AMÉLIORATIONS DE LA MÉTHODE SIMPLIFIÉE DE CALCUL DES PONTS DE TYPE DALLE PLEINE COURANTS

Patrick Théorêt
Étudiant à la maîtrise

Bruno Massicotte
Professeur titulaire

Groupe de recherche de génie des structures
École Polytechnique de Montréal
C.P. 6079. Succursale Centre-ville
Montréal (Québec), H3C 3A7

RÉSUMÉ : Un projet de recherche en cours à l'École Polytechnique de Montréal vise à réviser la méthode simplifiée actuelle du code CSA S6-06 pour les ponts courants. La puissance des logiciels d'analyse structurale récents a permis la programmation d'un outil de génération de modèles de grillage pour procéder à une vaste étude paramétrique où un grand nombre de ponts furent analysés. Cet article présente de nouvelles équations pour le calcul de facteurs de distribution de la charge vive pour les ponts de type dalle de géométrie droite et biaise. Il a été possible de réduire significativement le nombre d'équations de la méthode tout en gardant ou améliorant la justesse de la méthode simplifiée et en étendant son application aux ponts de géométrie biaise.

INTRODUCTION

Objectifs généraux du projet de recherche

La méthode de la poutre équivalente est utilisée de manière satisfaisante depuis des décennies en Amérique du nord pour l'analyse de ponts à poutres mais aussi pour les dalles pleines. Selon Zokaie et al. (1991), sa première apparition remonte à 1931 dans la norme Standard Specifications for Highway Bridges de l'American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Différentes variantes d'une méthode d'analyse simplifiée utilisant des facteurs de distribution des charges vives sont présentes dans les différentes normes nord américaines. Le Ontario Highway Bridge Design Code (OHBDC) contenait une telle méthode jusqu'à sa dernière édition en 1992, méthode qui a évoluée pour se retrouver maintenant dans le code canadien de calcul des ponts routiers (Canadian Highway Bridge Design Code, ou CHBDC) (CSA, 2006). Cette méthode simplifiée vise à déterminer les effets les plus critiques des chargements en tenant compte de la distribution transverse des charges de roues au moyen de facteurs de distributions empiriques. Elle fournit un niveau de précision adéquat pour la majorité des cas retrouvés en pratique, et ses résultats sont généralement conservateurs. Avec cette méthode, les effets des chargements sont en premier lieu calculés en considérant la structure comme une poutre. La distribution des charges entre les membrures longitudinales de la structure est ensuite déterminée en utilisant des relations relativement simples qui constituent la spécificité de cette méthode.

La méthode d'analyse simplifiée telle que définie dans la version actuelle de le code CSA S6 (2006) est l'objet de critiques pour la complexité de sa formulation due en grande partie au nombre de tableaux présents dans le code se rapportant à des types de ponts non usuels, le grand nombre d'équations pour un type de pont donné, la complexité de la méthode pour des ponts à

travées continues et la nature non-intuitive des équations de certains paramètres. Une meilleure alternative serait d'avoir une méthode simplifiée impliquant moins d'équations et des calculs plus intuitifs. Il est de l'avis de certains qu'une forme plus simple de facteurs de distribution similaire à l'approche traditionnelle S/2D (CSA, 1988) serait préférable.

Dans cette perspective, un large programme de recherche est réalisé à l'École Polytechnique de Montréal depuis 2006 pour réviser la méthode d'analyse simplifiée du code actuel CSA-S6 (2006) pour les types de structures de ponts les plus communes (dalle pleines, dalle-sur-poutres, caissons multiples) avec des géométries en plan droites, biaises ou courbées horizontalement. Des géométries de pont typiques furent obtenues de plans d'un grand nombre de ponts de types variés fournis par le Ministère des Transports du Québec et la Ville de Montréal.

Portée et méthodologie

Cet article présente la méthodologie utilisée afin de proposer une nouvelle formulation pour la méthode d'analyse simplifiée appliquée à la distribution des charges vives pour les ponts de type dalle droits et biais. Une large étude paramétrique a été menée sur un grand échantillon de ponts de type dalle pleine en béton armé pour étudier les tendances de distribution de charges vives en fonction de la portée, du nombre de voies et de l'angle du biais.

L'étude a été menée en modélisant les ponts de type dalle choisis part la méthode de grillage. Cette technique de modélisation a d'abord été validée par une vaste comparaison avec des modèles d'éléments finis dans laquelle des modèles utilisant les éléments de plaques et de solides 3D furent utilisés (Théorêt et al, 2010). Les moments fléchissants et les efforts tranchants maximums ont été comparés de manière satisfaisante. Il a été conclu que la méthode du grillage était l'approche la plus efficace pour modéliser des ponts de type dalle, comparée à la méthode par éléments finis qui demande une interprétation plus attentive des résultats et qui peut conduire à des résultats incorrects. De plus, la méthode de grillage a été préférée à la méthode des éléments finis car les valeurs de cisaillement et de moment de flexion sont directement disponibles sans le besoin d'intégrer les contraintes sur une section donnée. Les modèles de grillage sont également plus faciles et plus rapides à modéliser, requièrent moins de puissance de calcul et s'exécutent plus rapidement, tout en procurant le niveau de précision requis.

