

Evaluation des ponts existants: vers une meilleure connaissance des charges et des sollicitations

Autor(en): **Bez, Rolf / Bailey, Simon F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **122 (1996)**

Heft 5

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78830>

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.

Evaluation des ponts existants

Vers une meilleure connaissance des charges et des sollicitations

par Rolf Bez,
Dr sc. techn.,
ing. civil dipl.
EPFL/SIA, et
Simon F. Bailey,
ing. civil BSc/SIA
EPFL,
ICOM - Construction
métallique,
GC - Ecublens,
1015 Lausanne

Nous disposons en Suisse, depuis quelques années, d'un ensemble de normes pour le dimensionnement des structures porteuses basées sur un concept de sécurité moderne. Ces normes, tout comme d'ailleurs les Eurocodes en cours de réalisation, concernent cependant exclusivement le dimensionnement de nouveaux ouvrages; elles ne s'appliquent donc pas directement à l'évaluation de structures existantes. Pour contribuer à combler cette lacune, la SIA a publié récemment la directive SIA 462, dans laquelle les bases de la vérification de la sécurité structurale d'ouvrages existants sont notamment définies. Le présent article décrit les moyens de mesure nouvellement acquis par l'ICOM-Construction métallique de l'EPFL (directeur: prof. M.A. Hirt) pour être mis à disposition des maîtres d'ouvrages et des ingénieurs désirant effectuer une évaluation de la sécurité structurale de ponts existants conforme aux principes présentés dans la directive SIA 462.

Introduction

La directive SIA 462 [1]¹ propose d'utiliser pour la vérification de la sécurité structurale d'un ouvrage existant le même concept de sécurité que celui défini dans les normes SIA 160 [2], SIA 161 [3] et SIA 162 [4] pour le dimensionnement de nouvelles structures. Dans le cas d'un pont et pour une situation de risque où le trafic constitue la seule action variable à considérer, cela reviendrait à vérifier la relation suivante:

$$S_d = S (\gamma_G G_m + \gamma_Q Q_r) \leq \frac{R}{\gamma_R}$$

- S_d : valeur de dimensionnement des sollicitations
 γ_G : facteur de charge relatif au poids propre
 G_m : valeur moyenne des poids propres
 γ_Q : facteur de charge relatif au trafic
 Q_r : valeur représentative des actions dues au trafic
 R : valeur représentative de la résistance
 γ_R : facteur de résistance

La directive SIA 462 [1] précise qu'il est possible de déroger aux normes en vigueur lorsqu'une justification théorique ou expérimentale peut être apportée. Cela signifie donc qu'il est possible d'effectuer la vérification de la sécurité structurale d'un ouvrage

existant en utilisant des données actualisées concernant les actions ou les résistances [5]. Concrètement, cela revient à remplacer la relation précédente par celle-ci:

$$S_{act} = S (\gamma_G G_{act} + \gamma_Q Q_{act}) \leq \frac{R_{act}}{\gamma_R}$$

- S_{act} : valeur actualisée des sollicitations
 G_{act} : valeur actualisée des poids propres
 Q_{act} : valeur actualisée des actions dues au trafic
 R_{act} : valeur actualisée de la résistance

Si la directive SIA 462 [1] fournit quelques indications concernant les valeurs des facteurs de charge et de résistance à considérer, elle n'en donne aucune pour les valeurs actualisées: c'est au maître d'ouvrage ou à son mandataire qu'il revient de les définir. Mais sur quelles bases? La question est ouverte; elle a nécessité, et nécessitera encore, d'importants travaux pour répondre aux divers problèmes qui se posent dans ce domaine [6].

Dans le présent article, nous souhaitons apporter un élément de réponse, en présentant des équipements de mesure qui devraient pouvoir aider les maîtres d'ouvrages ou les ingénieurs responsables à établir des données actualisées concernant les actions ou les sollicitations dans les ponts existants. Notre contribution porte

sur les deux procédés et équipements de mesure suivants:

- mesure des charges dues au trafic routier à l'aide d'un détecteur mobile permettant de peser et de mesurer les véhicules en marche;
- mesure des sollicitations dans un pont-route ou dans un pont-rail à l'aide d'un appareil permettant d'enregistrer des valeurs sur plusieurs semaines.

