Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 37 (1982)

Artikel: Determination des actions pour le calcul des ponts-routes
Autor: Bruls, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-28991

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Determination des actions pour le calcul des ponts-routes

Bestimmung der Lasten für die Berechnung von Strassenbrücken

Determination of the Loading for Design of Road-Bridges

A. BRULS
Maître de Conférence
Université de Liège
Liège, Belgique

RESUME
Cette communication présente les résultats d'une recherche effectuée dans le but de déterminer les actions à considérer pour le calcul statique et le calcul à la fatigue des ponts-routes. Partant des mesures du trafic et d'un programme de simulation on a pu déterminer des convois représentatifs du trafic. En simulant les lignes d'influences fréquemment rencontrées dans les ponts, on a pu définir un convoi qui permet le calcul des sollicitations caractéristiques et le calcul de la différence de contrainte produisant le plus grand dommage en fatigue.

ZUSAMMENFASSUNG
Der Beitrag stellt die Forschungsergebnisse über die Lastannahmen für die statische Berechnung und die Berechnung auf Ermüdung von Strassenbrücken vor. Da Messergebnisse des Verkehrs und ein Simulationsprogramm zur Verfügung standen, konnten Lastbilder ermittelt werden. Durch das Simulieren der bei Brücken am häufigsten vorkommenden Einflusslinien konnte ein Lastbild für die Berechnung der charakteristischen Beanspruchungen und der Spannungsdifferenzen, die den grössten Schadenanteil in der Ermüdung verursachen, dargestellt werden.

SUMMARY
This paper presents results of research done into the determination of static and fatigue loadings for road bridge design. From traffic measurement and a computer simulation program representative design loads were chosen. By simulating influence lines commonly found in bridges a convoy loading was defined which permits both the calculation of static loads and the stress range producing the maximum fatigue damage.

INTRODUCTION.

Le but de cette recherche est de fournir une base scientifique à la révision de la norme définissant les charges de calcul des ponts en Belgique.

En effet, depuis 1945, le poids et la fréquence des camions composant le trafic routier ont augmenté au point qu'une vérification de la résistance statique et de la résistance à la fatigue des ponts s'impose, en tenant compte de la nouvelle réalité des actions.

En 1972, disposant d'une enquête du Centre de Recherche Routière [1] sur le trafic en Belgique, nous avons commencé la mise au point d'un programme de simulation du trafic [2] de façon à limiter le côut des mesures in situ et à en tirer le maximum d'enseignement.

De 1976 à 1978, la première phase d'une recherche européenne subsidiée par la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier (CECA) [3] [4] a permis de procéder à l'enregistrement simultané du trafic et des contraintes produites dans 11 ponts-routes répartis dans cinq pays de la Communauté Economique Européenne (CEE). Dans le cadre de cette recherche, nous avons pu vérifier la capacité du programme de simulation de reproduire les spectres des contraintes à partir de la connaissance des paramètres du trafic.

Vu l'urgence du problème posé en Belgique, le Centre de Recherches de l'Industrie des Fabrications Métalliques (CRIF) nous a demandé de dépouiller un des trafics connus, en vue de définir les actions à considérer pour le calcul statique et le calcul à la fatigue des ponts en acier [5]. La présente communication donne les résultats marquants de cette étude.

Depuis 1980, la deuxième phase de la recherche européenne est en cours. Elle a pour objet de poursuivre le dépouillement des enregistrements effectués lors de la première phase, de procéder à des mesures complémentaires et, enfin, de jeter les bases pour le calcul à la fatigue des ponts en acier en Europe en exploitant par la simulation l'ensemble des trafics observés.

2. BASES DE L'ETUDE.

2.1. Programme de simulation

Depuis 1972, le SERVICE DES PONTS ET CHARPENTES DE L'UNIVERSITE DE LIEGE a travaillé à la mise au point d'un programme de simulation sur ordinateur. Plutôt que de chercher à mettre le trafic en équation, on a développé un programme de simulation, qui constitue un trafic sur une base statistique, et qui calcule ensuite les effets produits par ce trafic en un point du pont. Tout effet, pour lequel on connait la ligne d'influence longitudinale relative à chaque voie de circulation d'un pont, peut être simulé, par exemple : les éléments de réduction, les contraintes, les déformations, etc. Le trafic peut être ferroviaire ou routier. Le trafic constitué par le programme peut s'écouler sur le pont suivant plusieurs voies parallèles.

