

# ETUDE DES FORMULES DE PONT EXISTANTES ET ANALYSE POUR L'ÉLABORATION D'UNE FORMULE DE PONT EUROPEENNE

M. MOSHIRI & J. MONTUFAR  
Département of Génie Civil, Université du Manitoba, Canada  
[ummoshir@cc.umanitoba.ca](mailto:ummoshir@cc.umanitoba.ca), [montufar@cc.umanitoba.ca](mailto:montufar@cc.umanitoba.ca)

B. JACOB & F. SCHMIDT  
Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des  
réseaux (IFSTTAR), France  
[bernard.jacob@ifsttar.fr](mailto:bernard.jacob@ifsttar.fr), [franziska.schmidt@ifsttar.fr](mailto:franziska.schmidt@ifsttar.fr)

## RESUME

Les poids et dimensions des poids lourds sont régulés différemment selon les pays, avec des règles plus ou moins contraignantes, tout d'abord pour préserver l'état de l'infrastructure. Nous observons actuellement une tendance à utiliser des « normes de performances » (PBS) qui régulent les caractéristiques des véhicules plutôt par leurs performances routières que par des valeurs limites fixes. Une « formule de pont » est une sorte de norme de performances, dans le sens où elle n'autorise que des véhicules dont l'effet sur les ponts est acceptable. Ainsi les formules de pont constituent un outil simple et efficace pour réguler les poids et dimensions des poids lourds tout en assurant la durabilité de l'infrastructure. Ce papier présente les conclusions de notre large recherche bibliographique pour identifier et comparer les différentes formules de pont actuellement existantes et identifier les problèmes de ces formules de pont, dans la perspective de l'élaboration d'une formule de pont européenne adaptée aux poids lourds de l'union européenne pour limiter leurs impacts sur les ponts.

## 1. INTRODUCTION

Les poids et dimensions des poids lourds sont régulés différemment selon les pays, avec plusieurs objectifs dont celui d'assurer l'intégrité et la durabilité des infrastructures. En effet, le poids total d'un véhicule, ses différents poids d'essieux, le nombre d'essieux et les distances inter-essieux sont des paramètres essentiels pour déterminer ses effets sur les ponts. Les limites imposées à ces paramètres géométriques et de poids imposent certaines silhouettes de poids lourds, qui peuvent ne pas être optimales en termes de productivité, de sécurité, d'efficacité ou d'impact environnemental. Un compromis doit être trouvé entre productivité et conception des poids lourds, et utilisation et maintenance des infrastructures, afin de permettre une exploitation optimale des infrastructures tout en les préservant.

Généralement, les poids et dimensions des poids lourds sont régis par des réglementations prescriptives limitant le poids total, le poids par essieu et les distances inter-essieux. Ces limites sont fixées en Europe par la Directive 96/53/EC [1] pour le trafic international, tandis que pour le transit national des valeurs supérieures sont possibles si la réglementation du pays concerné le permet.

On observe actuellement une tendance à recourir à des « normes de performances » (PBS), où les poids et dimensions sont limités par des critères de performance des véhicules, en termes d'interaction avec le trafic et les infrastructures. Mais les valeurs limites ne sont pas fixées, ce qui permet de développer un système de fret plus efficace.

On notera toutefois que même si cette approche est utilisée, elle se superpose souvent à d'autres règles sur les poids et dimensions. En outre, comme dans le cas des approches prescriptives, des poids ou dimensions au-delà des limites peuvent être autorisés par des permis spéciaux. En théorie, une norme de performances ne régule les poids et dimensions des véhicules qu'à partir de mesures de performances, telles que l'impact sur la sécurité ou l'environnement, l'effet sur les ponts, l'effet sur le trafic, la productivité, les effets géométriques, les équipements [2].

Le Canada a développé une méthode pour évaluer les performances dynamiques des véhicules par rapport à des normes objectives. Cette méthode a été utilisée pour définir les limites des poids et dimensions des véhicules pour le transport national, tel qu'acté dans l'accord (MoU : Memorandum of Understanding) de 1988. Le MoU fournit un cahier des charges complet auquel doit répondre tout véhicule, ainsi que des dimensions critiques pour l'infrastructure et le comportement dynamique. Cette approche a été utilisée par les provinces canadiennes pour autoriser des silhouettes ne figurant pas dans le MoU, soit pour des réglementations soit pour des convois exceptionnels [3].

L'Australie est aujourd'hui pionnier dans l'utilisation des PBS et a mis en œuvre ces normes entièrement basées sur les performances pour la conception des silhouettes de véhicules, vis-à-vis de la sécurité et de la stabilité du véhicule. Néanmoins, des limites additionnelles de poids et dimensions doivent aussi être respectées pour prendre en compte d'autres facteurs, comme par exemple l'impact sur les infrastructures.

Une formule de pont entre donc dans la catégorie des critères ou normes de performances, puisqu'elle régule des paramètres liés aux impacts du véhicule sur les ponts. Ces formules sont donc élaborées pour protéger les ponts en limitant le poids total autorisé sur toute séquence d'essieux consécutifs, en fonction du nombre d'essieux considérés et de leurs espacements. Les formules de ponts constituent donc un outil efficace pour faciliter la régulation des poids des véhicules tout en préservant l'infrastructure, en n'autorisant des configurations de poids lourds induisant des effets acceptables sur les ouvrages d'art.

Le niveau de charge autorisé par chaque juridiction peut varier fortement selon le type d'infrastructure, les méthodes de conception des ponts, les charges de dimensionnement, les configurations de poids lourds existantes pour les charges à transporter, et les choix politiques. Ce niveau dépend également beaucoup des contrôles et du civisme des opérateurs.

