
transversales haute fréquence ... (50 Hz)	0,53 cm/sec	21,5	0,0011
verticales (25 Hz)	1,00 cm/sec	27,0	0,004
longitudinales basse fréquence ... (1,5 Hz)	1,13 cm/sec	28,0	0,005
transversales basse fréquence ... (1,5 Hz)	1,40 cm/sec	30	0,008

Le seuil de nocivité pour les constructions peut être pris égal, soit à 35 degrés PAL, soit à ER = 0,3. Pour un mouvement sinusoïdal, ces seuils correspondent respectivement à des vitesses maximums de vibrations de 2,5 cm/sec et 8,7 cm/sec. Cette divergence correspond sans doute au fait que le seuil de 35 PAL s'applique aux vibrations continues et le taux d'énergie ER = 0,3 aux explosions.

Le seuil de nocivité des ébranlements d'un ouvrage d'art, sous les charges roulantes, doit être intermédiaire.

Le tableau ci-avant montre que les oscillations longitudinales, habituellement négligées, ont des valeurs du même ordre que les oscillations verticales et transversales, mais qu'aucune des valeurs n'atteint le seuil de nocivité le plus bas (35 PAL). La tenue du viaduc n'a d'ailleurs pas été compromise depuis les réparations effectuées il y a plus de 15 ans.

Conclusions générales

Le phénomène de résonance peut ne pas toujours se trouver limité comme dans le cas cité et la prudence nous dicte les conclusions suivantes :

1°) Dans le cas, — fort rare maintenant, peut-on penser —, de l'étude d'un viaduc à voûtes multiples égales sur piles de grande hauteur, il semble souhaitable de parer dans toute la mesure possible au risque de résonance.

En raison de la complexité de son calcul, il paraît difficile de placer, à coup sûr, la fréquence propre en dehors des zones de fréquences excitatrices possibles.

(6) «DIN Vornorm 4150» — Juillet 1939.

(7) F. J. CRANDEL — «The Journal of Boston Socy of Civil Engineers», Avril 1949.

Par contre, il semble qu'on puisse limiter l'effet d'intervalle :

- soit en faisant varier l'ouverture des voûtes ou même l'épaisseur des piles ⁽⁸⁾ ;
- soit en rompant l'ordonnance à intervalles suffisamment rapprochés par des voûtes nettement plus petites ou des piles-culées ⁽⁹⁾.

Il serait bon également de choisir un entr'axe assez nettement différent de la longueur des voitures.

2°) Pour des ouvrages existants, l'augmentation des vitesses ou la mise en service de rames homogènes de véhicules d'un type nouveau peut faire apparaître un régime d'oscillations susceptible d'accélérer le vieillissement de l'ouvrage.

R É S U M É

Le passage de groupes d'essieux équidistants, sur des viaducs longs, à voûtes égales, peut engendrer, à certaines vitesses, un phénomène de résonance, d'autant plus important que la distance des groupes d'essieux est voisine de l'ouverture des voûtes.

Les auteurs exposent le cas observé sur un viaduc de la ligne de Paris à Lille et préconisent les moyens propres à limiter ce phénomène.

S U M M A R Y

Equally distant groups of axles travelling on long viaducts with equal span arches can produce, at certain speeds a resonance phenomenon which becomes stronger as the distance between the different groups of axles is nearer the span of the arches.

The authors report a case observed on a viaduct of the Paris to Lille railway and suggest processes to limit such phenomena.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Durchgang von aequidistanten Achsgruppen auf langen Viadukten mit gleichen Bögen kann, bei gewissen Geschwindigkeiten, zu Resonanzerscheinungen führen, die um so bedeutender sind, als sich der Abstand der Achsgruppe der Öffnungsweite der Bogen nähert.

Die Autoren beschreiben einen beobachteten Fall der Linie Paris-Lille und zeigen geeignete Möglichkeiten auf zur Eindämmung dieser Erscheinung.

⁽⁸⁾ Comme l'a fait Séjourné pour l'esthétique des viaducs de Nice à Coni.

⁽⁹⁾ Cf. Morandière: «On divise souvent les longs viaducs de chemin de fer par des piles-culées afin de rompre la transmission des vibrations et de parer en même temps aux chances d'accidents».

Par contre, Séjourné décrète: «Ne plus faire de piles-culées ... organes-témoins reproduits par tradition».

RESUMO

A passagem, sobre viadutos compridos, de arcos iguais, de grupos de eixos equidistantes, pode dar origem, a certas velocidades, a um fenómeno de ressonância, tanto mais importante quanto menor for a diferença entre o espaçamento dos grupos de eixos e o vão dos arcos.

Os autores expoem o que se observou num viaduto da linha de Paris a Lille e preconizam os meios para limitar o referido fenómeno.

Leere Seite
Blank page
Page vide