Les données concernent le trafic et la ligne d'influence de l'effet simulé. Le trafic est défini par trois variables aléatoires : le type de véhicule, le coefficient de chargement et la distance entre véhicules.

Une procédure de choix au hazard est appliquée successivement aux trois variables aléatoires définissant le trafic. La file de véhicules constituée est finalement définie par la position et la chargé de chaque essieu.

La file de véhicules avance sur la ligne d'influence par pas constants. Les effets calculés à chaque pas permettent d'établir 8 histogrammes : les effets calculés, les maxima, les minima, les écarts entre maxima-minima et minima-maxima, les dépassements de niveau et les étendues de contraintes suivant deux méthodes particulières à l'étude des dommages en fatigue("Range-pair et Rain-flow").

Partant du dépouillement des enregistements du trafic, on a pu définir les types de véhicules nécessaires à la reproduction statistique des trafics observés.

2.2. Trafic de Caronte

Pour ce premier dépouillement, on a choisi le trafic de Caronte, parce qu'il est bien défini et qu'il comprend les essieux les plus lourds.

Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris a enregistré durant 94 heures ininterrompues le trafic et les contraintes produites dans le pont de Caronte lors de la première phase de la recherche CECA [6].

Concernant le trafic en mouvement, on a enregistré :
- les charges des demi-essieux passant sur une bascule incorporée dans la route;
- les distances qui séparent les essieux ;
- la position transversale du trafic.

Concernant les contraintes mesurées, on a enregistré :
- la ligne d'influence résultant du passage à faible vitesse d'un camion taré, circulant successivement sur plusieurs voies parallèles ;
- l'évolution continue des contraintes mesurées à l'aide de jauges durant la période d'enregistrement du trafic.

Le dépouillement de ces enregistrements a été effectué à l'aide de l'ordinateur pour déterminer les paramètres caractéristiques du trafic et deux histogrammes des contraintes (l'histogramme des dépassements de niveau et l'histogramme des range-pairs).

Le trafic observé sur la voie de droite de Caronte comprenait 5370 camions ayant au moins un essieu plus lourd que 14 kN, et 5280 essieux plus lourds que 50 kN, (soit un nombre voisin du nombre de camions). Si on admet 200 jours ouvrables par an, on peut considérer que 13,7 10^6 essieux plus lourds que 50 kN passent dans la voie de droite durant la vie de l'ouvrage supposée égale à 50 ans.

Partant des mesures du trafic, on a défini 29 types de véhicules pour la simulation [5]. En considérant séparément les véhicules vides et les véhicules chargés, nous avons pu admettre que la distribution des charges d'un essieu suit la loi de Rayleigh.

La moyenne des distances mesurées entre les véhicules d'un trafic valait 200 mètres (1200 mètres entre les camions), elle correspondait à un trafic fluide. Pour tenir compte des conditions plus défavorables, on a également simulé un trafic dense, où les distances entre véhicules ont été divisées par 10.

3. ACTIONS STATIQUES

3.1. Détermination des actions statiques

Les actions caractéristiques (maximales) sont à considérer dans le calcul

statique d'un pont. Nous définissons la charge caractéristique comme la charge qui est dépassée 5 fois sur 100 ponts en 50 ans. Ainsi statistiquement, la charge caractéristique a une période de retour de 1000 ans.