MODÉLISATION DE PONTS DE TYPE DALLE PAR LA MÉTHODE DE GRILLAGE

Maillage

Pour les géométries de ponts sélectionnées, les lignes directrices proposées par Hambly (1991) ont été suivies pour établir le nombre et l'espacement des éléments longitudinaux du grillage requis pour modéliser adéquatement un pont de type dalle en béton. Selon Hambly, ce paramètre est important car un maillage trop grossier peut manquer en précision dans sa reproduction du comportement de la structure, alors qu'un maillage trop fin introduit des pics artificiels dans les valeurs des efforts. Pour cette raison, la largeur maximale associée à un élément longitudinal du grillage est déterminée suivant la largeur sur laquelle la charge d'une ligne de roues se disperse. L'espacement des éléments de grillage longitudinaux S_G maximal est donc déterminé comme la moitié de la largeur du gabarit d'un camion pour les éléments à l'intérieur du grillage (ce qui correspond à 3.0/2 = 1.5 m), et cette valeur additionnée de la largeur d'un chasse roue pour les

éléments de rive du grillage (ce qui correspond à 3.0/2+0.45 ≈ 2.0 m). Il est également recommandé que l'espacement des membrures longitudinales soit moindre que le quart de la portée du pont pour permettre une distribution adéquate des charges entre les membrures longitudinales du grillage. Hambly recommande de plus que l'élément de rive du grillage soit placé à une distance de 0.3*h* de la rive, où *h* est l'épaisseur de la dalle. Cette dernière recommandation tient compte du flux de cisaillement aux extrémités de la section de dalle, et a été suivie dans les modèles de grillage analysés dans le cadre de ce projet.

L'espacement entre les éléments transversaux du grillage doit être déterminé pour avoir un nombre suffisant de membrures transversales dans le modèle pour permettre la distribution des charges entre les éléments longitudinaux. Toujours selon Hambly, l'espacement des membrures dans les deux directions du grillage doit être similaire lorsque possible afin de reproduire adéquatement le comportement bidirectionnel d'une dalle en béton. Pour simplifier le processus de modélisation des différentes géométries de ponts, il a été décidé dans ce projet de recherche d'utiliser un espacement fixe de 1.0 m entre les éléments transversaux. Cette valeur est relativement proche et plus petite que l'espacement choisi pour les éléments longitudinaux. Cela permet également de simplifier l'automatisation de la génération de modèles de grillages.

Application des charges vives

Les analyses de grillages sous les charges vives ont été réalisées avec le logiciel SAP2000 (CSI, 2007). La charge CL-625 spécifiée par le code CSA S6 (2006) a été utilisée. La portion de véhicule reprise par chaque membrure longitudinale du grillage est déterminée par une distribution isostatique comme illustrée à la Figure 1, ou S_G est l'espacement longitudinal des éléments du grillage.

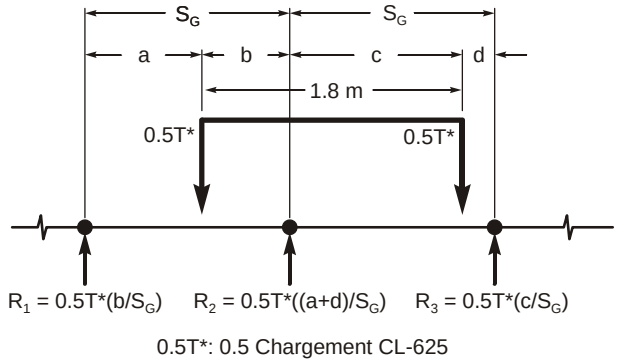

Figure 1 – Distribution transversale isostatique

Des cas de charges sont définis pour chaque combinaison de voies chargées et de positions transverse de camion à l'intérieur des voies. Afin de simplifier le processus d'évaluer un nombre infini de possibilités de positions transverses des camions, il a été décidé de limiter les positions transversales de camions à l'intérieur de chaque voies à trois cas : extrême gauche, centre et extrême droite de la voie. Deux exemples de cas de charge pour un pont à 3 voies sont illustrés à la Figure 2. Tous les cas de charges sont regroupés en différentes combinaisons et multipliés par

leur facteur de simultanéité R_L respectifs pour obtenir les enveloppes d'efforts maximaux pour tous les états limites et classes de routes prescrites dans la norme CSA-S6 (2006).

