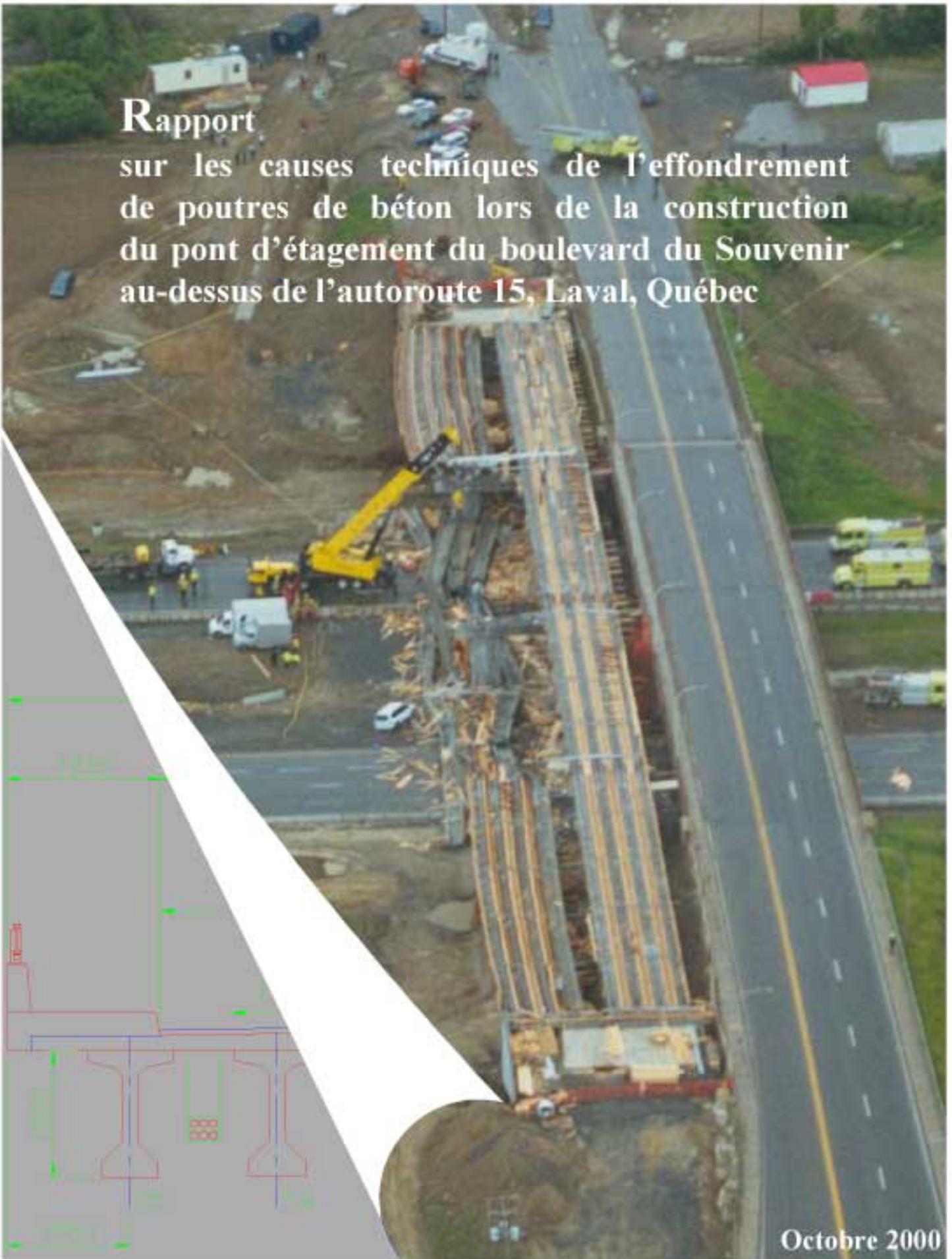


Rapport
sur les causes techniques de l'effondrement
de poutres de béton lors de la construction
du pont d'étagement du boulevard du Souvenir
au-dessus de l'autoroute 15, Laval, Québec



Octobre 2000

Rapport

sur les causes techniques de l'effondrement de poutres de béton lors de la construction du pont d'étagement du boulevard du Souvenir au-dessus de l'autoroute 15, Laval, Québec

par :

Robert Tremblay, Ph.D., ing.

Coordonnateur

Département des génies civil, géologique et des mines

École Polytechnique, Montréal

Denis Mitchell, Ph.D., ing.