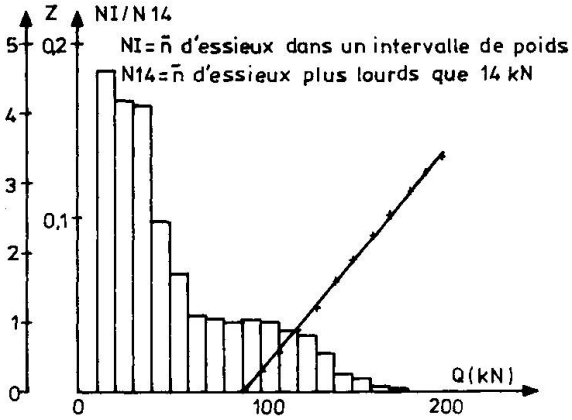

Figure 1 : Histogramme du poids des essieux à Caronte

Les histogrammes des poids des essieux mesurés sont complexes. La figure 1 donne l'histogramme du poids de l'ensemble des essieux mesurés à Caronte et une anamorphose linéaire de cet histogramme par l'intermédiaire de la fonction de répartition, où la variable réduite Z est portée en ordonnée. L'étude de cette distribution montre que l'histogramme suit une loi semi-normale, lorsque le poids des essieux est supérieur à Q_o = 90 kN, avec un écart type égal à 32,19 kN et un coefficient de corrélation égal à 0,9998. En extrapolant cette loi semi-normale, on obtient des essieux dont le poids maximum vaut respectivement 195 kN, 236 kN, 260 kN et 276 kN, une fois par jour, par an, en 50 ans et en 1000 ans. Ces chiffres montrent l'importance relative du choix de la période de retour : le poids maximum d'un essieu en 1000 ans ne dépasse que de 6 % le poids maximum en 50 ans.

L'examen de l'ensemble des enregistrements disponibles [3] montre que les histogrammes des contraintes enregistrées ont une forme similaire aux histogrammes des poids des essieux qui ont produit ces contraintes. Dès lors, le principe d'extrapolation appliqué aux essieux est également applicable à toute autre sollicitation.

3.2 Courbe de charge

Les charges locales résultent du dépouillement du poids des essieux individuels composant les différents véhicules. Le véhicule le plus lourd (camion semi-remorque à 4 essieux), représentant 25 % de l'ensemble des camions, est déterminant pour définir les actions locales.

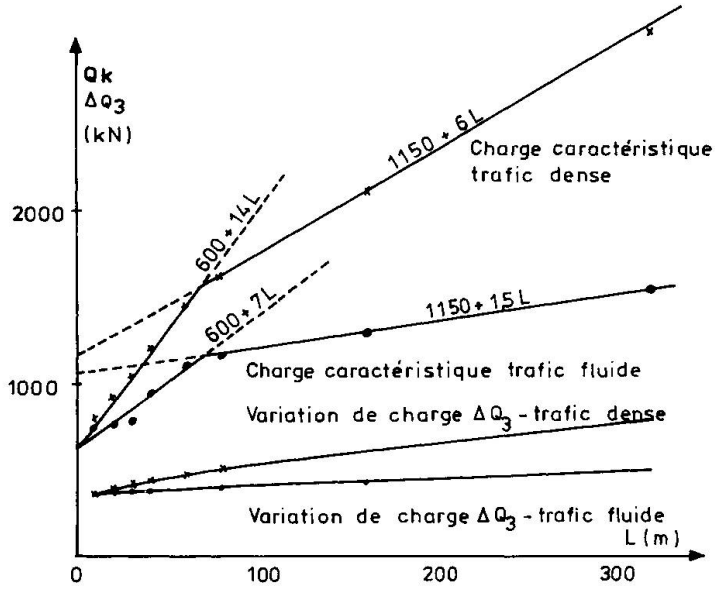

Figure 2 : Charges sur la voie de droite de Caronte

Lorsque la voie dépasse 10 mètres de longueur, elle peut contenir simultanément plusieurs véhicules, et la distribution des distances séparant les véhicules est à considérer. La simulation permet l'étude des charges qui peuvent se trouver dans une voie en considérant une ligne d'influence de longueur L, et d'ordonnée constante égale à l'unité.

En admettant que l'histogramme des maxima suit une loi semi-normale pour un poids supérieur à une valeur Q_o, on peut calculer le poids caractéristique Q_k. Les résultats sont donnés dans le tableau et les courbes de charge sont données à la figure 2.

Caronte

L (m)	Q_k kN	ΔQ_m (kN)	$\frac{n_{50}}{n_m}$	$n_e = n_{50}/5$			$\frac{\Delta Q_3}{Q_k}$
				ΔQ_3	ΔQ_4	ΔQ_5	
Trafic fluide (d_o = 200 m)							
10	750	333	4,21	352	347	350	0,469
20	760	358	4,21	379	374	376	0,499
30	790	363	4,23	384	378	381	0,486
40	950	370	4,73	389	384	388	0,409
60	1120	382	4,42	398	394	399	0,355
80	1160	414	5,07	412	413	425	0,355
160	1290	451	5,34	442	444	458	0,343
320	1540	537	6,36	495	506	526	0,321
Trafic dense (d_o = 20 m)							
10	800	332	4,20	352	347	349	0,440
20	920	371	4,29	390	385	389	0,424
30	1050	408	4,78	414	413	420	0,394
40	1200	453	5,49	439	442	455	0,366
60	1450	503	5,78	479	485	500	0,330
80	1610	561	6,43	516	527	546	0,320
160	2100	774	9,72	620	655	694	0,295
320	3000	1140	15,49	781	858	934	0,260

