

Utilisation des ponts routiers pour le pesage et le contrôle des poids lourds

Franziska Schmidt¹, Victor Martinet², Bernard Jacob¹

¹ IFSTTAR, Cité Descartes - 14-20, bd Newton, 77447 Champs-sur-Marne, Marne-la-Vallée Cedex 2

² CEREMA, DTer Ile-de-France (site du Bourget), rue de l'Égalité Prolongée, 93352 Le Bourget

Résumé

La connaissance et le contrôle des poids et dimensions des poids lourds du trafic est nécessaire pour les autorités publiques et les gestionnaires d'infrastructures, tant pour des raisons de gestion de ces infrastructures que de contrôle du respect des limitations imposées.

Le pesage en marche des véhicules permet de répondre à cette problématique. L'utilisation de celui-ci est d'ailleurs une obligation mise en place par la nouvelle version de la Directive 96/53/EC. Il utilise traditionnellement des capteurs en chaussée qui comptent, mesurent et pèsent les véhicules les franchissant. Cette solution est actuellement utilisée en France par le réseau national des équipements de pesage en marche (EPM). Néanmoins une autre solution existe, le pesage par pont instrumenté, qui consiste à mesurer les déformations d'un pont au passage des poids lourds du trafic et en déduire leurs poids et dimensions.

Le principe introduit à la fin des années 1970 a été amélioré dans le projet européen WAVE (1996-98). Le pesage par ponts instrumentés est à présent mature, et utilisable pour les mêmes applications qu'avec des capteurs en chaussée. Néanmoins, le pesage à vitesse courante n'est actuellement pas certifié par la métrologie légale, et ne peut être utilisé pour le contrôle sanction des surcharges.

Nous présentons ici les résultats obtenus lors d'essais réalisés sur un pont cadre du réseau SANEF sur l'autoroute A1 près de Senlis. Les différences entre pesées statiques de référence et par le pont instrumenté sont traitées à l'aide de la pré-norme COST323 pour établir la classe de précision du système. Elles sont également analysées vis-à-vis de critères physiques pour rechercher des pistes d'amélioration. Des exemples d'application de ce système sont présentés.

Mots-clés : *pesage en marche, ponts, charges, surcharge, poids lourds, essieux, instrumentation.*

1. Introduction

Connaitre les poids totaux ou par essieux et les dimensions des poids lourds du trafic permet aux autorités publiques et aux gestionnaires d'infrastructures de réguler le trafic, vérifier le respect de la réglementation (Dolcemascolo et al., 2015) et d'optimiser le dimensionnement et la maintenance (Schmidt et al., 2013).

Le contrôle des poids et dimensions des poids lourds est demandé par l'article 10 de la version révisée de la directive européenne (Commission européenne, 1996 et 2015) qui impose un « nombre approprié de contrôles du poids des véhicules (..) ». De plus, tous les deux ans, les Etats membres devront transmettre à la Commission un compte-rendu du nombre de contrôles effectués, ainsi que des taux de surcharges détectés.

Au sein du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (MEDDE), des unités dépendant des DREAL contrôlent les poids lourds du trafic, tant au niveau de la réglementation sociale, des temps de parcours, que des poids et dimensions des véhicules. Pour le contrôle, seules les mesures réalisées avec des instruments homologués par la Métrologie Légale sont acceptables. A ce jour il s'agit soit de bascules statiques, soit basse vitesse. Dans les deux cas, les véhicules sont pesés sur des aires dédiées (figure 1). Mais cette procédure est longue et exige un personnel important (forces de l'ordre, peseurs, contrôleurs).



Figure 1: Opération de contrôle par pesage statique (octobre 2015).

Un réseau national de systèmes de pesage en marche (EPM) a été mis en place par la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM) du MEDDE, permettant de peser les poids lourds du trafic en pleine voie sans les arrêter (Dolcemascolo et al., 2015) pour la pré-sélection des surcharges en amont des aires de contrôle. Ces systèmes fonctionnent à l'aide de capteurs piézoélectriques posés en chaussées, décrits à la section 2. Une alternative consiste à utiliser les ponts instrumentés comme des balances, en mesurant des déformations au passage des poids lourds et en calculant le poids qui les ont engendrées (section 3). Les données obtenues sont identiques à celles des capteurs en chaussées et leurs applications sont variées (section 4).