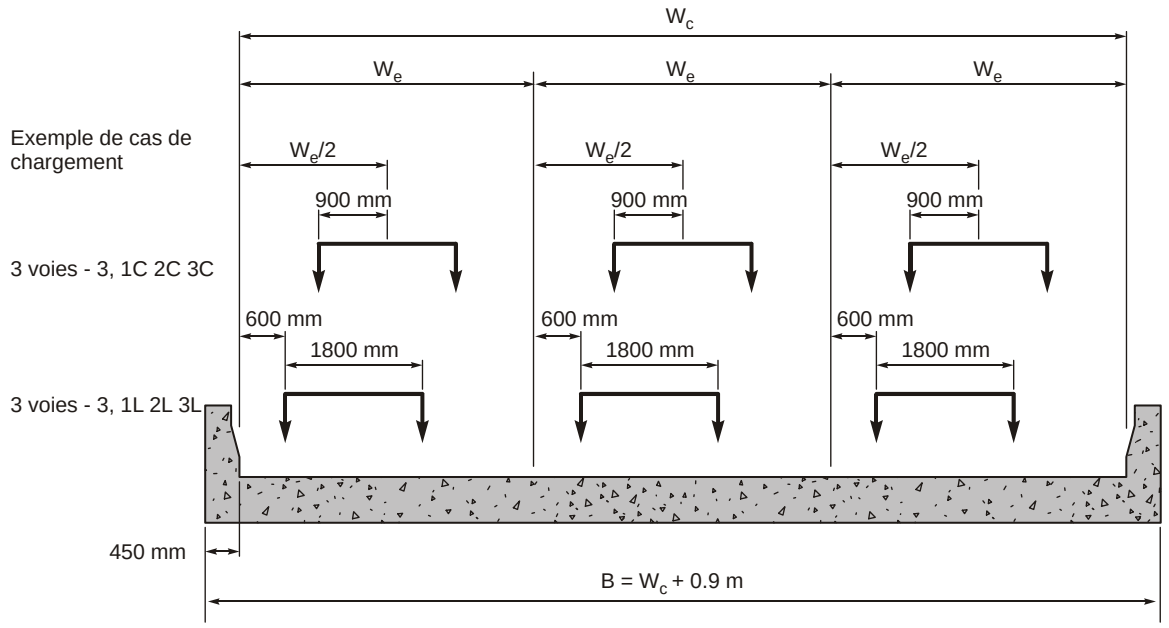

Figure 2 – Exemples de cas de charge pour un pont à 3 voies

Processus d'automatisation

Les lignes directrices adoptées pour modéliser un pont de type dalle à l'aide d'un modèle de grillage et pour déterminer les cas de charges ont servi à développer un logiciel sous Visual Basic pour Microsoft Excel servant à générer automatiquement un modèle de grillage d'après les paramètres géométriques d'un pont de type dalle. La capacité du logiciel SAP2000 (CSA, 2007) d'importer des tableaux Excel contenant les données du modèle est une des raisons principales ayant mené au choix de ce logiciel d'analyse. L'étude approfondie de la structure des tableaux d'entrée et de l'interface de programmation ont permis de programmer un logiciel de prétraitement qui génère toutes les données du grillage et l'information relative aux chargements requise pour procéder à l'analyse. Les fichiers d'analyse sont exécutés en lots configurés afin de sauvegarder les résultats d'analyse dans une base de données autonome pour être filtrés et interprétés. Ces outils ont rendu possible l'automatisation du processus de modélisation et a considérablement allégé la réalisation de l'étude paramétrique.

Étude paramétrique

Pour les ponts de type dalle pleine en béton armé, le choix des géométries à retenir pour l'analyse paramétrique a été fait pour que l'échantillon soit représentatif des largeurs et portées des ponts de type dalle présents sur les routes et qui sont couvert par la norme CSA S6 (2006). Les ponts simplement supportés sélectionnées sont d'une portée (L) variant de 3 à 20 m et l'angle du biais variant de 0 degrés (pour les ponts droits) à 60 degrés pour le pont avec le biais le plus prononcé, par incréments de 15 degrés. L'épaisseur de la dalle (h) est choisie égale à $L/20$. Un module élastique de 27000MPa (représentant un béton de 35MPa) et un coefficient de poisson de 0.2 ont été retenus pour calculer les propriétés des membrures de grillage.

À partir de la largeur de voie W_e (voir Figure 2) déterminée selon le nombre de voies spécifiées pour une largeur carrossable donnée dans le code CSA-S6 (2006), montré au tableau 1, les différentes largeurs de pont sont choisis pour couvrir les ponts étroits avec des voies de circulations d'une largeur W_e de 3.3m, qui est la largeur de voie minimale normalisée, et les ponts plus larges avec des voies de 3.9m de largeur. Des dimensions additionnelles sont ajoutées pour s'assurer de couvrir toutes les possibilités de largeur de voies suivant les directives de le code CSA S6 pour les voies de conception. La voie de 3.3m de largeur est prise comme référence pour dériver les tendances de distribution de charge. L'analyse de ponts avec des voies plus larges (ou moins larges pour les ponts de deux voies uniquement) est incluse pour étudier l'influence des largeurs de voie sur la distribution et, le cas échéant, proposer une équation pour corriger la distribution des efforts en fonction de la différence de largeur de voies. Les largeurs des ponts sélectionnés tient également compte de la largeur de chasse-roues de 450mm de largeur de chaque coté du pont. Pour chaque géométrie de pont sélectionnée, le nombre de voies n est choisi égal au nombre maximal de voies tel que spécifié par la norme. Cependant, toutes les combinaisons de voies chargées, de 1 à n voies, associées au facteur de simultanéité R_L correspondant a été considéré. Au total, 78 géométries de ponts droits et 312 ponts biais ont été modélisés et analysés dans cette étude paramétrique.

Tableau 1 – Nombre de voies de conception, largeurs et facteurs de simultanéité considérés

Largeur carrossable W_c *(m)*	n	R_L	B_{min} (m)	$B_{étroit}$ (m)	B_{large} (m)	B_{max} (m)
Jusqu'à 6.0	1	1.0	-	4.2	4.8	6.8
De 6.0 à 10.0	2	0.9	6.9	7.5	8.7	10.9
De 10.0 à 13.5	2 ou 3*	0.9 ou 0.8	-	11	12.6	14.4
De 13.5 à 17.0.	4	0.7	-	14.4	16.5	17.9

* les deux cas doivent être vérifiés

FORMULATION DE LA MÉTHODE SIMPLIFIÉE PROPOSÉE

Cette section introduit la formulation proposée pour la méthode simplifiée d'analyse de ponts de type dalle, différente de la méthode actuelle de le code CSA-S6. Cette formulation proposée s'inspire des méthodes simplifiées des normes CSA-S6 de 1988 et 2000-2006.

La formulation qui sera proposée ultérieurement pour les ponts de type dalle sur poutre sera basée sur les mêmes équations générales.

Équations proposées pour les facteurs de distribution en flexion

La formulation proposée pour le calcul des facteurs de distribution en flexion est la suivante :

[1] $m = F_M \; M_T$

[2] $F_M = \dfrac{1}{D_M \; F_w} \geq 1.05 \dfrac{n \; R_L}{B_e}$

Où m est le moment de conception par mètre de largeur de dalle, M_T est le moment maximal produit par le chargement CL-625 ou charge de voie sur une poutre équivalente, F_M est le facteur

de distribution des efforts de flexion, D_M est la largeur (en mètres) sur laquelle le chargement d'une voie est distribuée, et F_W est un facteur de correction prenant en considération la variation de la largeur des voies de circulation. Le terme de droite de l'équation 2 définit une limite inférieure pour F_M. La valeur minimale de F_M est identique à ce qui est retrouvé dans le code CSA actuel alors que cette limite est fixée a une valeur 5% supérieure à l'effort moyen réparti sur toute la largeur du pont.

