

*L'analyse économique des impacts
liés à un affaissement de ponceau*

Joseph Perrin jr

Analyse produite à l'intention des
participants au congrès de l'AQTR

Avril 2006

Joseph Perrin jr
Professeur adjoint de recherche
Département de génie civil, University of Utah
Tél. : (801) 949-0348 Adresse:
Fax : (801) 582-6252 122 rte Central Campus sud, local 104
Courriel : perrin@civil.utah.edu Salt Lake City, Utah 84112-0561 États-Unis

Mots clés : affaissements de ponceau, infrastructure vétuste, cratères

RÉSUMÉ

La corrosion des ponts et la dégradation des routes et des services publics préoccupent de plus en plus les organismes concernés. Les affaissements de canalisation de ponceau sous la chaussée sont tout aussi inquiétants, car leurs conséquences désastreuses prennent la forme de cratères, de routes disloquées et d'inondations. Les coûts subséquents sont élevés pour :

- les organismes gouvernementaux, qui doivent réparer et remplacer les tuyaux en toute urgence;
- les propriétaires fonciers, qui doivent assumer les dommages consécutifs à une inondation;
- les automobilistes, dont les déplacements sont retardés.

Ces bris soulèvent aussi des questions en matière de sécurité et de fiabilité. Souvent, on ne tient pas compte des coûts réels découlant du remplacement du matériel et des délais subis par les usagers dans l'analyse des coûts du cycle de vie (LCCA). Par conséquent, il serait utile d'adopter une méthodologie permettant d'intégrer ces coûts au processus habituel de production d'une LCCA. Les enquêtes réalisées par les organismes gouvernementaux laissent voir que peu d'organismes utilisent une quelconque forme de LCCA pour choisir le matériau des canalisations, alors que par ailleurs elles démontrent une hausse du nombre d'affaissements dans leur région. Dans le cadre de la présente communication, on se penche sur plusieurs cas récents de ponceaux affaissés, afin de présenter les coûts et les circonstances de ces bris de ponceaux. Cette étude conclut qu'un meilleur suivi des affaissements de ponceaux aiderait les organismes à mieux comprendre les risques associés à ce genre de dommages. Pareil suivi permettrait aussi de reconnaître les défauts les plus fréquents et de mieux quantifier les coûts afférents à ces bris. En se fondant sur l'information obtenue grâce au suivi, on pourrait également incorporer un facteur de risque aux calculs des LCCA ultérieures.

Introduction

De nos jours, la vétusté de notre infrastructure est particulièrement préoccupante. De nombreuses routes et autoroutes ont été construites dans les années 1950 et 1960. La durée de vie utile des ponceaux installés à l'époque était de 30 à 50 ans. Bon nombre de ces ponceaux n'ont jamais été remplacés, et leur durée utile prévue a été atteinte, voire a été dépassée à bien des endroits, et pourtant, aucun plan de remplacement n'est sur la table. Les affaissements de ponceau ne cessent de se multiplier, et leur remplacement se fait dans le désordre, les réparations d'urgence se révélant beaucoup plus dispendieuses et ennuyeuses pour les automobilistes que les réparations correctement planifiées et effectuées.

Aux États-Unis, l'État et le gouvernement fédéral ont consenti d'importants investissements pour les routes et les ponts et l'ensemble du système de transport, pour des motifs tant économiques que militaires. Les routes et les ponts sont les parties les plus visibles, parce qu'ils sont habituellement faciles à évaluer dans le cadre d'une inspection. Les éléments routiers essentiels qui sont toutefois souvent négligés, ce sont les milliers de ponceaux vétustes dissimulés sous la chaussée.

La présence de ponceaux est parfois indiquée dans la catégorie des ponts, mais pas toujours, tout dépendant de l'interprétation qu'en fait l'organisme responsable. On pense souvent que les ponts doivent enjambrer des routes ou des portions de terrain. Parfois, seules certaines grosseurs de ponceaux se voient accolées le terme de pont. Chaque organisme décide s'il doit ou non inclure les ponceaux dans la catégorie des ponts. Parce que la classification des ponceaux souffre d'un tel manque d'uniformité, ceux-ci sont quelquefois un élément vital de l'infrastructure de transport que l'on omet de prendre en compte. C'est pourquoi il est important de définir les avantages d'inclure la gestion des ponceaux dans les procédures de l'administration publique et d'établir le processus pour ce faire.

Un organisme qui surveille ses ponceaux et connaît leur état profite des coûts de réparation réduits qui découlent d'une réduction considérable des bris, voire de leur disparition. Les automobilistes bénéficient eux aussi d'un système de gestion des ponceaux efficace, puisque l'on minimise ainsi les délais pour les usagers de la route. La sécurité est une autre raison importante d'inspecter les ponceaux. Les affaissements peuvent creuser de profonds cratères qui, sur l'échelle des désastres, s'apparentent à l'effondrement d'un pont. Si les ponts se mettaient à s'écrouler, il serait normal de trouver la chose alarmante. On devrait trouver tout aussi inquiétant les affaissements de plus en plus fréquents de la chaussée qui se produisent depuis quelques années. Bien que les coûts d'inspection et d'entretien des ponceaux imposent un fardeau financier supplémentaire aux organismes, c'est une option plus rentable que les réparations d'urgence consécutives à des bris inopinés de ponceau.