2. Pesage par capteurs en chaussée

Les capteurs en chaussée sont de différents types et technologies, tels que piézo-quartz, piézo-céramiques, à fibres optiques (Jacob and Feypell, 2010) et le système complet comprend en outre une électronique de traitement et stockage et des caméras pour identifier les poids lourds en surcharge (figure 2).



Figure 2: Système de pesage en marche sur le réseau français.

Les données recueillies par ces systèmes peuvent être individuelles par véhicule, ou agrégées, pour un flot de véhicules pendant une certaine période de temps. Les paramètres recueillis sont : heure de passage, voie et sens de circulation, vitesse, longueur totale, poids par essieux et poids total, distances entre essieux, type d'essieu (simple, jumelée), et des photographies du véhicule et de la plaque minéralogique sont en outre fournies pour les poids lourds présumés en infraction.

Les données collectées ont des précisions indiquées ci-dessous, en particulier grâce à l'étalonnage automatique pour les poids. Les précisions ci-dessous sont données pour un niveau de confiance d'au moins 95% :

- poids total : $\pm 10\%$ pour la classe B(10) des spécifications européennes COST323 (Jacob et al., 2002) ;
- poids d'essieu : $\pm 15\%$ (idem) ;
- vitesse instantanée : $\pm 1\%$;
- longueur totale : $\pm 10\%$;
- distances inter-essieux : $\pm 1\%$;
- taux de reconnaissance de numéro de plaque minéralogique : $+80\%$.

La pose de ces capteurs est bien sûr intrusive et nécessite des fermetures de voie, difficiles à obtenir sur les réseaux principaux. Les capteurs ont en outre une durée de vie n'excédant jamais celle de la couche de roulement, voire nettement inférieure compte tenu de l'agressivité du trafic.

La précision des mesures est également affectée par les défauts d'uni et de surface (ornièrage, fissures, etc.). Enfin certaines mesures sont erronées à cause d'un passage décentré de véhicule, notamment si une série de roues passe à côté des capteurs.

3. Principe du pesage par ponts instrumentés

Le principe du pesage par ponts instrumentés, aussi appelé B-WIM (Bridge Weigh-in-Motion), consiste à mesurer les déformations d'un pont au passage du trafic (figure 3). Il a été introduit à la fin des années 1970 par le Pr. Fred Moses aux Etats-Unis. Il a ensuite été amélioré dans le projet européen WAVE (Jacob, 2002) par l'optimisation des capteurs de déformations et des algorithmes de calcul de poids. Récemment l'interopérabilité du système a été améliorée. Les mesures, envoyées sur un serveur, peuvent être analysées à distance et utilisées par les forces de l'ordre pour la présélection des véhicules lors des opérations de contrôles.

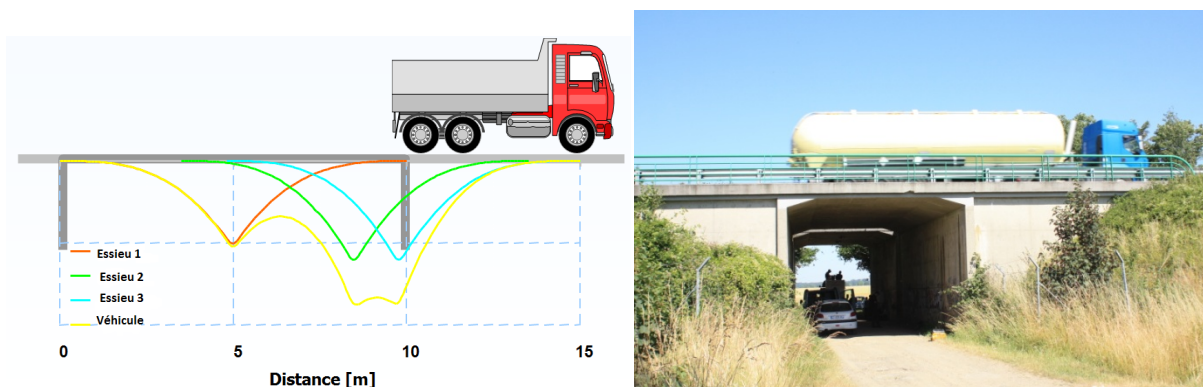


Figure 3: Principe du pesage par pont instrumenté.