Mesure des charges dues au trafic routier

L'acquisition d'un équipement de mesure permettant d'avoir une meilleure connaissance des charges dues au trafic routier a été motivée par le manque d'informations à disposition dans ce domaine. Les travaux de recherche et de normalisation entrepris ces dernières années ont en effet permis de constater qu'il manquait des informations relatives aux caractéristiques (dimension et poids) effectives des poids lourds circulant en Suisse, notamment en dehors du réseau des autoroutes, et ce pour différentes conditions de trafic (sans restriction, poids total limité, croisement empêché, etc.) pouvant varier d'un site à l'autre.

C'est pour combler cette lacune que l'ICOM a décidé d'acquérir une installation de mesure des véhicules en marche (fig. 1) constituée d'un détecteur mobile *WimStrip* (terme dérivé de l'anglais «Weigh-In-Motion Strip») ainsi que de deux boucles d'induction. La mise en place du système de mesure nécessite uniquement de fermer durant environ trois heures la voie de circulation sur laquelle le détecteur *WimStrip* et les boucles d'induction sont installés. Il suffit pour cela de régler la circulation de façon manuelle avec des signaux indiquant aux véhicules de rouler ou de s'arrêter. La procédure d'installation en elle-même est relativement simple.

- Le détecteur mobile *WimStrip* est fixé sur la chaussée à l'aide de bandes de bitume autocollantes et d'une pellicule protectrice.

¹Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.



Fig. 1. - Camion passant sur l'installation de mesure des véhicules en marche

– Les boucles d'induction sont simplement collées sur la chaussée; aucun fraisage n'est donc nécessaire.

– L'ensemble du système de mesure doit être étalonné lors de plusieurs passages d'un ou de deux poids lourds dont les dimensions et le poids des essieux sont connus. Cette procédure d'étalonnage permet de régler le système de mesure de façon à ce que les valeurs mesurées des charges correspondent à des valeurs statiques.

L'ensemble de cet équipement permet de mesurer les données suivantes sans que le trafic ne soit perturbé (les véhicules sont donc en marche, à une vitesse maximale de 80 km/h):

- type de véhicule (camion seul, camion à remorque ou camion articulé),
- nombre d'essieux,
- poids des essieux,
- poids total du véhicule,
- distance entre essieux,
- longueur totale du véhicule,
- vitesse.

La figure 2 montre un exemple de mesures fournies lors du passage d'un poids lourd à trois essieux. Le grand avantage de cet équipement de mesure est de pouvoir être utilisé plusieurs fois sans occa-

sionner de frais importants. Une fois les données recueillies, le détecteur *WimStrip* ainsi que les boucles d'induction sont enlevés de la chaussée; si ces dernières ne sont plus réutilisables, le détecteur demeure quant à lui opérationnel tant qu'il ne subit pas de dommages lors des mesures. Durant sa première année d'utilisation, nous avons ainsi pu installer cet équipement sur des sites où le trafic était fort différent: diverses routes à trafic libre, routes en zone frontalière ouvertes aux poids lourds de 40 t et route où le trafic des poids lourds est limité à 16 t. Le coût d'une campagne de mesures est de l'ordre de 20 à 30 000 francs selon les cas, ce montant compre-

nant l'installation de l'équipement de mesure, le remplacement du détecteur *Wimstrip*, le dépouillement des données et la rédaction d'un rapport de mesures.

Il peut encore être intéressant de donner les précisions suivantes concernant l'équipement de mesure décrit ici.

– La capacité de stockage des données est de plusieurs semaines si nécessaire, la carte mémoire du système pouvant en effet mémoriser jusqu'à 50 000 véhicules.

– L'installation de mesure est indépendante du réseau électrique, car son alimentation est assurée par des batteries dont l'autonomie est d'environ 15 jours.

– La précision des mesures peut être attestée par le coefficient de variation (rapport entre écart type et valeur moyenne). Celui-ci est d'environ 15 % pour le poids des essieux, de 10 % pour le poids total et la longueur totale du véhicule, et de 5 % pour la distance entre essieux. Cette précision est tout à fait suffisante pour identifier le type de trafic.