3.3 Sollicitations caractéristiques

Les convois de calcul qui ont pu être déduits de la courbe de charge, sont testés sur les lignes d'influence les plus représentatives des sollicitations rencontrées dans les ponts en acier. La dalle orthotrope a été exclue, parce qu'étant soumise à l'action directe des essieux, elle ne nécessite pas de simulation.

Les ponts choisis (voir figure 3), comprennent deux maîtresses-poutres, des entretoises et une dalle en béton. Les portées varient de 10 à 200 mètres. La chaussée comprend 2 ou 4 voies de circulation. Le trafic dense simulé passe simultanément dans chaque voie de la chaussée.

L'extrapolation des histogrammes des maxima donne la sollicitation caractéristique S_k. Le chargement de la ligne d'influence par le convoi testé donne la sollicitation du convoi.

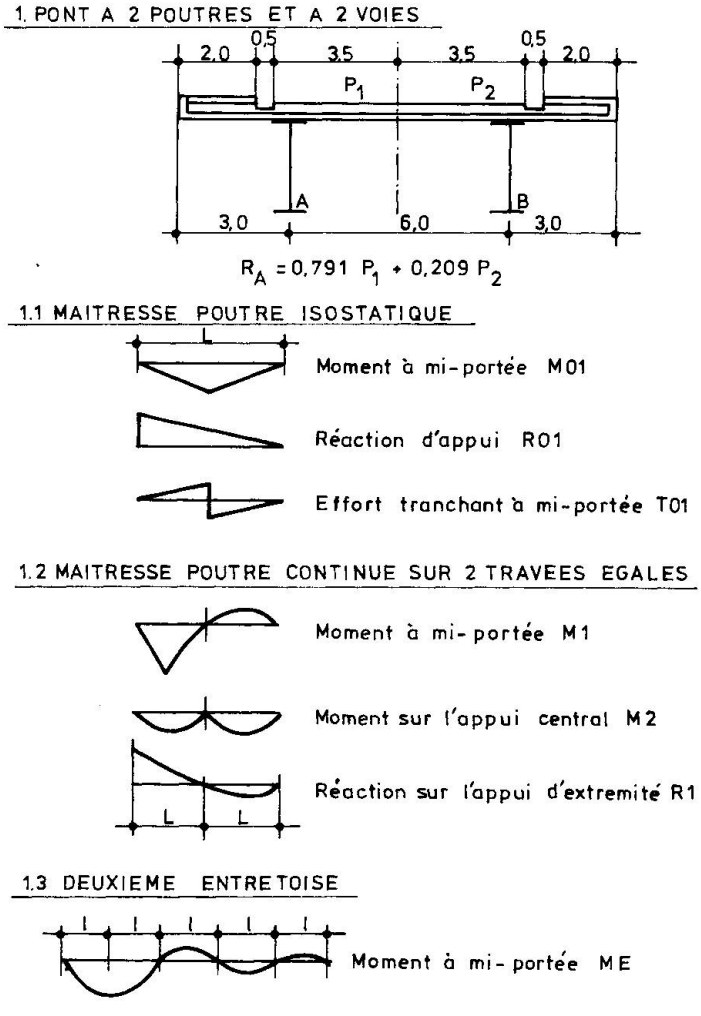

Figure 3 : Lignes d'influence simulées

De cette comparaison nous avons déduit le convoi qui a produit les sollicitations les plus proches des sollicitations caractéristiques : il comprend deux essieux de 200 kN, distants de 1,50 m et placés dans deux voies parallèles, et une charge répartie de 3 kN/m^2.