Après étalonnage du système avec des poids lourds de poids et géométrie connus (poids total et par essieux, distances entre essieux), le trafic passant sur l'ouvrage peut être enregistré et analysé. Les mêmes grandeurs que celles décrites à la section précédente sont mesurées et enregistrées.

Le système SiWIM (figure 4), fourni par la société Captels, est composé d'extensomètres (pour les structures en béton) ou de jauges de déformation (pour les structures métalliques) fixés sous la travée ou sur des éléments de l'ouvrage (poutre, raidisseurs, etc.). Une unité centrale contient un ordinateur et des algorithmes pour l'acquisition des signaux et le calcul des poids et dimensions des poids lourds. Ces données élaborées sont envoyées à un serveur par une carte GSM, ce qui permet d'avoir accès à ces données à distance. Enfin une caméra reliée à l'unité centrale et pilotée par celle-ci permet la prise de vues des poids lourds en surcharge (vue générale et numéro de plaque).



Figure 4: Capteurs installés sous la dalle d'un pont cadre, caméra photographiant les véhicules détectés, et unité centrale d'acquisition et de calcul des poids et dimensions des véhicules.

Le système de pesage par ponts instrumentés présente divers avantages par rapport aux systèmes conventionnels de pesage par capteurs en chaussée :

- la pose et le démontage du système peuvent se faire sans aucune coupure ni perturbation du trafic, et dans des conditions de sécurité optimales, surtout lorsque le pont enjambe une voie peu ou pas empruntée (cas de beaucoup de passages inférieurs d'autoroutes) ;
- le système est non intrusif et ne nécessite pas de réaliser de saignées en chaussée ; les capteurs sont vissés ou collés ;
- le système est facilement démontable donc transportable. Un gestionnaire peut ainsi surveiller divers points de son réseau avec un seul système déplacé de ponts en ponts selon les besoins.

Par contre il est important de bien choisir l'ouvrage à instrumenter et de savoir paramétrer le système en fonction de celui-ci. Tous les ponts ne sont pas adaptés pour le pesage. Parmi ceux qui le sont citons :

- les ponts dalles ou cadres en béton, de courtes portées (5 à 10 m environ), isostatiques (dalle) ou hyperstatiques (cadre), pour lesquels on mesure la flexion de la dalle à mi-portée et l'effort tranchant près des appuis ; la flexion permet de déterminer les poids tandis que l'effort tranchant contribue à déterminer la vitesse et le nombre d'essieux ; des extensomètres sont placés longitudinalement tous les 0,80 à 1 m à mi-portée, et 1 ou 2 autres par voie près des appuis (figure 4) ;
- les ponts à poutre, en béton armé (voire précontraint), de 10 à 30 m de portée (parfois plus), pour lesquels on mesure (toujours par des extensomètres fixés sous les semelles inférieures des poutres principales) la flexion générale à mi-portée ; des mesures complémentaires de flexion transversale sur des entretoises (poutres transversales) peuvent

être réalisées (figure 5 gauche) ; la précision pour les poids d'essieux est moindre que pour les poids totaux, d'autant plus que la portée est grande, du fait d'une diminution de la sensibilité de la flexion aux charges ponctuelles ;

- les ponts métalliques à dalle orthotrope sont également des ponts adaptés du fait de la sensibilité en flexion de la dalle et de ses raidisseurs vis-à-vis des charges ponctuelles de roues ; des extensomètres ou des jauges sont collés sur la face inférieure des raidisseurs longitudinaux (augets), à mi-portée entre deux entretoises, soit à 2 m ou 2,25 m de celles-ci (figure 5 droite) ; une section est totalement instrumentée (un extensomètre ou jauge par auget) pour la pesée, et pour une section voisine 2 ou 3 augets seuls le sont pour la mesure de vitesse.