## **2. FORMULE DE PONTS EXISTANTES**

Différents pays, dont les États-Unis, le Canada, le Mexique, l'Australie, la Nouvelle-Zélande et l'Afrique du Sud, ont développé des formules de pont pour limiter les poids des véhicules lourds. Ces formules ont été établies différemment dans chaque pays selon le système de transport et les caractéristiques de l'infrastructure. Leur forme générale et les niveaux de charge acceptés varient également d'un pays à l'autre.

### **2.1. Caractéristiques générales**

Les formules de ponts sont développées et appliquées différemment selon les pays. Leur forme, leurs paramètres, les contraintes qu'elles imposent (par exemple sur la longueur totale du véhicule ou son poids total), et les critères d'application (par exemple le type d'itinéraire ou les configurations d'essieux) dépendent des caractéristiques des flottes de poids lourds et des infrastructures des pays.

La formule de pont la plus connue est la formule fédérale américaine B (BFB) qui régule les poids et dimensions des poids lourds aux Etats-Unis depuis 1974 [4]. Elle fixe le poids total autorisé sur une séquence quelconque d'essieux en fonction du nombre d'essieux impliqués et de la distance entre essieux extrêmes, et doit être appliquée à tous les ensembles d'essieux successifs. Outre la BFB, d'autres réglementations en vigueur limitent le poids total à 80 000 lbs (37 088 kg) et les poids d'essieux selon leur type (essieu simple, tandem ou tridem). La BFB a été développée indépendamment de ces limites réglementaires fixes, donc on parle souvent de formule BFB bornée, où le poids total est le minimum imposé par la BFB et la valeur de 80 000 lbs (37 088 kg). Suite à diverses critiques arguant que la BFB ne limite pas de façon équitable les poids totaux et d'essieux des différents types de poids lourds, des formules alternatives ont été développées pour combler ces lacunes. Toutefois aucune de ces formules n'a été adoptée ni mise en œuvre, et la BFB est toujours en vigueur.

Tableau 1 - Caractéristiques des formules de pont existantes

Pays	Caractéristiques
Etats-Unis Bridge-Formula B	<ul style="list-style-type: none"> <li>dépend des distances entre essieux extrêmes et du nombre d'essieux</li> <li>doit être appliquée à toute séquence d'essieux</li> <li>poids total limité à 37,088 t.</li> </ul>
Mexique	<ul style="list-style-type: none"> <li>forme similaire à la BFB</li> <li>le poids autorisé dépend du type d'itinéraire (classe A, B-principale, C-secondaire, D-embranchement)</li> <li>s'applique aux deux essieux extrêmes pour définir le poids total autorisé.</li> </ul>
Canada	<ul style="list-style-type: none"> <li>développée et utilisée par l'Ontario</li> <li>utilise la « longueur de base équivalente »</li> <li>s'applique à toutes les combinaisons d'essieux possibles</li> <li>limite le poids total au maximum à 63,5 t</li> </ul>
Afrique du Sud	<p>Deux formules de pont différentes s'appliquent à toute séquence d'essieux :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>charges légales (poids total jusqu'à 56 t et longueur jusqu'à 22 m) fonction de la seule distance entre essieux</li> <li>charges exceptionnelles dépendent de la distance entre essieux et de la « largeur effective » du véhicule</li> </ul>
Australie	<p>Actuellement :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>formules différentes selon les provinces</li> <li>n'utilisent que la distance entre essieux</li> <li>dans la plupart des provinces ne s'applique qu'aux essieux extrêmes pour définir le poids total autorisé</li> </ul> <p>Proposée :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>dépend de la route et de la classe du véhicule</li> <li>s'applique à toutes les combinaisons d'essieux</li> <li>limite le poids total à 42,5 t pour les véhicules avec accès général</li> </ul>
Nouvelle-Zélande	<ul style="list-style-type: none"> <li>formule sous forme de tableau</li> <li>limite à 44 t le PTAC</li> </ul>

Caractériser et comparer les différentes formules de pont permet d'identifier les principes communs utilisés pour leurs développements et les éléments à prendre en compte pour développer de nouvelles formules. Le tableau 1 compare les principales caractéristiques des formules existantes.

Les structures des formules de pont américaine et mexicaine sont similaires, et sont les seules qui utilisent les distances entre essieux et le nombre d'essieux comme paramètres pour calculer directement les poids autorisés. Les formules d'Afrique du Sud, d'Australie et de Nouvelle Zélande ne considèrent que la distance entre essieux.

La formule canadienne de l'Ontario (appelée OBF) diffère des autres formules car elle utilise le concept de longueur de base équivalente (EBL), calculée à partir du nombre d'essieux et de la distance entre essieux du véhicule. L'EBL est la longueur artificielle sur laquelle en appliquant uniformément la charge totale d'une série d'essieux consécutifs on obtient la même enveloppe de moment sur la longueur du pont que celle induite par les charges concentrées des essieux [5].

L'OBF a été développée suite à une enquête, réalisée initialement en 1967 puis mise à jour en 1971, qui a mis en avant les configurations de poids lourds et les charges d'essieux en usage. Les longueurs de base équivalentes ont été calculées et tracées pour ces diverses configurations. On en a déduit les charges maximales observées (MOL). L'OBL est ajustée légèrement en dessous de la limite supérieure de ces données issues de l'enquête [5].

Les formules de pont mexicaine et australienne ne sont appliquées qu'aux essieux extrêmes pour déterminer les poids totaux en charge autorisés. Des limites supplémentaires limitent la charge des essieux intérieurs. D'autres pays (Etats-Unis, Canada, Afrique du Sud et Nouvelle-Zélande) ont également des limites additionnelles sur les charges d'essieux, bien que leur formule de pont doive être satisfaite par toutes les suites d'essieux consécutifs.