Département de génie civil et de mécanique appliquée

Université McGill, Montréal

Jocelyn Labbé, ing.

Direction des structures

Ministère des Transports du Québec

Jacques Prévost, M.Sc., ing.

Direction des structures

Ministère des Transports du Québec

Soumis à

Monsieur André Trudeau, sous-ministre

Ministère des Transports, Québec

Octobre 2000

Sommaire

Le 18 juin 2000, sur le chantier de construction du nouveau pont d'étagement du boulevard du Souvenir à Laval, huit des 32 poutres en béton qui avaient été installées sur la structure se sont écroulées sur les voies nord et sud de l'autoroute 15. L'accident fait un mort et deux blessés. Huit autres poutres se sont aussi déplacées mais ont été retenues de façon précaire par des murs de garde aménagés aux culées du pont.

La structure de ce pont est d'un type fréquemment utilisé pour la construction des ponts au Québec et en Amérique du Nord. Il s'agit d'un pont à quatre portées dont le tablier est fait de poutres préfabriquées en béton précontraint qui supportent une dalle de béton. Sur quatre des cinq points appuis, les poutres reposaient sur des appareils à élastomère confiné qui permettent la rotation des poutres de même que les mouvements longitudinaux du pont induits par les variations de température. Dans le sens de la largeur du pont, les appareils d'appui des quatre premières poutres à partir de la rive permettaient aussi un mouvement dans la direction transversale.

Au moment de l'accident, les poutres étaient installées sur les appareils d'appui et on préparait les coffrages pour la coulée des entretoises et de la dalle. Des tiges métalliques avaient été posées aux extrémités des poutres, au niveau de leur semelle supérieure, pour les retenir les unes aux autres. Lors de l'installation des poutres, des appuis temporaires avaient été placés sous les poutres, près des appareils d'appui, aux trois appuis intermédiaires. Ces appuis temporaires avaient été enlevés durant la première semaine de juin. Les poutres étaient alors en état d'équilibre précaire car elles pouvaient pivoter par rapport à leur base et, pour les quatre poutres de rive, se déplacer latéralement sans qu'il n'y ait opposition suffisante des tiges de retenue ni des éléments de coffrage que l'on était à installer avant l'effondrement.

Le 18 juin au matin, les poutres de rives se sont déplacées, par glissement et rotation au niveau des appareils d'appui, probablement dû à l'effet du vent, combiné ou non à d'autres effets, provoquant un effondrement progressif de huit poutres. Cet accident est survenu parce que les poutres n'étaient pas contreventées adéquatement lors de la construction du pont. Un système structural aurait du être installé pour empêcher le déplacement des poutres durant la construction.

Table des matières

Sommaire	ii
Table des matières	iii
1.0 INTRODUCTION	1-1
1.1 Contexte	1-1
1.2 Formation et mandat du comité d'experts	1-1
1.3 Méthodologie	1-2
1.3.1 Cueillette et étude d'information	1-3
1.3.2 Prise de mesures et d'échantillons	1-3
1.3.3 Essais en laboratoire	1-3
1.3.4 Calculs structuraux et analyses du comportement de la structure	1-4
1.4 Organisation du rapport	1-4
2.0 DESCRIPTION DU PROJET	2-1
2.1 Introduction	2-1
2.2 Description du pont	2-1
2.2.1 Structure	2-1
2.2.2 Appareils d'appui	2-8
2.2.2.1 Coussin en élastomère	2-10
2.2.2.2 Appuis à élastomère confiné	2-12
2.3 Construction du pont	2-20
2.3.1 Fabrication et installation des poutres	2-20
2.3.1.1 Calendrier des travaux	2-20
2.3.1.2 Conditions d'appui des poutres	2-23
2.3.1.3 Retenue latérale des poutres	2-23
2.3.1.4 Soudure des plaques d'assise des poutres aux appareils d'appui	2-23
2.3.2 Travaux de coffrage des entretoises et de la dalle	2-27
2.3.2.1 Plancher de sécurité et entretoises	2-27
2.3.2.2 Coffrage de la dalle	2-30
2.3.2.3 État d'avancement des travaux	2-33
3.0 DESCRIPTION DE L'EFFONDREMENT DES POUTRES	3-1
3.1 Vue d'ensemble	3-1
3.2 Témoignages	3-7
3.3 Description des dommages subis par la structure	3-8
3.3.1 Éléments du tablier	3-8
3.3.2 Appareils d'appui	3-12
3.3.3 Piles	3-20
3.4 Mesure de la rotation des poutres 5 à 8	3-22
3.5 Reconstitution de la chute des poutres	3-25