Figure 5 : Pesage sur pont à poutre (à gauche) et pont à dalle orthotrope (à droite).

4. Essais de pesage par pont cadre instrumenté

Le système SiWIM a été développé par la société Cestel (Slovénie) à l'issue du projet WAVE à partir du début des années 2000. Une première version avait été acquise par le LCPC en 2008 et testée sur divers ponts (Bouteldja et al., 2008), (Schmidt and Jacob, 2012), dont des ponts cadres : Rosay-en-Brie (RN4, 77), Nogent-sur-Seine (RN19, 77), Saint-Jean-de-Védas (A9, 34), et des ponts métalliques à dalle orthotrope : viaduc d'Autreville (A31, 54) et viaduc de Millau (A75, 12) (Jacob et al., 2010). Sur les ponts cadres la précision a varié entre les classes B+(7) et C(15), selon la qualité de l'uni, les caractéristiques du pont (notamment l'absence de biais qui dégrade la précision) et les conditions de trafic. Sur les dalles orthotropes, la classe C(15) a été obtenue mais il a été vérifié que l'algorithme slovène n'était pas bien adapté à ce type d'ouvrage. Un certain nombre de difficultés de mise en œuvre du SiWIM ont été rencontrées, au niveau de l'étalonnage (ergonomie du système) et de sa fiabilité (interruptions de fonctionnement, apparemment dues à des problèmes de communication par la carte SIM), puis à partir de 2009-10, quelques défaillances de composants se sont produites avec le vieillissement du système, mais la société Cestel a toujours apporté son concours pour le remettre en service.

En juin 2015 l'IFSTTAR a obtenu en prêt de la société Cestel une nouvelle version du SiWIM, largement améliorée en termes d'ergonomie et avec des avancées logicielles, dans le cadre du projet CSA surcharges (Cottineau et al., 2015). En octobre 2015, des essais ont été réalisés sur un pont cadre sur l'autoroute A1 près de Senlis, situé à quelques kilomètres en amont de la barrière de péage pleine voie de Surveilliers (sens nord-sud), avec le concours de la société SANEF, pour vérifier le fonctionnement et la précision du nouveau système, et voir s'il pourrait répondre aux exigences du CSA surcharges.

Quinze poids lourds du trafic ont été pesés par le SiWIM, puis interceptés à la barrière de péage et repesés avec des pesons statiques homologués par la métrologie légale (figure 6).



Figure 6 : Pesons Haenni, homologués par la métrologie légale, utilisés comme référence.

Les précisions par critère (poids total, groupe d'essieux tandem ou tridem, essieux isolés - simples -, et essieux appartenant à un groupe) sont calculées par les valeurs moyennes et écarts-types d'erreurs relatives selon la procédure COST323 en tenant compte des conditions de répétabilité et reproductibilité de l'essai et de la taille de l'échantillon (tableau 1). La classe finale obtenue est C(15), correspondant à la moins bonne classe des 4 critères, celle des essieux simples. Ceux-ci présente une assez forte dispersion avec un écart-type d'erreur de près de 7,5%. Pour les 3 autres critères la classe B(10) est obtenue, et même B+(7) pour les groupe d'essieux, malgré un biais de plus de 2%.

Ces résultats sont encourageants et à confirmer sur des échantillons plus grands de poids lourds. Toutefois pour l'application CSA surcharge, où les tolérances de la classe A(5) pour tous les poids lourds en surcharge doivent être respectées, ou encore la classe OIML 5, donc des erreurs maximales de $\pm 5\%$ pour le poids total et ± 8 à 10% pour le poids par essieu, il restera à mettre au point un algorithme de tri des pesées interne au système.

Tableau 1 : Précision du SiWIM sur le pont cadre de l'A1, près de Senlis.