Les données recueillies au moyen de l'équipement mis en place peuvent bien évidemment être traitées de façon statistique, de manière à obtenir les informations souhaitées quant au type de trafic et aux caractéristiques des poids lourds. La figure 3 reproduit les résultats obtenus après dépouillement des données enregistrées sur une

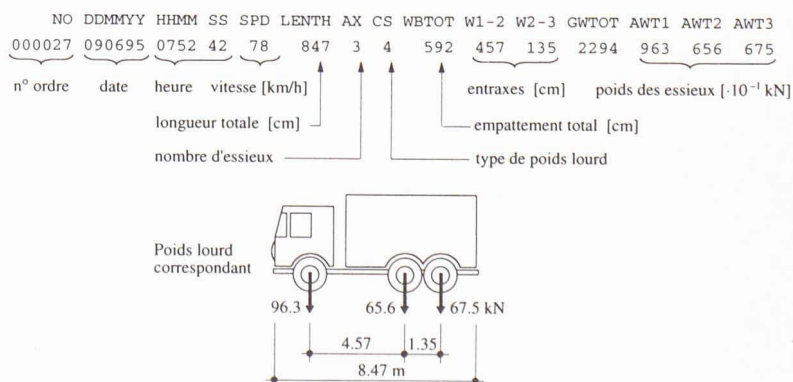


Fig. 2. - Exemple de résultats bruts fournis lors du passage d'un poids lourd à trois essieux

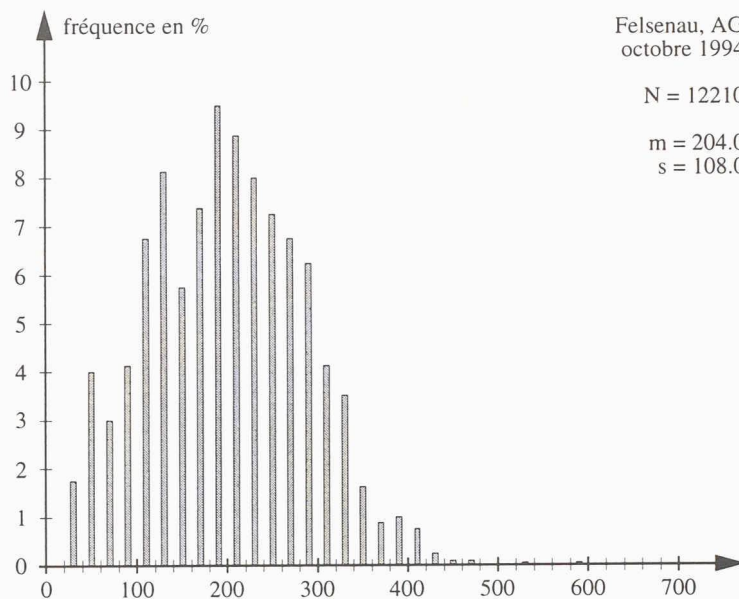


Fig. 3. - Exemple d'histogramme du poids total des poids lourds

route située en zone frontière où la circulation de poids lourds de 40 t est autorisée.

Mesure des sollicitations

L'acquisition d'un équipement permettant de mesurer les sollicitations dans les ponts existants, qu'ils soient routiers ou ferroviaires, se justifie essentiellement dans le double but

- de déterminer les sollicitations effectives dues au trafic dans un pont existant;
- d'établir une relation entre le type de trafic circulant effectivement sur le pont et les sollicitations créées par ce trafic.

C'est ainsi que l'ICOM s'est doté d'un appareil HDR fabriqué par BMC Dr Schetter GmbH (fig. 4), capable d'effectuer des mesures continues sur un ouvrage et dont les principales particularités (décrites plus en détail dans [7]), sont les suivantes :

- les seize canaux de mesure à disposition permettent de connecter autant d'éléments de mesure, par exemple des jauges extensométriques (mesure des allongements spécifiques, donc indirectement des contraintes), des capteurs à induction (mesure de déformations), ou des accéléromètres (mesure des fréquences de vibration);
- l'alimentation électrique est assurée par des batteries dont l'autonomie est d'environ sept jours;
- la fréquence de mesure est réglable de 0 à 50 kHz, l'utilisation d'une fréquence de mesure élevée permettant d'identifier la partie dynamique des sollicitations, même pour les ponts-rails;
- un disque dur de 500 MB permet de stocker un grand nombre de mesures, qui peuvent ainsi s'étendre sur plusieurs semaines;

- une interface SCSI autorise la connexion à un ordinateur, si bien que le transfert des 500 MB d'informations stockées sur le disque dur prend moins d'une demi-heure;
- l'utilisation d'une technique de câblage à six fils permet d'éliminer les imprécisions de mesure dues à la résistance des câbles, qui dépend de leur longueur et de la température; les câbles utilisés peuvent ainsi avoir jusqu'à 100 m de longueur.