À partir des résultats de l'analyse paramétrique, les équations suivantes sont proposées pour les ponts de type dalle. Ces équations sont basées sur des voies de circulation étroites de largeur W_e de 3.3m ($F_W = 1$), où $n = 2$ doit être utilisé pour des ponts à une seule voie.

[3] $D_M = 3.4 + n(0.5 - 2/L)$ à l'ÉLUL et ÉLUT-2, pour des routes de classe A et B

[4] $D_M = 2.6 + n(1 - 2.6/L)$ à l'ÉLUL et ÉLUT-2, pour des routes de classe C et D

[5] $D_M = 3.5 + 0.25(ln(n) + 0.2)(L - 3)$ à l'ÉLF et ÉLUT-1, pour toutes classes de routes

.

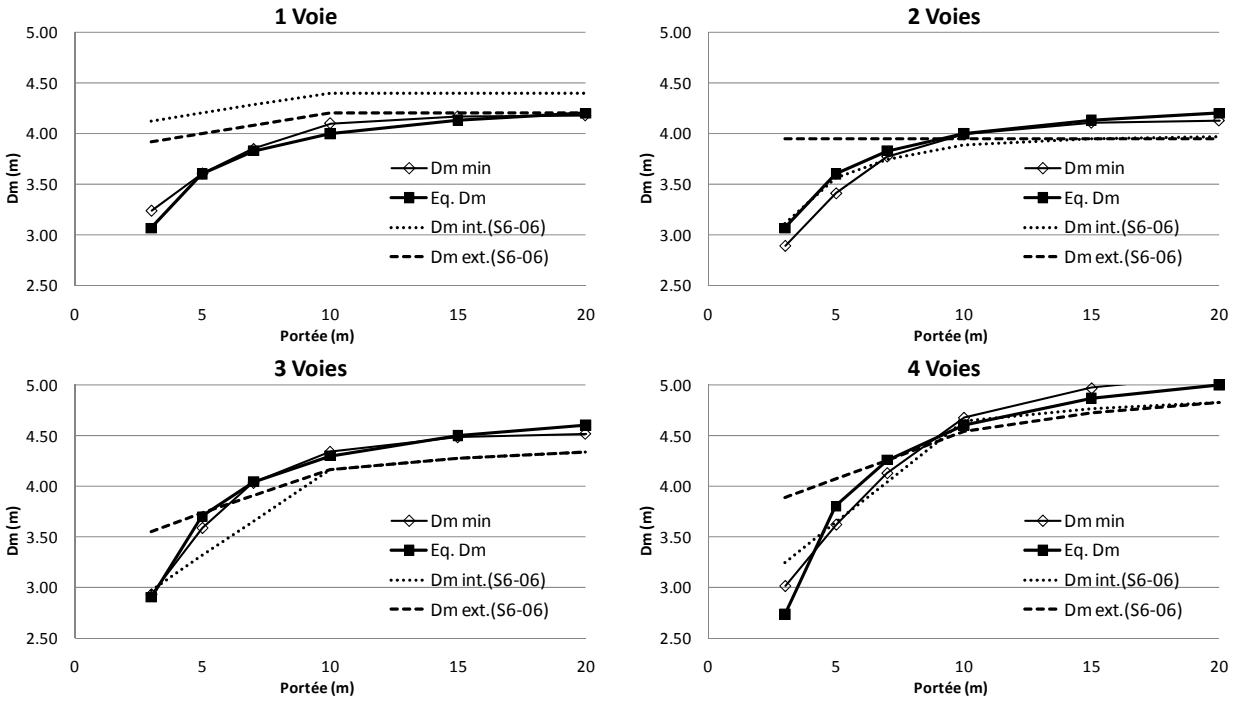

Figure 3 – Facteurs *D* en moment fléchissant calculés pour ponts étroits, à l'ÉLUL et ÉLUT-2, de classes A & B

La figure 3 présente la comparaison des valeurs de D_M calculées à l'aide des équations présentées et des valeurs critiques obtenues pour des analyses de grillages pour des ponts à 1, 2, 3 et 4 voies pour les états limites ultimes et d'utilisation 2 pour des ponts soutenant des routes de classes A & B. Les valeurs correspondantes obtenues à l'aide des équations du code CSA-S6 (2006) sont également présentés. Ces résultats illustrent que les équations proposées collent de manière satisfaisante aux résultats analytiques, légèrement mieux que les équations actuelles de le code

qui se retrouvent quelquefois, selon les résultats obtenus, du coté non conservateur. Cette comparaison démontre également qu'il n'est pas nécessaire de différencier les portions intérieures et extérieures de dalle comme retrouvé dans les équations actuelles du code, ce qui permet de simplifier la formulation.

Équations proposées pour les facteurs de distribution en cisaillement

La nouvelle équation générale proposée pour le calcul des facteurs de distribution en cisaillement est la suivante :

[6] $\mathrm{v} = F_V \, V_T$

[7] $F_V = \dfrac{1}{D_V} \geq 1.05 \dfrac{n \, R_L}{B_e}$

Où v est le cisaillement de conception par mètre de largeur de dalle, V_T est la valeur maximale de cisaillement produite par le chargement CL-625 ou charge de voie sur une poutre équivalente, F_V est le facteur de distribution des efforts de cisaillement, et D_V est la largeur (en mètres) sur laquelle le chargement d'une voie est distribuée. Le terme de droite de l'équation 7 définit une limite inférieure pour F_V de la même manière que pour la valeur minimale de F_M.