	Nombre	Erreur moyenne (en %)	Ecart-type de l'erreur (en %)	Classe	Classe globale
Poids totaux	15	1,38	3,43	B(10)	C(15)
Groupes d'essieux	15	2,27	3,98	B+(7)	
Essieux simples	30	0,60	7,46	C(15)	
Essieux de groupe	45	2,73	5,83	B(10)	

5. Conclusions

Le pesage par ponts instrumentés constitue une alternative intéressante aux systèmes traditionnels utilisant des capteurs en chaussée, notamment grâce à sa facilité d'installation et de désinstallation, donc sa mobilité relative. Ils sont ainsi adaptés pour des campagnes de mesure de durée limitée répondant à des besoins spécifiques des gestionnaires de l'infrastructure ou à des fins d'analyse de trafic ou de contrôle (présélection). Pour cette dernière application, la discrétion du système, presque entièrement installé sous les tabliers de ponts, et la difficulté à éviter le passage sur le système lui donne des avantages importants sur les autres systèmes.

L'installation et l'exploitation du système pouvant se faire en dehors du trafic (sous ou dans l'ouvrage pour les ponts à caisson), est aussi un avantage sur les voies à grande circulation, autoroutières notamment. La durabilité du système est un autre atout, du fait que les capteurs ne sont pas exposés directement ni aux charges des roues, ni aux actions climatiques (sauf la température). Les

remplacements éventuels de capteurs ou autres éléments du système sont faciles, sans avoir à perturber le trafic.

La précision est bonne vis-à-vis de la dynamique des poids lourds, en partie lissée le long de la travée instrumentée du pont, sous réserve qu'il n'y ait pas de phénomène de résonance entre les poids lourds et l'ouvrage, et que celui-ci n'ait pas une réponse dynamique propre importante. Les essais sur différents types de ponts ont montré que la classe C(15) (COST323) était aisément atteinte, la classe B(10) sur les ouvrages bien adaptés et en bonnes conditions, sous réserve de disposer d'un algorithme également adapté au type d'ouvrage, et des classes supérieures, B+(7), voire exceptionnellement A(5) ont été atteintes pour certains critères (dont le poids total ou des groupes d'essieux) sur quelques ouvrages.

Ces précisions sont largement suffisantes pour les applications courantes, notamment le dimensionnement et le suivi des infrastructures, mais aussi pour la détection et la présélection des surcharges. Dans le domaine de l'évaluation des ponts, notamment vis-à-vis de la fatigue, le B-WIM présente l'intérêt de coupler facilement les charges et leurs effets, comme les sollicitations et contraintes induites. Le cas du viaduc de Millau est caractéristique, mais d'autres ouvrages métalliques (pont de Normandie, de Saint-Nazaire, de Caronte, de Cheviré, etc.) à dalles orthotropes ou à dalle Robinson (pont d'Aquitaine) sont également concernés.

Pour le contrôle sanction automatisé, les ponts instrumentés présentent les mêmes avantages que pour la présélection des surcharges, mais il reste à élaborer les algorithmes de tri permettant d'identifier les poids lourds pesés dans les tolérances métrologiques requises. Ensuite, il faudra encore élaborer la procédure d'agrément de modèle (homologation) pour la Métrologie légale, ce qui constitue un enjeu particulier puisque chaque pont est différent des autres.

6. Remerciements

Les auteurs remercient la DGITM du MEDDE pour son soutien au projet CSA surcharges, et aux actions de recherche et développement menées depuis plusieurs années sur le pesage en marche. La société Cestel est également remerciée pour la mise à disposition d'un SiWIM de nouvelle génération et pour son appui technique. La société SANEF est remerciée pour son accueil, la mise à disposition de l'ouvrage de Senlis et son soutien au projet CSA surcharges. Les DREAL d'Ile-de-France et de Picardie et les forces de l'ordre (gendarmerie) sont remerciées pour la réalisation des opérations de pesées sur l'aire de Survilliers.

7. Références

Bouteldja, M., Jacob, B., Dolcemascolo, V. (2008), Test of a B-WIM system on integral and steel orthotropic deck bridges in France, in *Proc. of the Fifth International Conference on Weigh-In-Motion (ICWIM5)*, Paris, Eds. B. Jacob et al., ISTE/J. Wiley, 311-322.