La mesure des contraintes se fait par l'intermédiaire de la mesure des allongements spécifiques. Il existe pour cela différents types de jauges extensométriques. Après plusieurs essais - et dans l'attente de jauges dites intelligentes, actuellement encore au stade du développement - nous avons opté pour des jauges oméga (fig. 5) qui présentent les avantages suivants :

- dites en pont complet, ces jauges permettent d'éliminer les effets d'une variation de température des éléments structurels sur lesquels elles sont fixées;
- étant boulonnées sur un support collé sur la structure, leur installation est aisée et elles peuvent éventuellement être réutilisées.

La figure 6 reproduit les mesures effectuées lors du passage d'un poids lourd, à l'aide d'une jauge placée à mi-travée sur l'aile inférieure de la poutre maîtresse d'un pont mixte continu. Ces données



Fig. 4. - Appareil HDR

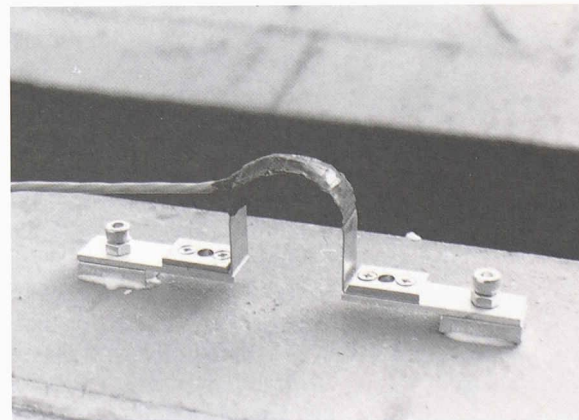


Fig. 5. - Jauge oméga

brutes sont ensuite filtrées pour éliminer le bruit du signal mesuré et identifier les composantes statique et dynamique quasi-permanentes (et essentiellement dues aux effets de température) des sollicitations. Il est alors possible d'analyser les valeurs mesurées pour en tirer les informations désirées (valeur moyenne, valeur extrême, fractile, etc.). La figure 7 est un histogramme des 2269 valeurs statiques les plus élevées, qui a été obtenu à partir des données (fig. 6) recueillies sur une période de 15 jours (ce qui correspond au passage d'environ 75 000 véhicules). Le dépouillement des données correspondant aux sollicitations mesurées de façon adéquate permet ainsi de déterminer les sollicitations effectives dans un pont existant. La comparaison des valeurs mesurées avec celles calculées montre en général que les premières sont nettement inférieures aux secondes, d'où un gain important dans l'évaluation de l'ouvrage. Ces mesures peuvent en outre être corrélées avec le type de trafic empruntant le pont, de même que la valeur effective des sollicitations peut être mise à profit pour l'évaluation de la sécurité à la fatigue de l'ouvrage. Précisons