À partir des résultats de l'analyse paramétrique, les équations suivantes sont proposées pour les ponts de type dalle :

[8] $D_V = 4 - 7/L$ à l'ÉLUL et ÉLUT-2, pour des routes de classe A et B

[9] $D_V = 4.4 - 9/L$ à l'ÉLUL et ÉLUT-2, pour des routes de classe C et D

[10] $D_V = 4.6 - 9/L$ à l'ÉLF et ÉLUT-1, pour toutes classes de routes

La figure 4 présente la comparaison des valeurs de D_V calculées à l'aide des équations présentées et des valeurs critiques obtenues pour des analyses de grillages pour des ponts à 1, 2, 3 et 4 voies. Les valeurs correspondantes obtenues à l'aide des équations du code CSA-S6 (2006) sont également présentés. Contrairement à la distribution des efforts de flexion, la distribution des efforts de cisaillement n'est pas influencée par le nombre de voies, ce qui permet de proposer une équation dont le nombre de voie n'est pas un paramètre. La figure 5 illustre bien que les valeurs de D_V calculées à l'aide des valeurs critiques obtenues des analyses de grillages pour des ponts à 1, 2, 3 et 4 voies peuvent être approximées par une seule équation.

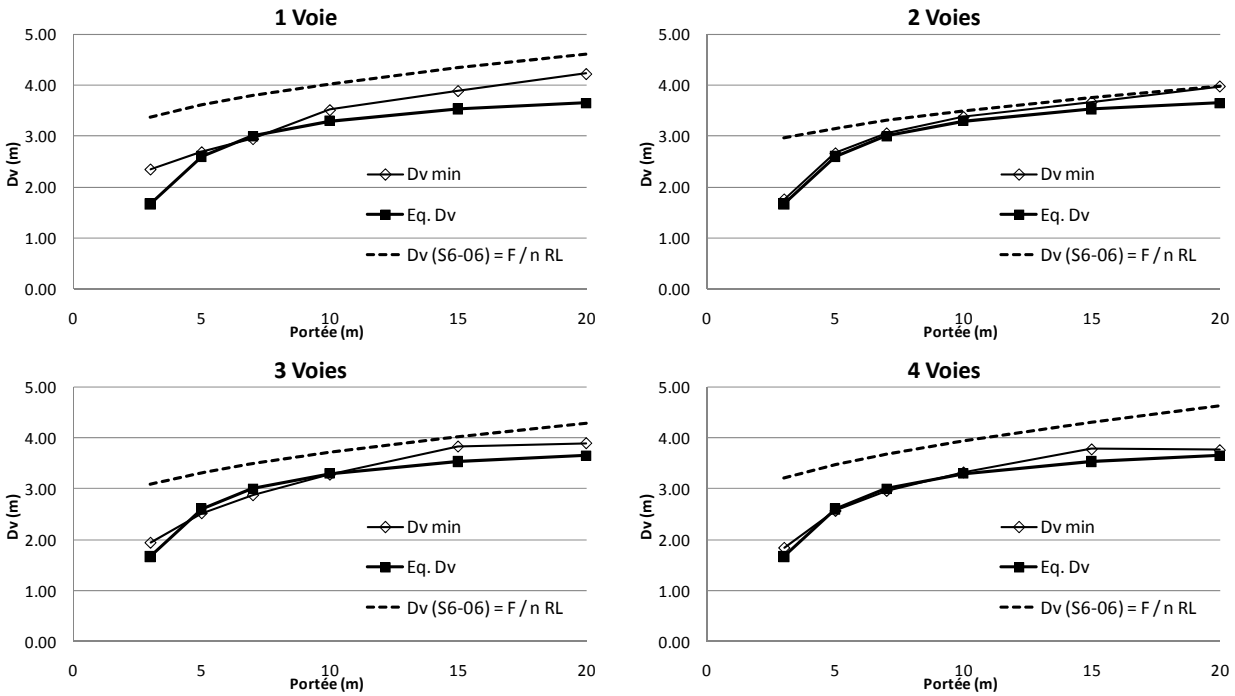

Figure 4 – Facteurs *D* en cisaillement calculés pour ponts étroits, à l'ÉLUL et ÉLUT-2, de classes A & B

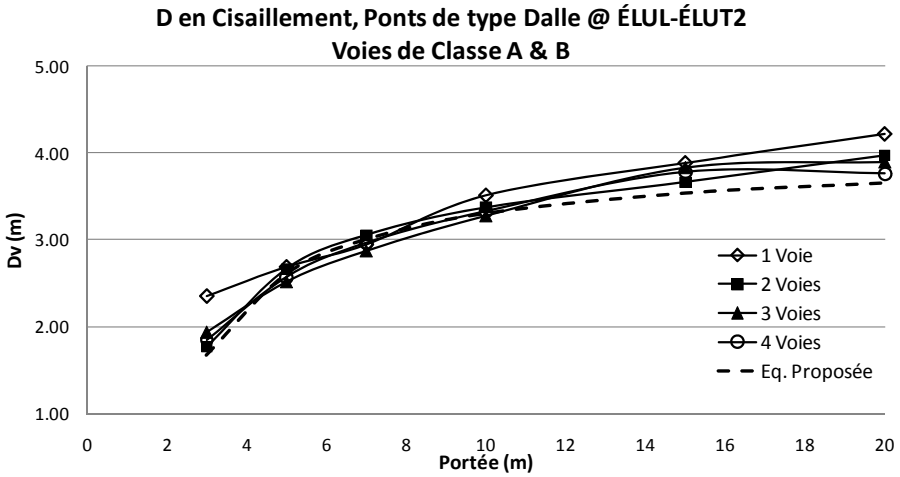

Figure 5 – Valeurs de D_V calculés pour des ponts de 1, 2, 3 et 4 voies étroites, à l'ÉLUL et ÉLUT-2, de classes A & B