Commission européenne (1996), Directive 96/53/CE du Conseil du 25 juillet 1996 fixant, pour certains véhicules routiers circulant dans la Communauté, les dimensions maximales autorisées en trafic national et international et les poids maximaux autorisés en trafic international.

Commission européenne (2015), Directive 2015/719 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2015 modifiant la directive 96/53/CE du Conseil fixant, pour certains véhicules routiers circulant dans la Communauté, les dimensions maximales autorisées en trafic national et international et les poids maximaux autorisés en trafic international.

Cottineau, L-M., Hornych, P., Jacob, B., Schmidt, F., Dronneau, R., Klein, E. (2015), Contrôle sanction automatisé des surcharges par pesage en marche, 25^e congrès mondial de la route, AIPCR, Seoul, 2-6 novembre.

Dolcemascolo, V., Hornych, P., Jacob, B., Schmidt, F. Klein, E. (2015), Surveillance du trafic routier de poids lourds et des surcharges en France et applications, 25^e congrès mondial de la route, AIPCR, Seoul, 2-6 novembre.

Jacob, B. (2002), Weigh-in-motion of Axles and Vehicles for Europe, Final Report of the project WAVE, LCPC, Paris, 103 pp.

Jacob, B., O'Brien, E.J. and Jehaes, S. (2002), Weigh-in-Motion of Road Vehicles - Final Report of the COST323 Action, LCPC, Paris, 538 pp., + French edition (2004).

Jacob, B. and Feypell de la Baumelle, V. (2010), Improving truck safety: Potential of weigh-in-motion technology, *IATSS Research* 34, Elsevier, 9–15.

Jacob, B., Hannachi, M., Ieng, S.S. (2010), Bridge weigh-in-motion on steel orthotropic decks - Millau viaduct and Autreville bridge, *Proc. of Fifth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS2010)*, Philadelphia, Pennsylvania, July 11-15.

Schmidt, F. and Jacob, B. (2012), Experimentation of a bridge WIM system in France and applications for bridge monitoring and overload screening, in *Proc. of the Sixth International Conference on Weigh-In-Motion (ICWIM6)*, Dallas, Eds. B. Jacob et al., ISTE/J. Wiley, 33-42.

Schmidt, F., Glaeser, K-P., Hornych, P., Piau, J-M., Jacob, B. (2013), Impact des poids lourds sur les infrastructures, *Routes/Roads*, n°358, 74-83.

Biographies

Franziska Schmidt (Ifsttar/MAST/SDOA) est diplômée de l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (2005), a obtenu un Master de Génie Civil de l'INSA de Lyon (2005) puis un doctorat de génie civil en 2009 (Ecole doctorale MEGA, sur le sujet des incertitudes dans les systèmes dynamiques). Depuis 2009, elle travaille au LCPC puis à l'Ifsttar, dans le département Matériaux et Structures (MAST), au laboratoire Sécurité et Durabilité des Ouvrages d'Art (SDOA), sur les effets des actions anthropiques (trafic) et naturelles sur les ouvrages d'art.

Victor Martinet (Cerema/DTerIDF/Laboratoire le Bourget) est diplômé de l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (2010). Depuis 2010, il travaille au Cerema, à la Direction Territoriale Ile de France, laboratoire du Bourget (ex Laboratoire Régional de l'Est parisien). Il est chef d'une équipe d'inspecteurs ouvrages d'art et de techniciens en instrumentation, intervenant sur les ponts en Ile-de-France et dans toute la France. Récemment, son équipe a réalisé l'inspection du pont d'Aquitaine.

Bernard Jacob (Ifsttar/Direction Scientifique) est diplômé de l'Ecole Polytechnique (1976) et de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (1979, et ingénieur général des ponts, des eaux et des forêts (IGPEF). Actuellement, à la direction scientifique de l'Ifsttar, il a occupé divers postes au SETRA puis au LCPC, en tant que chef de division et directeur technique, dans le domaine des ouvrages d'art, de l'exploitation et de la sécurité routière et des interactions poids lourds infrastructures. Il préside actuellement la société internationale du pesage en marche (ISWIM) et a géré divers projets nationaux et européens dans ce domaine (COST323, WAVE).