L'Afrique du Sud et le Mexique ont des formules de pont différentes selon l'itinéraire et la classe du véhicule considérés. L'Afrique du Sud a deux formules de pont distinctes pour les charges normales (jusqu'à 56 t et 22 m) et des charges exceptionnelles soumises à autorisations (jusqu'à 125 t et 28 m). Le Mexique utilise des coefficients pour augmenter le poids autorisé avec la classe de la route (classes A, B-principale, C-secondaire, D-embranchement).

L'Australie propose également de suivre cette démarche en créant une série de formules de pont pour réguler les poids lourds selon l'itinéraire et la classe du véhicule. Trois formules de pont ont été développées :

- 1) pour l'accès général des véhicules jusqu'à 42,5 t et des trains routiers de catégorie 1 (jusqu'à 132 t),
- 2) pour l'accès général des véhicules entre 42,5 t et 50 t,
- 3) pour l'accès restreint des véhicules B-doubles et trains routiers de catégorie 2.

Les itinéraires de catégorie 1 exigent une charge de dimensionnement minimum pour les ponts, et des portées limitées à 20 m pour les travées isostatiques et 10 m pour les travées continues. Les itinéraires de catégorie 2 exigent la même charge de dimensionnement normée, mais sans limite de portées. Les itinéraires pour les B-doubles doivent permettre le passage de ces véhicules à 62,5 t.

## 2.2. Comparaison des différentes formules de pont

Le niveau de limitation des charges par les différentes formules de pont varie significativement en fonction du type d'infrastructure, des méthodes de dimensionnement des ponts, des charges de dimensionnement, des silhouettes de poids lourds en service,

de la demande de transport, et de la politique des différentes juridictions. En principe pour une capacité portante des ponts plus grande, les charges transportées peuvent être plus lourdes.

La plupart des ponts du réseau inter-état aux Etats-Unis ont été conçus avec le modèle de charge appelé HS20, un tracteur avec semi-remorque de 72 000 lbs (33 379 kg). Pour tenir compte de charges plus lourdes, certains états utilisent le modèle HS25, 25% plus lourd que le HS20. Au Canada en Ontario, les ponts sont dimensionnés par le modèle de charge du code des ponts de l'Ontario (Ontario Highway Bridge Design, OHBD), soit un poids lourd à 5 essieux de 77 143 kg, et le modèle de charge CL-625 (poids lourd à 5 essieux de 65 115 kg) dans les autres provinces.

Ces trois modèles de charges sont appliqués différemment en termes de cumul de charges par voie, de coefficients de majoration dynamique et de coefficients de charge de dimensionnement (LFD). Finalement, les deux modèles de charge canadiens donnent des moments de flexion similaires sur des ponts à travée simple. Les ponts canadiens, dimensionnés avec chacun de ces deux modèles, sont conçus pour des charges beaucoup plus importantes que les ponts américains, à l'exception des ponts à courtes travées jusqu'à 15 m. Les moments engendrés par les deux modèles de charge canadiens OHBD et CL-625 sont environ le double de ceux induits par le modèle HS20 pour des ponts à simple travée de 45 m [3].

Les différences entre les méthodes et modèles de dimensionnement des ponts varient bien sûr selon les pays. Le degré de sévérité des formules de pont peut être mesuré en termes de poids autorisé et d'effets induits, tout en gardant à l'esprit les différences de capacités portantes des infrastructures et les caractéristiques des flottes de poids lourds.

En appliquant une formule de pont aux essieux extrêmes, donc entre le premier et le dernier essieu, on détermine le poids total en charge autorisé. La figure 1 donne les poids totaux autorisés par les différentes formules pour une série de 17 silhouettes de poids lourds usuels et de plus grande capacité, en circulation aux Etats-Unis, Canada et Europe. Ces silhouettes ont été identifiées dans l'étude conduite sur les poids lourds par le Centre commun de recherche sur les transport de l'OCDE (JTRC) [6].

Cette figure 1 montre les degrés de sévérité des diverses formules de pont. La formule australienne utilisée pour les véhicules avec accès général et les trains routiers sur les routes de catégorie 1 est la plus permissive, suivie par la formule sud-africaine. Pour les configurations de poids lourds analysées, les formules américaine BFB et mexicaine limitent le plus les poids pour des longueurs inférieures à 18,2 m, alors qu'au-dessus de cette limite, la formule de pont de néo-zélandaise est la plus contraignante avec sa limite à 44 t.

Il ne faut pas oublier que les formules de pont américaine, canadienne, d'Afrique du Sud et néo-zélandaise doivent être également appliquées à toutes les séquences d'essieux internes. Ainsi pour certaines configurations de poids lourds, le poids total maximum autorisé par les essieux extrêmes ne peut être atteint suite aux restrictions sur les essieux internes. La figure 2 donne les poids totaux effectivement autorisés en appliquant la formule à toutes les séquences d'essieux. Dans la plupart des cas, le poids total autorisé est plus faible que celui obtenu lorsqu'on n'utilise que les essieux extérieurs. Inversement, si on autorisait le poids maximum donné en appliquant la formule aux seuls essieux extrêmes, cela conduirait à des poids d'essieux induisant des effets supérieurs à ceux utilisés pour construire les formules de pont.