La présente communication a pour but de :

- quantifier les répercussions économiques des affaissements de ponceau, dont les coûts afférents aux délais pour les usagers de la route;
- déterminer si les risques d'affaissements constituent un critère de sélection;
- voir s'il est nécessaire de documenter les affaissements.

Les coûts des délais sont associés aux usagers de la route dont les déplacements sont ralentis en raison d'une fermeture de route ou d'un détour. Ces coûts peuvent être élevés, et il faudrait envisager de les incorporer à l'analyse des coûts du cycle de vie (LCCA). Différents matériaux de canalisation présentent différentes durées utiles prévues. À mesure que se rompent des ponceaux, on veut surtout savoir si les organismes gouvernementaux se sont dotés d'un programme de surveillance et de remplacement des ponceaux, qui reposerait soit sur l'inspection, soit sur la fin du cycle de vie des ponceaux. En l'absence d'un plan assorti de mesures appropriées, les ponceaux défectueux devront être remplacés sur le mode de l'urgence plutôt qu'à un rythme normal. En se penchant sur les études de cas où l'on compare le remplacement d'urgence au remplacement normal, il est possible de définir un facteur de remplacement d'urgence. Dans le présent document, on n'aborde pas les questions de durée utile prévue au sein de l'industrie, on veut plutôt établir les coûts afférents aux retards subis par les usagers de la route ainsi que les coûts de remplacement en fonction d'une durée utile prévue hypothétique. Cela permet de mieux comparer les matériaux de canalisation en regard des coûts.

Les canalisations de ponceau peuvent être réparties en deux catégories : les conduites souples et les conduites rigides. Les conduites souples comprennent les tuyaux en plastique et un éventail de tuyaux métalliques et métallisés. Les conduites rigides comprennent les tuyaux de béton armé et les tuyaux de

béton non armé. La résistance structurale de la majorité des conduites souples découle du transfert de la charge dans le sol environnant. En revanche, dans le cas des conduites rigides, c'est le tuyau lui-même qui supporte la plus grande part de l'effort structural, alors qu'une partie bien moindre de la charge est transférée au sol environnant. Bien qu'il incombe à l'organisme directeur de décider du type de canalisation de ponceau qui sera installé, de nombreux organismes n'ont pas établi de différence qualitative entre les types de tuyaux. Les coûts d'installation varient selon le matériau employé, et les organismes choisissent l'option la moins coûteuse. C'est toutefois une décision à court terme, qui ne tient pas compte des coûts à long terme, d'où la nécessité d'envisager une LCCA pour calculer le coût total.

Aux fins de la présente communication, on a demandé aux organismes gouvernementaux américains de répondre à un questionnaire, dans le but de connaître leurs pratiques en matière de ponceaux. Les questionnaires ont servi à mieux comprendre quels sont les procédures et les critères que retiennent les divers organismes pour choisir le type de conduites qu'ils jugent le plus approprié pour leurs ponceaux. Cette enquête devait aussi permettre d'en apprendre davantage sur les méthodes de compilation de l'information qu'utilise chaque organisme pour faire le suivi des affaissements sur son territoire. On a examiné les études de cas liées à des affaissements de ponceau, de façon à évaluer le véritable coût de l'installation d'une canalisation de ponceau dans une situation d'urgence par rapport à une installation prévue en temps normal. Il faut tenir compte du matériau des conduites dans toute analyse des risques. Une fois que l'on aura établi le contexte précis des futurs bris de ponceau et qu'un échantillon statistique pourra être déterminé, une évaluation des risques pourra permettre de quantifier les éventuels dangers, et un facteur de risque pourra être attribué à chaque matériau de canalisation. Cela ne devrait pas empêcher qui que ce soit d'utiliser un quelconque type de tuyau par rapport à un autre, mais on pourra au moins évaluer plus facilement les avantages et les inconvénients ainsi que les compromis possibles entre les coûts d'installation initiale et la fiabilité et les risques ultérieurs.

ANALYSE DOCUMENTAIRE

Dans le cadre d'une LCCA courante, on pose certaines hypothèses sur la durée de vie utile du matériau dont sont composées les conduites. Cet aspect continue de poser problème, car on n'a pas établi de durée de vie théorique pour chacun des matériaux employés pour les canalisations. Certains organismes, comme le Corps de génie militaire des États-Unis, l'*American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) et l'*American Society for Testing and Materials* (ASTM), ont formulé des recommandations destinées à aider les états et les villes à choisir les canalisations de ponceau, mais chaque organisme énonce aussi ses propres hypothèses de durée utile prévue en se fiant à ses expérience ou aux publications sur le sujet.