4. ACTIONS REPETEES

4.1 Détermination des actions répétées

Le critère de la résistance à la fatigue admis en Belgique prend en considération la distribution des variations de contrainte $\Delta\sigma$. Dans le pont de Caronte, la distribution des $\Delta\sigma$, comme la distribution des poids des essieux, suit une loi complexe (figure 1). L'application de la règle des dommages cumulés de Miner donne une infinité de couples de valeurs, $\Delta\sigma_e$, n_e, qui produisent le même dommage c'est-à-dire tel que :

$$n_e \cdot (\Delta\sigma_e)^k = \Sigma n_i \cdot \sigma_i^k \ .$$

Si la contrainte est proportionnelle au poids des essieux, il suffit d'étudier la distribution des poids des essieux. La figure 4 donne la distri-

bution des dommages, $d_i = n_i Q_i^k$, lorsque k = 3, 4 et 5, valeurs à considérer dans les assemblages métalliques.

Cette distribution des dommages appelle trois remarques importantes :

- Le grand nombre de petites charges donne un dommage relativement petit : les essieux inférieurs à 50 kN peuvent être négligés dans l'étude de la fatigue.
- Le petit nombre de charges élevées donne un dommage relativement petit : les essieux supérieurs à 200 kN (correspondant à une période de retour voisine du jour) peuvent être négligés dans l'étude de la fatigue.
- Le plus grand dommage en fatigue est produit par les essieux compris entre 120 et 130 kN, aussi bien pour k = 3, k = 4 que pour k = 5.

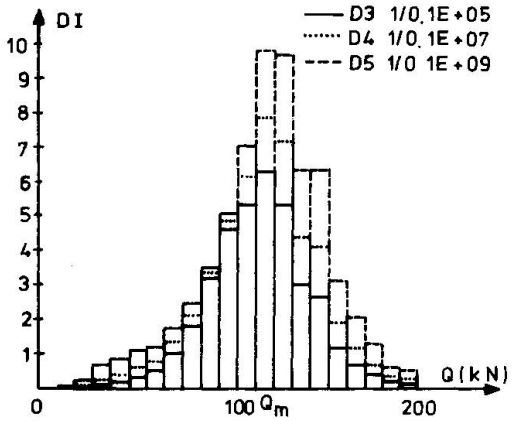

Figure 4 : Dommage en fatigue en fonction du poids des essieux à Caronte

La charge équivalente Q_e à considérer en fatigue devrait être proche de la charge qui donne le plus grand dommage en fatigue. Le centre de gravité de la distribution,

$$d_i = n_i . Q_i^3 , \qquad (1)$$

$$\text{vaut } Q_m = \frac{\Sigma\, n_i . Q_i^4}{\Sigma\, n_i . Q_i^3} \qquad (2)$$

Si on admet k = 3, le nombre d'essieux égal à Q_m qui produit le même dommage est obtenu en appliquant la règle de MINER :

$$n_m = \frac{\Sigma\, n_i . Q_i^3}{Q_m^3} \qquad (3)$$

En remplaçant dans (3) Q_m par la valeur de l'équation (2), on a :

$$n_m = \frac{(\Sigma\, n_i . Q_i^3)^4 .}{(\Sigma\, n_i . Q_i^4)^3 .} \qquad (4)$$

Si on admet k = 4, le nombre d'essieux de poids égal à Q_m qui produit le même dommage vaut :

$$n'_m = \frac{\Sigma\, n_i . Q_i^4}{Q_m^4} = \frac{(\Sigma\, n_i . Q_i^3)^4 .}{(\Sigma\, n_i . Q_i^4)^3 .} = n_m \qquad (5)$$

Nous avons déduit de ces considérations que si Q_m,défini par la formule 2,est le poids équivalent d'essieux, le nombre de cycles n_m qu'il faut considérer pour obtenir le dommage des charges réelles est donné par la formule (4), aussi bien pour k = 3 que pour k = 4.

Comme la distribution des contraintes est semblable à la distribution du poids des essieux, on peut calculer une variation de sollicitation équivalente ΔS_m, et un nombre de cycle équivalent n_m, en appliquant les formules (2) et (4).

L'application de ces équations à la distribution des poids d'essieux à Caronte donne :

Q_m = 114 kN ;

n_m = 3.853 cycles en 94 heures = $n_{50}/1,37$;

où n_{50} est le nombre d'essieux plus lourds que 50 kN.