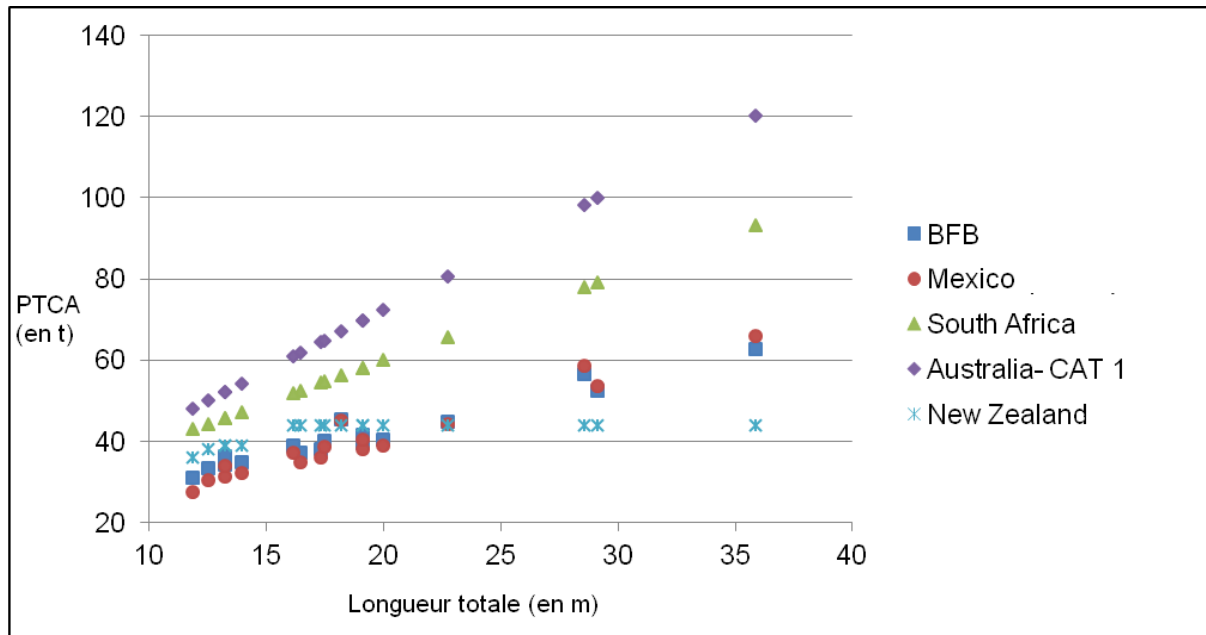


Figure 1 - Poids total en charge autorisé par différentes formules de pont en fonction de la longueur totale du véhicule, en n'appliquant les formules qu'aux essieux extérieurs, pour différentes silhouettes de PL existantes.

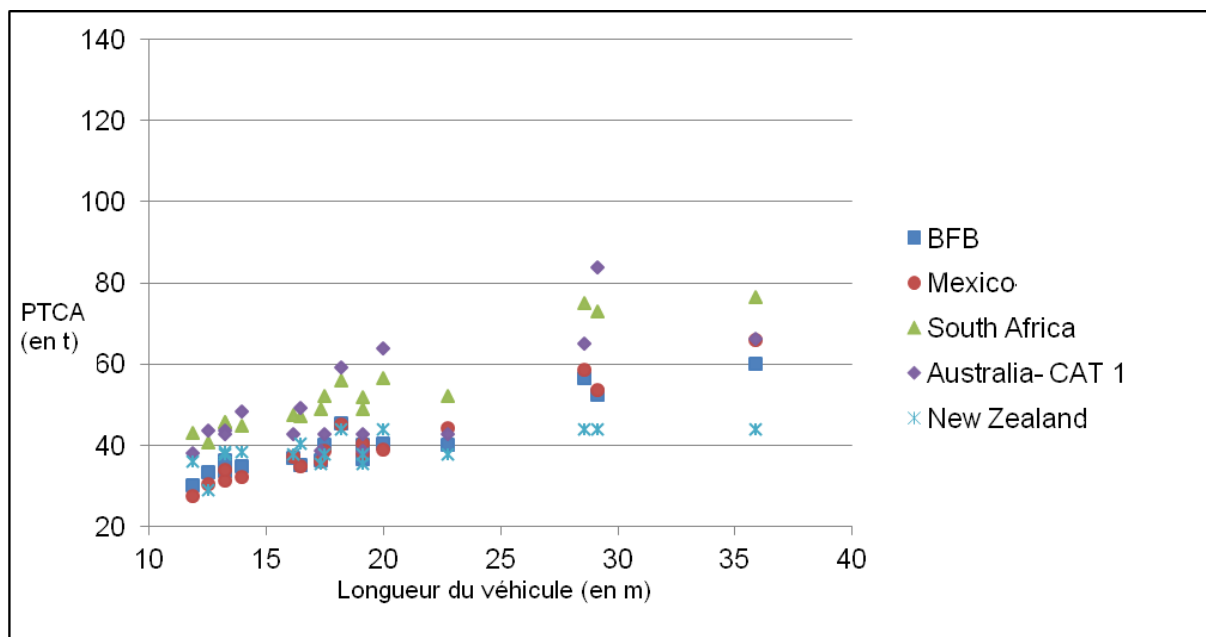


Figure 2 - Poids total en charge autorisé par différentes formules de pont en fonction de la longueur totale du véhicule, en appliquant les formules à toutes les combinaisons d'essieux possibles.

Pour comparer les différentes formules de pont, nous calculons les sollicitations induites sur quelques ponts par un ensemble de poids lourds qui satisfont ces formules. La figure 3 donne les moments de flexion à mi-portée d'une travée isostatique de 50 m. Ces moments varient entre 5400 et 13 200 t.m et suivent à peu près les poids maximaux autorisés par les diverses formules (figure 2), caractérisant la permissivité de chaque formule. Les poids les plus élevés correspondent aux moments les plus importants. L'Afrique du Sud et l'Australie permettent les poids les plus élevés et imposent donc les moments maximaux.