Équations proposées pour le facteur de correction pour la largeur de voie

Les géométries de ponts dont les voies sont de largeur différente à 3.3m analysés dans cette étude sont utilisées pour définir un facteur de correction tenant compte de la largeur des voies. Ce

facteur F_W est défini comme étant le ratio entre le facteur D_M du pont avec des voies de largeur différente a 3.3m, et le facteur D_M du pont équivalent avec une largeur de voie de 3.3m. L'équation est proposée avec un format similaire à ce qui se retrouve dans la version présente du code S6, et est la suivante :

[11] $F_W = 1 + \mu\lambda$

[12] $\mu = \dfrac{W_c}{3.3\,n} - 1 \le 1.0$

[13] $\lambda = 0.5 - 1.6/L$

La figure 6 compare les valeurs de F_W obtenues de l'équation proposée aux valeurs calculées à partir de résultats des analyses de grillage pour 3 largeurs de voies. L'équation proposée de F_W a été sélectionnée du coté conservateur des résultats. Cependant, l'équation proposée prédit des valeurs près des résultats analytiques pour les largeurs de voie usuelles (autour de 3.9m).

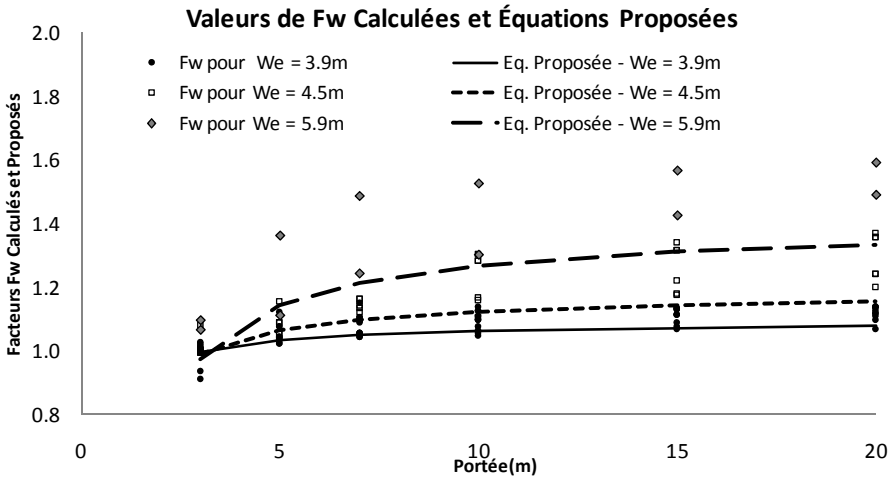

Figure 6 – Valeurs calculées des facteurs F_W

Équations proposées pour l'amplification du cisaillement dû au biais

Bien que les ponts biais soient courants, aucune équation n'a été proposée pour tenir compte de l'effet d'appuis biais sur la distribution des efforts. Dans la méthode simplifiée du code CSA-S6 (2006), $\varepsilon \le 1/6$ définit la limite d'applicabilité des équations de distribution de charges pour les ponts droits de type dalle, où ε est défini comme (ψ étant l'angle du biais):

[14] $\varepsilon = B/L \ \tan\psi$

Dans l'étude paramétrique, le rapport C_V entre la valeur maximale de cisaillement due aux charges mortes et vives sur un pont biais et la valeur correspondante de cisaillement du pont droit équivalent est calculé pour tous les ponts biais analysés. La figure 7 présente ce rapport en fonction du paramètre ε. Les résultats indiquent clairement que l'accroissement des efforts en cisaillement au coin obtus observé dans un pont biais n'est pas bien représenté par la définition du paramètre ε présent dans le code. De plus, comme plusieurs géométries de pont se trouvant

sous la limite d'applicabilité des équations de distribution de charges pour les ponts droits ont une valeur de C_V plutôt élevée, cette limite ne semble pas pertinente.

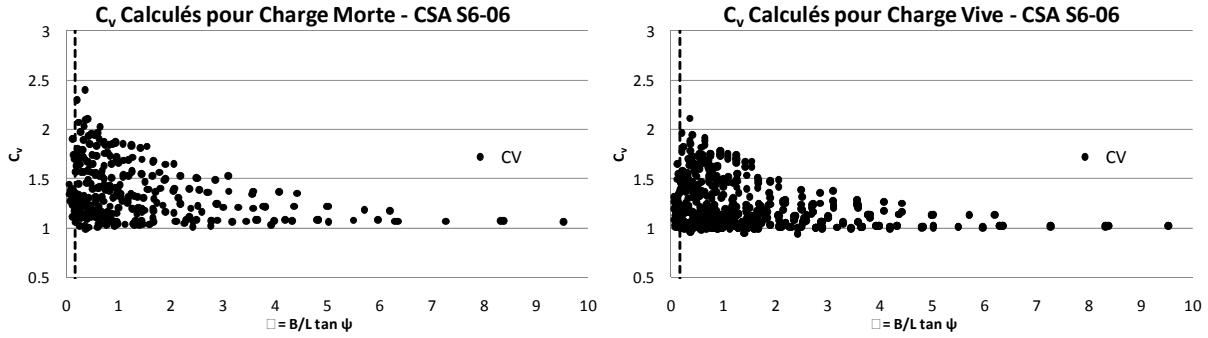

Figure 7 – Variation de C_V en fonction du paramètre ε

À la figure 8 on retrouve les mêmes données mais tracées selon un paramètre de biais différent. Les données sont cependant triées selon quatre séries de données pour les ponts de 1 à 4 voies de circulation. Cette séparation a permis d'illustrer ce qui a été découvert en étudiant les résultats; que la distribution du facteur d'amplification du cisaillement C_V en fonction du paramètre de biais proposé dépend de la largeur du pont. Deux équations simples pour le facteur d'amplification du cisaillement C_V en fonction du paramètre de biais sont proposées, pour la charge morte et la charge vive.