4.2 Sollicitations simulées

La simulation permet l'étude de la variation de la charge qui peut se trouver dans une voie de longueur L. Le tableau précédent donne la variation de charge ΔQ_m et le nombre de cycles correspondant n_m. On voit que $4,2 < n_{50}/n_m < 6,5$ pour le trafic fluide et le trafic dense lorsque L < 80 mètres. Si pour des raisons pratiques, on fixe $n_e = n_{50}/5$, on peut calculer les variations de charge équivalentes ΔQ_3, ΔQ_4, ΔQ_5 correspondant à k égal à 3, 4 et 5. Le tableau montre que les trois valeurs sont très voisines lorsque n_e est proche de n_m ; pour L ⩽ 80 m, l'écart entre ΔQ_3 et ΔQ_5 est inférieur à 5 %. En conclusion, les variations des contraintes, proportionnelles aux charges définies dans le tableau, sont indépendantes de la pente de la courbe de Wöhler propre à l'assemblage à étudier.

La variation de sollicitation ΔS_e obtenue par la simulation des lignes d'influences définies à la figure 3, varie entre 0,29 S_k pour les grandes portées, et 0,46 pour les petites portées; pour 20 m ⩽ L ⩽ 40 m, on a ΔS_e voisin de 0,40 S_k.

La variation de sollicitation, calculée en appliquant sur les lignes d'influence différentes charges composées d'un certain nombre d'essieux, est toujours trop grandes pour les petites portées et trop petites pour les grandes portées. Ce phénomène résulte du fait que ΔQ_e augmente avec L comme le montrent le tableau et la figure 2.

5. CONCLUSIONS

Le schéma de charge le plus représentatif du trafic dense de Caronte (où les distances entre véhicules sont dix fois plus petites que les distances mesurées) comprend deux essieux de 200 kN distants de 1,5 mètre par voie mais placés dans deux voies parallèles au maximum, et une charge répartie divisible de 3 kN/m^2.

Comparé au convoi utilisé jusqu'à présent pour le calcul normal des ponts en Belgique, ce schéma comprend des charges d'essieux nettement plus élevées (200 kN au lieu de 13 tonnes) et une charge répartie plus faible (3 kN/m^2 au lieu de 400 kg/m^2).

Il ressort également de ce qui précède que la variation de contraintes à considérer dans le calcul à la fatigue des ponts est une fraction de la variation de la contrainte produite par les actions caractéristiques. Cette fraction est voisine de 40 % pour les portées moyennes (30 mètres), soit :

$$\Delta S_e = 0,4\ (S_k^+ - S_k^-)$$

où S_k^+ (S_k^-) est la sollicitation obtenue en chargeant au maximum la plage positive (négative) de la ligne d'influence.

Le nombre de cycles à considérer devrait être égal au cinquième du nombre de camions ou du nombre d'essieux plus lourds que 50 kN. Pour le trafic de Caronte, cela représente $2,7.10^6$ cycles en 50 ans.

Localement, il y a lieu de considérer une charge d'essieu de 100 kN se produisant autant de fois qu'il y a d'essieux plus lourds que 50 kN.

La norme belge définissant les actions à considérer pour le calcul des pont est actuellement revue sur la base sur la présente étude.

BIBLIOGRAPHIE

[1] de HENAU.

Etude analytique des paramètres définissant les sollicitations engendrées par les véhicules commerciaux et la circulation à la surface des revêtements routiers hors agglomération - Centre de Recherche Routière - Bruxelles - 1964.

[2] S. BAAR et A. BRULS.

Investigation dynamique des ponts - Etude des sollicitations des ponts sous l'action du trafic routier - Sercom - 1975.

[3] DE BACK, BRULS, CARRACILLI, HOFFMANN, SANPAOLESI, TILLY, ZASCHEL.

Mesures et interprétations des charges dynamiques dans les ponts. Rapport commun de synthèse de la première phase. CECA - 1979.

[4] A. BRULS.

Mesures et interprétations des charges dynamiques dans les ponts. Première phase - Université de Liège - 1978.

[5] R. BAUS - A. BRULS.

Etude du comportement des ponts en acier sous l'action du trafic routier. Détermination des actions pour le calcul statique et le calcul à la fatigue - CRIF - Bruxelles - 1981.

[6] J. CARRACILLI.

Mesures et interprétations des charges dynamiques dans les ponts. Première phase-Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris - 1978.