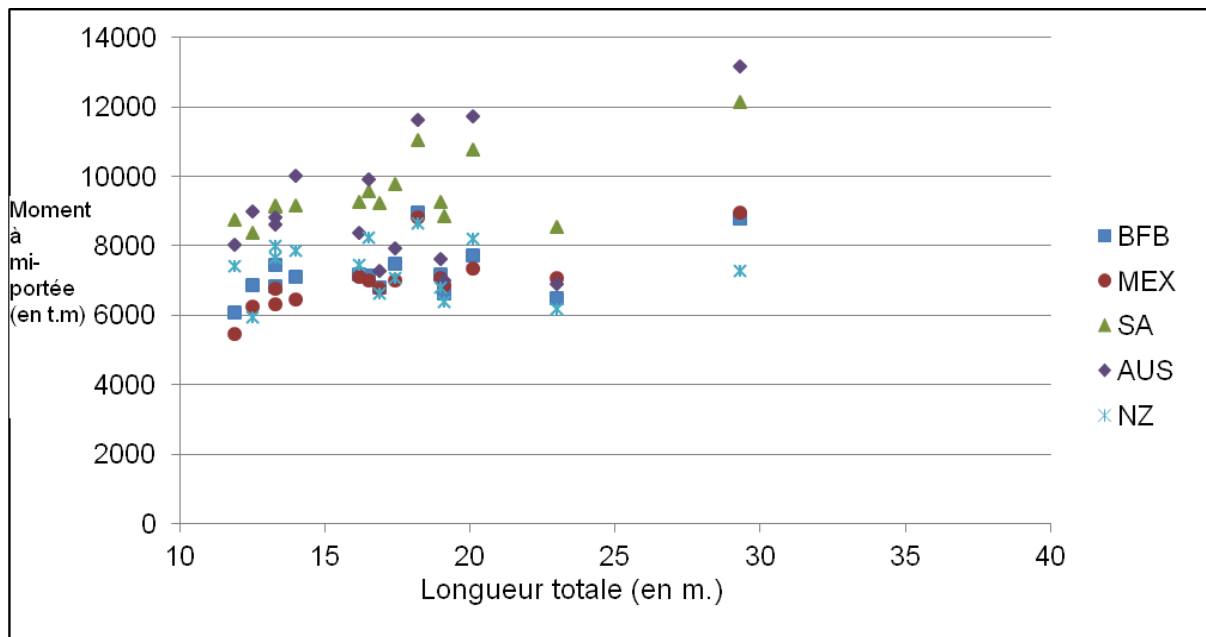


Figure 3 – Moment exercé à mi-portée d'un pont à travée unique, sur appui simple, par les silhouettes de poids lourds autorisés par les différentes formules de pont.

Les différences importantes entre les charges et sollicitations acceptés s'expliquent par des méthodes et des charges de dimensionnement différentes. Des charges de dimensionnement plus lourdes et des marges de sécurité accrues permettent aux ponts de supporter des poids de véhicules et des sollicitations plus élevés. Des analyses d'autres sollicitations (effort tranchant et moments de flexion sur appui pour des ponts à travées multiples continues) ont également été conduites.

### 3. PROBLEMATIQUES EVENTUELLES POUR LES FORMULE DE PONT

Les formules de pont sont donc des outils efficaces pour réguler les poids et dimensions des véhicules lourds et limiter leurs effets sur les ouvrages d'art. Mais le niveau d'efficacité de ces formules dépend des critères de leur conception et de leur mise en œuvre selon la législation en vigueur et par les transporteurs. Des problèmes liés aux conséquences des formules de pont ont été mis en évidence par l'expérience de juridictions qui les utilisent comme moyen de régulation des poids et dimensions des camions.

#### 3.1. Problèmes avec la formule de pont B américaine

Cette formule de pont est celle qui a connu le plus de critiques depuis sa mise en service par la loi fédérale sur les autoroutes (Federal-Aid Highway Legislation) en 1974. Elle est basée sur les silhouettes et charges des poids lourds en circulation avant cette date.

Les ponts américains ont été dimensionnés pour les modèles de charge HS15 (camion rigide de 30 000 lbs ou 13 908 kg) et HS20 (tracteur avec semi-remorque de 72 000 lbs ou 33 379 kg). La plupart des ponts sur des itinéraires inter-états ont été dimensionnés pour le HS20. Pour tenir compte de charges plus élevées, certains états utilise le modèle HS25, 25% plus lourd que le HS20. La formule de pont américaine a été conçue de sorte que les contraintes engendrées par les poids lourds la respectant ne dépassent pas de plus de 5% les contraintes de dimensionnement du HS20, et de plus de 30% celles du HS15. Le critère de dépassement de 5% du HS20 résulte du fait que la plupart des poids lourds

circulent sur les autoroutes inter-états et le réseau principal. Toutefois avec un critère plus restrictif le dommage en fatigue lié à la répétition des charges lourdes serait diminué [7].

La formule de pont B a été critiquée pour être trop permissive pour les longs véhicules (poids lourds courts à 6 essieux, et tous les poids lourds à 7 essieux ou plus) sans la limitation à 80 000 lbs (37 088 kg). Sans cette limite, un long poids lourd à 9 essieux pourrait induire des contraintes jusqu'à 12% supérieures à celles du HS20, selon la portée de la travée [8].

D'un autre côté, cette limite à 80 000 lbs (37 088 kg) a été choisie arbitrairement et se révèle trop restrictive pour certaines silhouettes de grande longueur. En effet, les ponts du réseau inter-état peuvent supporter des charges supérieures à celles permises par la formule limitée à 80 000 lbs (37 088 kg), sans dépasser la limite des 5% au-dessus des contraintes du HS20 [9]. Pourtant, de nombreux ponts sur le réseau secondaire seraient déficients si cette limite était augmentée. Ceci démontre l'inadéquation de cette limite arbitraire. La référence [10] propose des critères plus rationnels pour limiter les contraintes, utilisant la théorie de la fiabilité des structures qui relie les statistiques des sollicitations statiques et dynamiques sur les ponts à leur résistance. Ceci prend en compte les risques de surcharges et de présences multiples.