4.0	CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES	4-1
4.1	Conditions climatiques	4-1
4.2	Conditions sismiques	4-4
5.0	CAUSES PROBABLES DE L'EFFONDREMENT	5-1
5.1	Introduction	5-1
5.2	Revue de la structure du pont	5-1
5.2.1	Qualité des matériaux	5-1
5.2.2	Revue de la conception du pont	5-1
5.2.3	Appareil d'appuis	5-2
5.3	Rupture par instabilité des poutres	5-3
5.3.1	Système de contreventement temporaire	5-3
5.3.2	Sollicitations	5-5
5.3.2.1	Pressions dues au vent	5-5
5.3.2.2	Turbulence causée par la circulation	5-6
5.3.2.3	Vibrations causées par la circulation	5-6
5.3.2.4	Imperfections géométriques	5-7
5.3.2.5	Effets des vibrations de la température et du rayonnement solaire	5-9
5.3.3	Étude de la stabilité sous l'effet du vent , des imperfections géométriques et des variations de température	5-9
5.3.4	Remarques	5-13
6.0	CONCLUSIONS	6-1
7.0	REMERCIEMENTS	7-1
8.0	RÉFÉRENCES	8-1

1.0 INTRODUCTION

1.1 Contexte

En juin 2000, un nouveau pont d'étagement était en construction au-dessus de l'autoroute 15 pour permettre le passage du boulevard du Souvenir à ville de Laval. Le pont comprenait 4 travées orientées d'ouest en est. Les travaux étaient en première phase de réalisation et on avait procédé à la mise en place de 32 poutres préfabriquées en béton précontraint soit 8 poutres par travée.

Le 18 juin, peu avant 11h du matin, huit poutres des 4 premières rangées situées du côté sud du pont s'écroulent sur les voies nord et sud de l'autoroute 15. Ces poutres sont localisées sur les travées 2 et 3. L'accident fait un mort et deux blessés. Les 4 poutres les plus au sud sur la travée 1 et la travée 4 se sont aussi déplacées mais ont été retenues de façon précaire par des murs de garde aménagés dans les culées du pont. Les 16 autres poutres sont demeurées en place mais étaient cependant inclinées. Afin de garantir la sécurité des lieux et des usagers de l'autoroute 15, on décide de démanteler toutes les poutres restantes.

1.2 Formation et mandat du comité d'experts

Suite à cet accident, M. Guy Chevrette, Ministre des Transports du Québec, a mandaté la Direction des structures pour faire la lumière sur les causes de l'effondrement des poutres. Il a également mis à la disposition du coroner ses experts en structures pour l'aider à sécuriser les lieux.

Le 28 juin 2000, M. André Trudeau, sous-ministre au ministère des Transports, formait un comité d'experts pour déterminer les causes techniques de l'accident. Le mandat du comité comprenait la collecte et l'analyse de l'information relative à l'effondrement des poutres, les études et expertises jugées requises, et la préparation d'un rapport présentant les résultats et conclusions de ces travaux.

Le comité d'experts comprenait quatre membres dont deux professeurs en génie des structures, Robert Tremblay, de l'École Polytechnique, coordonnateur et porte-parole du comité, Denis Mitchell, de l'Université McGill, et deux ingénieurs de la Direction des structures du ministère des Transports du Québec, Jocelyn Labbé et Jacques Prévost.

À ce comité s'est greffé plusieurs spécialistes du ministère des Transports du Québec qui ont étudié divers aspects particuliers de ce mandat. Chacun de ces spécialistes a remis un rapport au comité accompagné, le cas échéant, de documents complémentaires tels des notes de calcul. Les constats de ces spécialistes ont été revus par les professeurs Tremblay et Mitchell.

Au cours de ses travaux, le comité a eu accès à divers documents produits par plusieurs des intervenants qui ont été impliqués dans le projet de construction du pont dont des plans, dessins d'atelier, mémos, notes de calcul, photos, etc. De ces informations, seules celles qui étaient liées directement à l'effondrement des poutres ont été traitées par les membres du comité et sont citées dans le présent rapport.