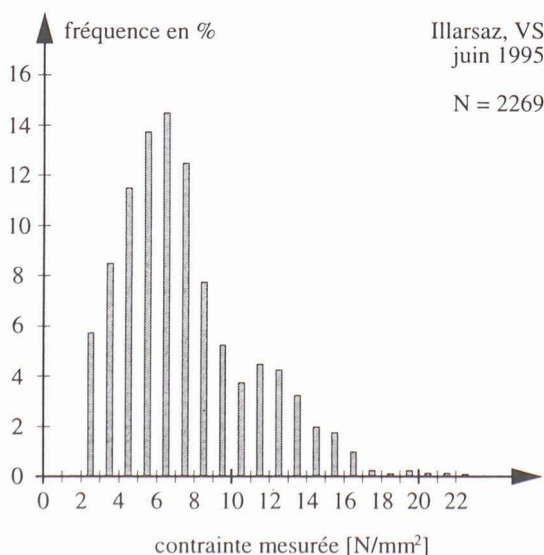


Fig. 7. - Histogramme des valeurs extrêmes mesurées

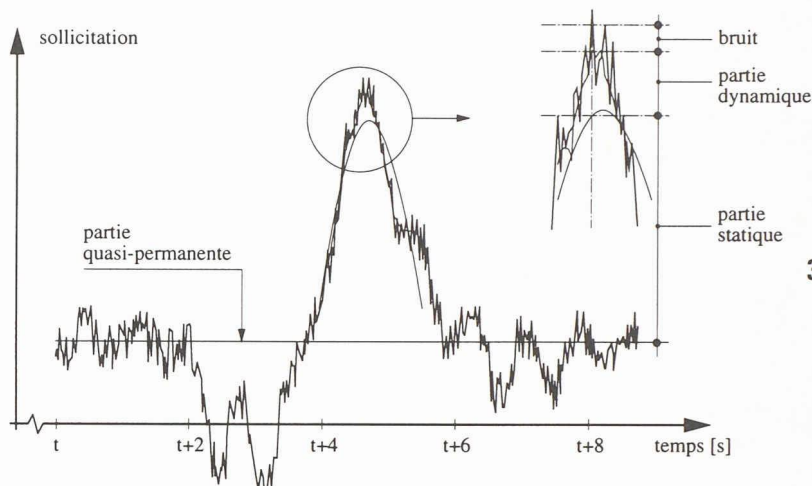


Fig. 6. - Mesures effectuées lors du passage d'un poids lourd

pour terminer que si l'exemple illustré ici concerne un pont-route, la démarche s'applique aussi bien aux ponts-rails.

Conclusions

Pour mieux déterminer les charges et les sollicitations, les moyens de mesure présentés s'avèrent donc très utiles dans le processus d'évaluation des ponts existants. En guise de synthèse, on rappellera les principaux apports de ces nouveaux équipements de mesure.

- La connaissance des caractéristiques (type, dimension et poids) des véhicules empruntant un pont-route existant permet d'identifier le type de trafic auquel l'ouvrage est soumis.
- Ces données autorisent l'actualisation des modèles de charge à utiliser pour la vérification de la sécurité structurale des ponts-routes existants. Un travail de thèse allant dans ce sens est actuellement en voie d'achèvement [8].
- La connaissance de la valeur extrême des sollicitations réelles écarte une incertitude importante dans le processus d'évaluation de la sécurité structurale d'un pont existant, qu'il soit routier ou ferroviaire, ce qui permet parfois d'éviter de devoir intervenir sur un ouvrage pour un renforcement ou un remplacement.
- Les informations obtenues par la mesure des sollicitations permettront de mieux gérer l'entretien des ponts existants, dans la mesure où elles contribuent à établir une priorité dans la maintenance des ouvrages, parfois

nombreux, dont un maître d'ouvrage tel qu'un canton peut avoir la responsabilité.

Précisons pour terminer que l'ICOM est bien évidemment à disposition des maîtres d'ouvrage éventuellement intéressés à l'utilisation de ces moyens de mesure.

Bibliographie

- [1] Directive SIA 462 « Evaluation de la sécurité structurale des ouvrages existants », SIA, Zurich, 1994
- [2] Norme SIA 160: « Actions sur les structures porteuses », SIA, Zurich, 1989
- [3] Norme SIA 161: « Constructions métalliques », SIA, Zurich, 1990
- [4] Norme SIA 162: « Ouvrages en béton », SIA, Zurich, 1993
- [5] KUNZ, P., BEZ, R., HIRT, M.A.: « L'évaluation des structures existantes - Un nouveau défi pour l'ingénieur civil », *Ingénieurs et architectes suisses*, N° 5/1994, pp. 66-73
- [6] BEZ, R., BAILEY, S.F., HAESLER, V.: « Modèles de charge actualisés pour l'évaluation de la sécurité structurale de ponts-routes existants », Union des professionnels suisses de la route (VSS), Zurich, 1995 (mandat de recherche OFR 90/90, rapport final FB 515)
- [7] BMC Dr Schetter GmbH: « MC-HDR Hinweise zur Bedienung », Puchheim (D), 1993
- [8] BAILEY, S.F.: « Principes de vérification et modèles de charge pour l'évaluation de ponts-routes existants », EPFL, Lausanne, 1996 (thèse EPFL en préparation)