Il a également été reproché à la formule B de limiter trop sévèrement les poids des véhicules courts, notamment en restreignant les poids en dessous des valeurs réglementaires : 20 000 lbs (9,272 kg) (essieux simples), 34 000 lbs (15,762 kg) (tandems) et 80 000 lbs (37 088 kg) (poids total). Pourtant seul un très faible pourcentage de ponts du réseau d'autoroutes inter-états (2%) est dimensionné pour des charges inférieures ou égales à celle du modèle HS15, donc supprimer les 30% de sur-contrainte pour ces ponts pourrait permettre des poids nettement plus élevés pour les véhicules courts [7].

Les poids lourds de chantier spécialisés sont les premiers exemples de véhicules pénalisés par la formule B. Ces véhicules courts portent des charges lourdes, comme les bennes à sable ou gravier ou les toupies de béton prêt à l'emploi. Pour des raisons de manœuvrabilité et de sécurité en zones urbaines, ces véhicules ne peuvent être allongés pour porter des charges supérieures. Une formule plus souple ou des permis spéciaux seraient nécessaire pour permettre à ces véhicules de circuler [7].

Le « House Document 354 » [12], un rapport du Ministère du Commerce au Congrès américain qui a formellement recommandé la mise en œuvre de la formule B, contient une note de bas de page interdisant certains types de véhicules conforme à cette formule mais qui induiraient des contraintes trop importantes (plus de 30% de sur-contraintes) dans les ponts dimensionnés pour le HS15. Ces véhicules sont des combinaisons tracteur avec semi-remorque à 5 essieux, 3S2 de longueur inférieure à 38 ft (11,582 m), 2-S1-2 de longueur inférieure à 45 ft (13,716 m), et 3S3 de longueur inférieure à 45 ft (13,716 m), ainsi que les véhicules à 7, 8 et 9 essieux, quelle que soit leur longueur. Cette interdiction, bien qu'inscrite dans la loi, n'est souvent ni adoptée ni contrôlée par les états.

Les formules de pont américaine et mexicaine utilisent le nombre d'essieux pour déterminer le poids maximum autorisé. Pourtant, la relation entre ce poids autorisé et le nombre d'essieux est parfois inversée par rapport à la relation entre les contraintes et le nombre d'essieux [9]. Par exemple augmenter le nombre d'essieux dans un groupe sans augmenter la longueur du véhicule n'a que très peu d'effet sur les contraintes exercées dans le pont, et peut même parfois augmenter celles-ci à cause de la concentration des forces ; toutefois un nombre d'essieux élevé est favorable aux chaussées [8].



Une formule de pont peut inciter à des configurations de poids lourds inattendues pour tirer partie des poids autorisés et accroître la charge utile. Dans le cas de la formule B, cela conduit à augmenter la longueur des véhicules et/ou le nombre d'essieux. Ceci a généré des véhicules avec de grandes barres de remorquage, la charge utile étant accrue avec la longueur du véhicule, tout en maintenant la même capacité volumique pour ne pas augmenter la tare [11].

En outre, pour satisfaire aux exigences de la formule B, le nombre d'essieux des poids lourds de chantier a augmenté, ce qui crée des problèmes de manœuvrabilité en virage, d'où l'apparition de tracteurs à 4 essieux, dont certains relevables [11].

Des essieux de tandems divisés sont également apparus et devenus courants sur les combinaisons tracteur et semi-remorque à 5 essieux portant de lourdes charges. Un essieu tandem divisé est un groupe de deux essieux dont la distance est grande, jusqu'à 10ft, ce qui permet des charges jusqu'à 6 000 lbs (2782 kg) plus élevées que pour un tandem standard de 4 ft (1,22 m).

### 3.2. Problèmes à prendre en compte lors de la conception et mise en œuvre de formules de pont

En se basant sur les critiques de la formule B, l'expérience d'autres pays ayant des formules de pont et leurs caractéristiques, les questions à prendre en compte pour concevoir et mettre en œuvre de nouvelles formules de pont comprennent :

- Des limites supérieures arbitraires de poids total et d'essieux ne semblent pas être adaptées aux configurations des flottes de poids lourds. Le critère de sur-contrainte utilisé dans la formule B, également arbitraire, ne tient pas compte des phénomènes de fatigue, des surcharges et des présences multiples. Ghosn a proposé des critères de sur-contrainte plus rationnels à partir d'une approche fiabiliste reliant les statistiques des actions statiques et dynamiques à la résistance des ponts [10, 13].
- A cause de la grande diversité des configurations de poids lourds aux Etats-Unis, il est difficile d'établir une formule de pont adaptée à toutes ces configurations, comme on le voit avec les poids lourds de chantier ou les longs ensembles routiers. L'Afrique du sud a développé deux formules de pont, l'une pour les véhicules normaux en accès général, et l'autre pour les véhicules exceptionnels en poids ou en dimensions. Les formules américaines alternatives, proposées au fil du temps par Ghosn [13] et James [14], incluent des formules qui régulent les poids par catégories de longueurs.
- Outre la grande diversité de configurations de poids lourds, la capacité portante des ponts existants est elle-même variable. Dans le cas de la formule B, considérer à la fois des ponts dimensionnés par le HS15 et le HS20 dans la même formule s'est avéré trop restrictif pour les ponts HS20 [14]. La formule de pont du TTI HS20 [9, 14] a proposée de ne plus tenir compte du critère de sur-contrainte dans les ponts HS15 et de ne considérer que les ponts HS20 [14]. Ceci permet d'accepter des charges plus lourdes sur les ponts HS20, mais peut conduire à des contraintes trop importantes pour les ponts HS15. Les formules mexicaine et australienne utilisent la même approche avec des valeurs différentes selon les classes d'itinéraires et les capacités portantes adaptées.