[15] $\beta = L/B \sin\psi \cos\psi$

[16] $C_V = 1 + (0.095B + 0.25)\beta$ pour la charge morte

[17] $C_V = 1 + (0.095B - 0.125)\beta$ pour la charge vive

Les équations proposées pour l'amplification des efforts de cisaillement causé par le biais sont calibrées pour que la valeur de donnée par l'équation soit plus conservatrice que 95% des points de données.

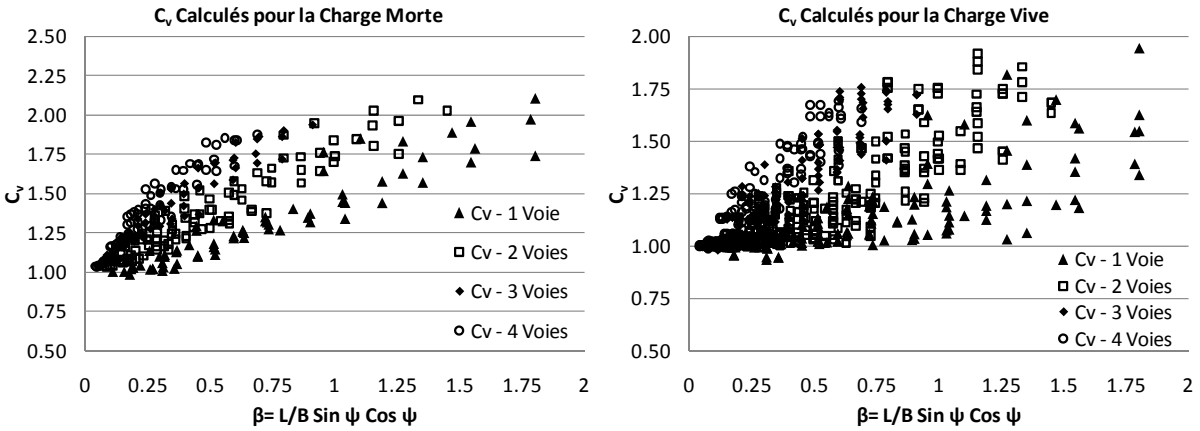

Figure 8 – Variation de C_V en fonction du paramètre β

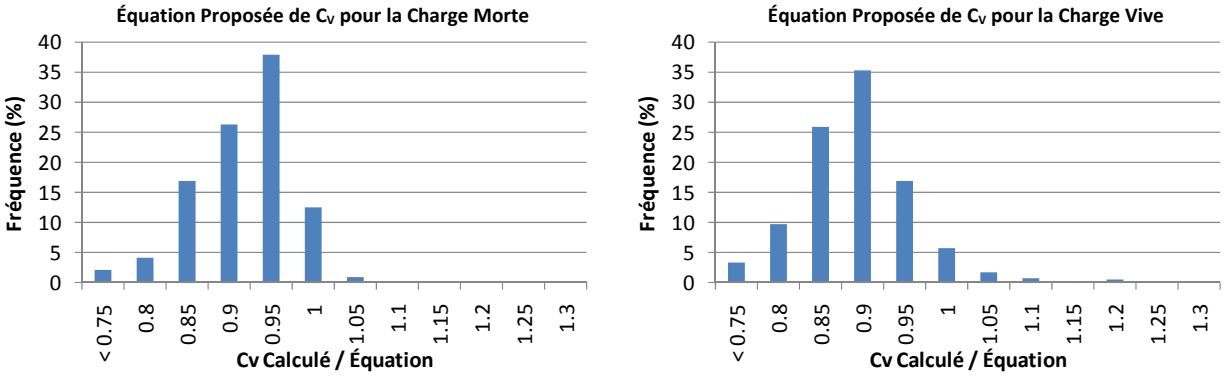

Figure 9 – Dispersion de la précision des équations proposées pour C_V

VALIDATION

Cette section compare la justesse de la formulation proposée dans cet article aux valeurs obtenues des modèles de grillage et des équations de la méthode simplifiée actuelle du code S6 (CSA, 2006). Pour cette comparaison, les valeurs maximales obtenues des modèles d'analyse de grillage sont divisées par la valeur maximale correspondante (M_T ou V_T) d'une seule voie de chargement sur un modèle de poutre simplement supportée pour obtenir les facteurs de distribution F_M et F_V auxquels sont comparés les facteurs de distribution calculés à partir des équations proposées et de la méthode simplifiée actuelle.

Les propriétés géométriques des quatre ponts typiques sélectionnés pour cette vérification des équations proposées sont résumées au tableau 2.

Tableau 2 – Ponts type pour les exemples de validation

	L *(m)*	**B** *(m)*	**Wc** *(m)*	**n**	**We** *(m)*
1 Voie	20	4.2	3.3	1	3.3
2 Voies	15	6.9	6.0	2	3.0
3 Voies	20	11.0	10.1	3	3.367
4 Voies	20	16.5	15.6	4	3.9

Les facteurs de distribution F_M pour la flexion et F_V pour le cisaillement calculés à partir des équations proposées dans cet article pour les quatre ponts types sont présentés au Tableau 3. Ces exemples montrent que les équations proposées pour calculer les facteurs de distribution des efforts de cisaillement et de flexion pour les ponts droits ainsi que le facteur de correction pour la largeur des voies donnent des valeurs justes comparées aux résultats du modèle de grillage. Les valeurs obtenues de ces équations sont, à peu d'exceptions près, toujours du coté conservateur par une mince différence. Il est aussi démontré suite a ces exemples que les équations de la méthode simplifiée du code CSA-S6 (2006), pour les ponts de type dalle, donne une estimation précise des

efforts de flexion, mais que pour les efforts de cisaillement ces équations ne donnent pas des valeurs aussi conservatrices comparées aux équations proposées et aux résultats des analyses raffinées pour ce petit échantillon d'exemples de validation.