Finalement, bien que le comité se juge satisfait des informations obtenues et des constats qu'il en a tirés, il demeure possible que des faits n'aient pas été portés à son attention ou que de nouveaux éléments ne soient révélés qu'après le dépôt de ce rapport. Les conclusions de cette étude pourraient alors être modifiées en conséquence.

1.3 Méthodologie

Le travail du comité a consisté à recueillir, examiner et interpréter l'information disponible et à élaborer et valider des scénarios expliquant l'effondrement des poutres. Deux avenues principales ont été identifiées dès le départ afin d'établir un plan de travail: l'effondrement dû à la rupture d'un élément structural et l'effondrement dû à un état d'équilibre instable des poutres. Le comité a également examiné la possibilité qu'une autre cause telle un chargement exceptionnel ou un événement extraordinaire puisse avoir produit l'effondrement des poutres.

La structure du pont du boulevard du Souvenir est un type fréquemment utilisé au Québec et en Amérique du Nord. La vérification de la capacité structurale des principaux éléments de la charpente a consisté à faire les calculs des efforts et de la résistance de ces éléments et à vérifier la qualité des matériaux utilisés. On a aussi examiné l'historique de la construction pour vérifier la possibilité d'un problème antérieur à l'accident.

L'étude de la stabilité des poutres a nécessité un travail de recherche plus important. Il fallait reconstituer les conditions qui prévalaient sur le chantier avant l'effondrement, déterminer les caractéristiques et le comportement structural de certaines des composantes de la structure et procéder à des analyses plus particulières. Des essais ont notamment été réalisés sur les appareils d'appui. On a aussi examiné les effets thermiques sur les poutres du pont.

Les principales étapes du travail peuvent se résumer comme suit :

- la cueillette et l'étude d'information;
- la prise de mesures et d'échantillons;
- les essais en laboratoire;
- les calculs structuraux et les analyses du comportement de la structure.

1.3.1 Cueillette et étude d'information

Les membres du comité ont étudié les documents qui ont été recueillis et fournis par le corps policier de Laval. Ces documents sont :

- les documents obtenus des intervenants dans le projet: plans, dessins, journal de chantier, avis et mémos, lettres, photos, etc.;
- les photos prises par les corps de sécurité publique après l'accident;
- les témoignages et les dépositions;
- les conditions climatiques et sismiques.

Le comité a aussi fait une recherche bibliographique concernant le comportement des appareils d'appui ainsi que les effets thermiques sur les ouvrages de béton.

1.3.2 Prise de mesures et d'échantillons

Les membres du comité ont demandé des prises de mesures et de matériaux. Ces travaux se résument comme suit :

- les relevés des dommages aux éléments de la structure en place et des éléments endommagés;
- les relevés dimensionnels d'éléments de la structure restés en place;
- le prélèvement d'échantillons de matériaux dans les principaux éléments de la structure;
- la mesure des vibrations induites par la circulation routière;
- la mesure des variations de la température du béton des poutres dues aux changements de température extérieure et du rayonnement solaire.

1.3.3 Essais en laboratoire

Les essais en laboratoire ont été réalisés sur :

- les matériaux (béton et acier);
- les tiges de retenue transversale des poutres;
- les appareils d'appui.

1.3.4 Calculs structuraux et analyses du comportement de la structure

Le comité a procédé aux études suivantes :

- la revue de la conception des principaux éléments des fondations et de la structure;
- l'étude de la stabilité des poutres lors de la construction, prenant en compte des effets suivants :
 - le vent;
 - les changements de température et le rayonnement solaire;
 - les imperfections géométriques.

1.4 Organisation du rapport

Le présent rapport contient un résumé des principaux résultats et observations découlant des travaux réalisés et les conclusions sur les causes probables de l'effondrement des poutres.

Dans le chapitre 2, on décrit la structure et les étapes de construction du pont en insistant sur les éléments qui sont associés à l'effondrement des poutres. On présente également dans ce chapitre les conditions qui prévalaient le 18 juin 2000 et au cours des jours précédents.

L'effondrement des poutres et les dommages causés à la charpente sont décrits au chapitre 3. Les conditions climatiques et sismiques qui prévalaient dans les jours précédents l'accident sont résumées au chapitre 4.

Au chapitre 5, on présente brièvement les études qui ont été réalisées pour identifier les causes de l'effondrement. Les résultats de ces études sont présentés et discutés et on conclut sur les causes probables de l'effondrement. Finalement, le comité présente ses conclusions au chapitre 6.