- Une formule de pont qui ne s'applique qu'aux essieux extrêmes peut permettre des charges d'essieux faisant dépasser les critères de sur-contraintes utilisés dans sa conception. Actuellement la plupart des formules australiennes ne sont appliquées qu'aux essieux extrêmes, mais la nouvelle version proposée devrait s'appliquer à toutes les séquences d'essieux et résoudre ce problème.
- Les formules de pont devraient être appliquées de façon homogène dans tous les états ou provinces d'un même pays. Certains états autorisent des charges plus lourdes sur leurs routes, ce qui pousse les transporteurs à les utiliser en priorité par rapport aux autoroutes inter-états. Or les routes des états peuvent avoir des ponts de capacités portantes inférieures, plus de congestion, et ne pas être géométriquement adaptés aux longs ensembles routiers.
- Une formule de pont peut induire des configurations de poids lourds inattendues visant à augmenter la charge utile, mais avec des impacts inacceptables sur les infrastructures ou de mauvaises performances dynamique. Il est donc nécessaire de surveiller l'évolution de la flotte de poids lourds lors de la mise en œuvre de nouvelles règles, pour éviter l'apparition de véhicules indésirables. La formule B a par exemple conduit à l'introduction de longues barres de remorquage, d'essieux relevables et de tandems divisés [11]. La formule canadienne de l'Ontario a conduit à utiliser des essieux relevables très écartés les uns des autres, avec des performances dynamiques faibles, et induisant des sollicitations, et donc des dommages excessifs sur les ponts et les chaussées, lorsqu'ils sont relevés [3].
- Les formules de pont doivent être appliquées en accord avec les critères de dimensionnement. Pour la formule B, les exceptions concernant des configuration de poids lourds précisées ne sont pas prises en compte par certains états.
- Une formule de pont doit être simple à comprendre et à utiliser par les transporteurs et les contrôleurs. La formule canadienne de l'Ontario a été jugée trop difficile, longue et complexe à appliquer, et donc des tableaux donnant les charges autorisées en fonction des distances entre essieux habituelles ont été fournis [3].

Avec les modifications permanentes de l'infrastructure et des caractéristiques des poids lourds, les formules de pont doivent être revérifiées et actualisées pour s'assurer de la pertinence des limites de poids. Une analyse adéquate de l'impact des configurations de poids lourds permises par la formule et de la capacité portante des ponts, permet de trouver un compromis entre productivité des poids lourds et préservation de l'infrastructure. Des données de pesage en marche peuvent être utilisées pour analyser les caractéristiques d'une flotte de véhicules et étalonner des formules de pont existantes ou concevoir une nouvelle formule, comme cela a été fait à Hong-Kong [15].

#### **4. NECESSITE D'UNE FORMULE DE PONT EUROPEENNE**

Actuellement les poids et dimensions des véhicules commerciaux sont régulés dans l'Union européenne par la Directive 96/53/EC datant de 1996 [16]. Elle définit les poids et dimensions maximums pour les véhicules de transport international entre états membres de l'UE. Or, même si les poids et dimensions des véhicules du trafic international sont uniformément régulés, les membres de l'UE peuvent fixer des limites supérieures pour leur trafic national. Les limites européennes sont actuellement prescriptives et non performanciennes.

Des ensembles modulaires européens (EMS) ont été introduits dans certains pays comme la Finlande et la Suède, et expérimentés sur certains itinéraires aux Pays-Bas. Les EMS sont des véhicules à productivité accrue, jusqu'à 60 t et 25,25 m. Les différences entre les limites de charges nationales et la demande croissante pour des véhicules plus longs et plus lourds renforce la nécessité de préserver les ponts [1].

Une formule de pont serait une solution simple pour fixer des limites fondées et faire des contrôles efficaces des poids des véhicules de marchandises, dans le cadre de normes de performance partagées entre pays avec des flux importants de camions, et pour garantir l'intégrité structurelle des ponts en limitant les niveaux de contraintes.

Une formule de pont européenne (ou une série de formules européennes) devra tenir compte des problèmes listés précédemment. Une telle formule doit avoir une forme simple pour rester compréhensible et facile à appliquer.

Dans un premier temps, une formule de pont pourrait être élaborée en estimant et comparant les effets extrêmes de plusieurs configurations de poids lourds sur un ensemble de ponts sélectionnés. Toutes les sollicitations (moments de flexion, effort tranchant, torsion, réactions d'appuis) doivent être analysées pour une variété de ponts de différents types (travée unique ou multiple) et longueurs (travées de 5 à 200 mètres). La formule de pont devra accepter les véhicules en service en Europe, notamment ceux respectant la Directive 96/53/EC, et les EMS autorisés en Europe du nord. La figure 4 présente les moments à mi-portée d'une travée isostatique de 50 m, pour tous les poids lourds européens existants et conformes à la Directive. Des distances inter-essieux maximales, minimales et moyennes respectant la Directive ont été considérées et le cas le plus défavorable retenu. Les moments varient de 3 700 à 8 900 t.m.