Tableau 3 – Validation de la formulation proposée

		Analyse de Grillage		CSA-S6 (2006)		Formulation proposée	
		Valeur Max	**F_M ou F_V**	**F_M ou F_V**	**S6-06 Grillage**	**F_M or F_V**	**Proposée Grillage**
		(kN-m/m, kN/m)	*(m^{-1})*	*(m^{-1})*		*(m^{-1})*	
1 Voie	ÉLU M	416	0.24	0.25	1.04	0.25	1.04
	ÉLU V	95.8	0.24	0.25	1.05	0.27	1.15
	ÉLF M	387	0.22	0.25	1.12	0.25	1.12
	ÉLF V	91.5	0.23	0.25	1.1	0.25	1.10
2 Voies	ÉLU M	282	0.26	0.28	1.05	0.27	1.04
	ÉLU V	99.8	0.30	0.27	0.91	0.28	0.94
	ÉLF M	173	0.16	0.17	1.06	0.17	1.06
	ÉLF V	81.8	0.25	0.19	0.79	0.25	1.01
3 Voies	ÉLU M	384	0.22	0.23	1.04	0.23	1.04
	ÉLU V	104	0.26	0.23	0.91	0.27	1.07
	ÉLF M	194	0.11	0.12	1.11	0.11	1.01
	ÉLF V	84.6	0.21	0.16	0.74	0.24	1.15
4 Voies	ÉLU M	314	0.18	0.18	1.00	0.18	0.99
	ÉLU V	106	0.26	0.22	0.82	0.27	1.04
	ÉLF M	164	0.09	0.10	1.06	0.09	0.99
	ÉLF V	74.6	0.19	0.16	0.84	0.24	1.3
				Moyenne Flexion:	**1.0624**	**Moyenne Flexion**	**1.0350**
				Moyenne Cisaillement:	**0.8963**	**Moyenne Cisaillement**:	**1.0960**

CONCLUSIONS

Cet article a présenté les résultats d'une analyse paramétrique effectuée sur 390 modèles de grillages représentant des ponts de type dalle pleine en béton armée de 3 à 20 mètres de portées, de largeurs correspondant à des ponts portant de 1 à 4 voies de circulation avec un angle de biais variant de 0 à 60 degrés.

De ces analyses, une nouvelle formulation plus simple d'une méthode d'analyse simplifiée pour les ponts de type dalle est proposée pour la norme CSA-S6. Le nombre d'équations requises par la méthode a été abaissé de manière significative. Ces équations pour la distribution des efforts de flexion et de cisaillement sous charge vive sont présentées, ainsi qu'une révision du facteur de correction pour la largeur de voies. L'application de la méthode est également étendue, par le moyen de facteurs de correction, aux ponts ayant un biais de jusqu'à 60 degrés.

REMERCIEMENTS

Cette recherche a été réalisée grâce à une subvention RDC CRSNG/Cima+. La collaboration du Ministère des Transports du Québec et de la Ville de Montréal au montage de la base de données sur les géométries de ponts typiques est également soulignée.

RÉFÉRENCES

BAKHT, B & JAEGER, L.G. 1985. *Bridge analysis simplified*. McGraw Hill Book Company.

BAKHT, B & MOSES, F. 1988. *Lateral distribution factors for highway bridges*. ASCE Journal of Structural Engineering, Vol 114, No 8.

CSA 1988. *CAN/CSA-S6-88 Design of Highway Bridges.* Canadian Standards Association, Toronto.

CSA 2006. *CAN/CSA-S6-06 Canadian Highway Bridge Design Code.* Canadian Standards Association, Toronto.

CSA 2006. *CAN/CSA-S6.1-06, Commentary on Canadian Highway Bridge Design Code.* Canadian Standards Association, Toronto.

CSI 2007. *SAP2000 Basic Analysis Reference Manual*, Computer and Structures inc, USA.

CUSENS, A.R. AND PAMA, R.P. 1975. *Bridge Deck Analysis*. John Willey & Sons.

HAMBLY, E.C. 1991. *Bridge deck behaviour*. E & FN Spon.

Jaeger, L.G. and Bakht, B. 1982. *The grillage analogy in bridge analysis*. Canadian Journal of civil engineering, Vol 9.

JAEGER, L.G. AND BAKHT, B. 1989. *Bridge analysis by microcomputer*. McGraw Hill Book Company.

JAEGER, L G., CHEUNG, M.S. AND AZIZ, T.S. 1979. *Application of a simplified method of calculating longitudinal moments to the Ontario highway bridge design code*. Canadian Journal of Civil Engineering, Vol 6.

MTO 1992. *Ontario Highway Bridge Design Code and Commentary*, 3rd Edition. Ministry of Transportation and Communication, Ontario, Canada.

SMITH, D.S. 1998. *Force effects in slab and voided slab brides types at ultimate and serviceability limit states and recommendations for live load distribution factors for the*

Canadian Highway Bridge Design Code. Report to CSA-S6 Subcommittee on Methods of Analysis.

THÉORET, P., MASSICOTTE, B. AND CONCIATORI, D. 2010. *Analysis and design of straight and skewed solid slab bridges*, Paper submitted for possible publication in the ASCE Journal of Bridge Engineering, (April 2010).

ZOKAIE, T., IMBSEN, R.A., AND OSTERKAMP, T.A. 1991. *Distribution of Wheel Loads on Highway Bridges*, Transportation Research Record 1290, Transportation Research Board, USA.