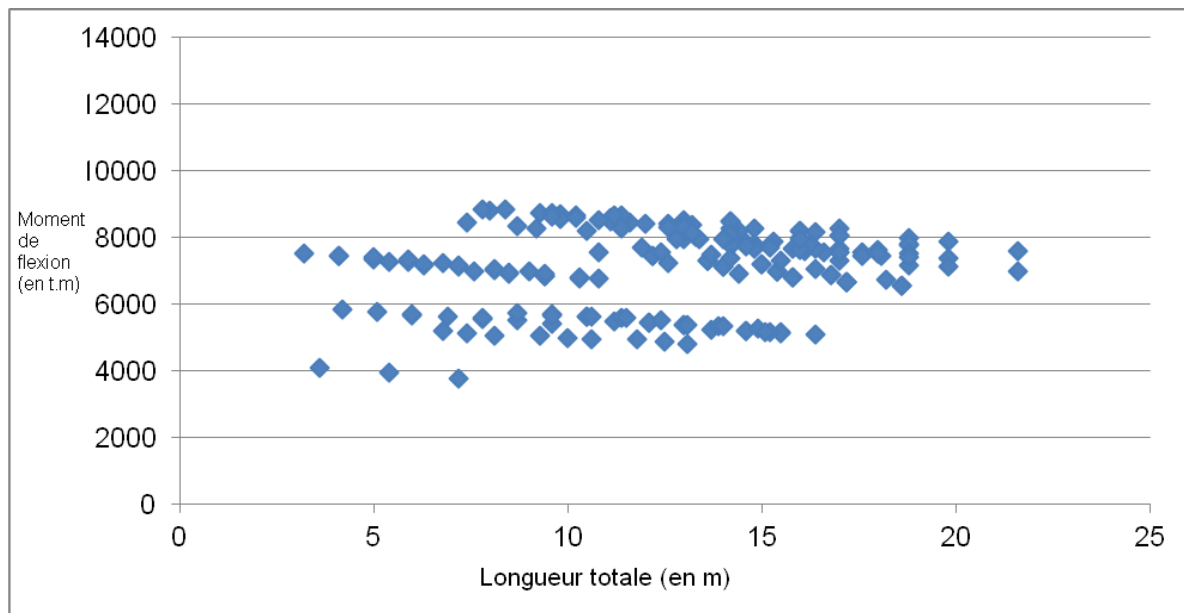


Figure 4 – Moment à mi-portée sur un pont isostatique, de travée unique exercé par tous les poids lourds existants respectant la Directive 96/53/EC.

## 5. CONCLUSIONS

Les formules de pont sont un outil efficace pour réguler les poids et dimensions des véhicules tout en s'assurant de la pérennité de l'infrastructure. Leur degré d'efficacité

dépend de la conception et de l'étalonnage de cette formule, et des méthodes de sa mise en œuvre. Un certain nombre de problèmes apparaissent avec les formules de pont existantes et ont été mis en évidence dans ce papier. Les résultats de cette analyse vont aider la prise de décision pour le maintien de la bonne santé structurale des infrastructures en Europe ou dans les pays en développement, et apportent un nouvel éclairage aux pays qui utilisent couramment une formule de pont.

En outre les formules de pont constituent une approche par les performances, permettant des évolutions futures des poids et dimensions des camions sur le long terme, tout en préservant le parc des ponts existants, et dimensionnés avec des codes de calcul passés ou actuels.

## REFERENCES

1. European Commission, D.-G.E.a.T., *Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vehicles as established within Directive 96/53/EC*. 2008.
2. Ltd, R.I.P. and A.T.R. Ltd, *Performance Based Standards for Heavy Vehicles in Australia. Field of Performance Measures*. 1999.
3. Board, T.R., *NCHRP REPORT 671. Review of Canadian Experience with the Regulation of Large Commercial Motor Vehicles*. 2010.
4. Jacob, B., et al. *US formule de pont (FBF-B) and implications of its possible application in Europe*. in *IABMAS, 5th International Conference on Bridge Maintenance and Safety*. 2010. Philadelphia.
5. O'Connor, C. and P.A. Shaw, *Bridge Loads, an international perspective*, ed. S. Press. 2000.
6. International Transport Forum, J.O.I.T.R.C., *Moving freight with better trucks*. 2009: Paris. p. 336 p.
7. TRB, *Special Report 225, Truck Weight Limits: Issues and Options*, T.R. Board, Editor. 1990: Washington D.C.
8. Team, B., *Comprehensive Truck Size and Weight Study, Bridges and TS&W regulations*, U.S.D.o.T.D.H. Administration, Editor. 1995.
9. Contractor, Y.J., *Evaluation of a new Formule de pont for Regulation of Truck Weights*, in *A&M University*. 2005, Texas University: Texas.
10. Ghosn, M., *Development of Truck Weight Regulations Using Bridge Reliability Model*. *Journal of Bridge Engineering*, 2000. **5**(4).
11. Board, T.R., *NCHRP Report 575. Legal Truck Loads and AASHTO Legal Loads for Posting*, T.R. Board, Editor. 2007: Washington D.C.
12. Commerce, U.S.D.o., *Maximum Desirable Dimensions and Weights of Vehicles operated in the Federal-Aid System*, in *Bureau of Public Roads*, U.S.D.o. Commerce, Editor. 1964: Washington D.C.
13. Ghosn, M. and F. Moses, *Effect of Changing truck Weight Regulations on U.S. Bridge Network*. *Journal of Bridge Engineering*, 2000. **5**(4).
14. James, R.W., et al., *Proposed New Truck Weight Limit Formula*. *Journal of Structural Engineering*, 1986. **112**(7).
15. Miao, T., & Chan, T. (2002). Bridge Live Load Models from WIM data. *Elsevier Sciences Ltd*.
16. Union, C.o.t.E., *Council Directive 96/53/EC of 25 July 1996 laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic* 1996.