Le département des Transports du Missouri [1, 2] a évalué 3 897 canalisations de ponceaux sur le terrain, dont 1 642 ponceaux faits avec des tuyaux de béton armé (RCP) et 2 255 ponceaux faits avec des tuyaux de métal ondulé (CMP). Dans le cadre de cette étude, on a stratifié les ponceaux selon leur âge, en établissant que 45,6 % des CMP devaient être remplacés, alors que 0,3 % des RCP nécessitaient des travaux. La détérioration des CMP est en partie attribuable à une modification de l'épaisseur du métal. Selon une étude du département des Transports du Kansas [3], on a pu observer et quantifier une dégradation plus rapide des CMP depuis la seconde moitié des années 1970, quand les normes ont été modifiées pour autoriser l'utilisation de feuilles de métal plus minces pour fabriquer les tuyaux. Même quand ces tuyaux de métal moins épais bénéficient d'un appui structural adéquat dans le sol où ils se trouvent, la nouvelle norme a eu pour effet d'abrèger la durée de vie théorique des tuyaux de près de 20 ans, puisqu'une moins grande quantité de métal se corrode à la même vitesse de corrosion.

Lorsque ces conduites atteignent la fin de leur vie utile, les organismes devraient les remplacer. Sinon, ces tuyaux finiront par s'effondrer, rendre la circulation dangereuse et créer des embouteillages. Il faudrait établir le nombre d'organismes qui, dans les faits, inspectent les ponceaux et font le suivi de leur âge et de leur état, et qui assurent correctement l'entretien et le remplacement des ponceaux.

Le Corps de génie militaire des États-Unis [4] a avancé des recommandations sur la durée de vie théorique des conduites en fonction du matériau employé dans un rapport du mois de mars 1998. Voici quelques extraits de ce rapport :

- Durée de vie utile : « Pour les grands projets d'infrastructure, les concepteurs devraient prévoir une durée de vie utile minimale de 100 ans en établissant le cycle de vie théorique. »

- Béton : « Dans la plupart des études, on estimait que la vie utile des tuyaux de béton se situait entre 70 et 100 ans. Sur neuf départements chargés du système routier de l'État, trois ont annoncé une vie utile de 100 ans, cinq états ont parlé de 70 à 100 ans, et un état a indiqué 50 ans. »
- Acier : « Les tuyaux de métal ondulé font habituellement défaut à la suite de la corrosion de l'intérieur ou de l'extérieur du tuyau. Un revêtement correctement appliqué peut prolonger la vie utile du produit jusqu'à au moins 50 ans dans la plupart des milieux. »
- Aluminium : « Les tuyaux d'aluminium sont habituellement plus affectés par la corrosion sur la surface qui est en contact avec le sol que la corrosion de la surface intérieure du tuyau. Le rendement à long terme est difficile à prévoir, car il n'y a pas assez longtemps que ce type de canalisation est utilisé, mais le concepteur ne devrait pas prévoir une vie utile du produit supérieure à 50 ans. »
- Plastique : « De nombreux matériaux différents se retrouvent dans la catégorie générale du plastique. Chacun de ces matériaux est associé à des applications qui lui sont particulières, et qui peuvent convenir ou pas à l'usage qu'on veut en faire. L'historique de rendement des tuyaux de plastique est limité. Un concepteur ne devrait pas prévoir une vie utile du produit supérieure à 50 ans. »

Cependant, l'enquête dont il est question plus avant dans le présent document présente toutes sortes de durées utiles hypothétiques selon les matériaux de tuyau qu'utilisent ces organismes.

L'AASHTO, dans son *Model Drainage Manual* [5], publié en 1991, décrit également la méthode recommandée en matière de sélection et de conception de ponceaux. En plus de recommander des critères relatifs à la conception hydraulique générale, le *Model Drainage Manual* de l'AASHTO présente aussi des recommandations pour ce qui concerne l'analyse des coûts et des risques liés à la sélection du matériau. Cela comprend :

- Le choix du matériau doit être fondé sur certaines dimensions de la vie utile, dont l'abrasion et la corrosion.
- Les ponceaux doivent être situés et conçus de façon à présenter le moins de risques possible pour la circulation et les gens.
- L'ampleur de la documentation associée à chaque site de ponceau devrait être à la mesure des risques et de l'importance de la structure. Les données et les calculs conceptuels doivent être regroupés de façon ordonnée et conservés à des fins de consultation ultérieure, comme prévu dans le chapitre sur la documentation.
- Les ponceaux doivent être régulièrement inspectés et entretenus.
- Au moment de choisir le matériau, on doit tenir compte des coûts de remplacement, du niveau de difficulté de la construction et du retard dans l'écoulement du trafic.
- Il ne faut pas faire du coût de revient de base le seul critère de sélection.
- On doit choisir l'option qui intègre le mieux les aspects techniques, économiques et politiques.
- Le ponceau sélectionné doit satisfaire aux critères structuraux et hydrauliques établis, et ce, en tenant compte des éléments suivants :
 - coûts de construction et d'entretien
 - risques de bris ou de dommage aux biens
 - sécurité routière
 - aspects environnementaux ou esthétiques
 - aspects politiques ou vexatoires
 - exigences relatives à l'utilisation des sols

L'information présentée dans le *Model Drainage Manual* de l'AASHTO confirme la nécessité de tenir compte de tous les coûts, ce qui comprend les délais pour les usagers de la route et les risques d'affaissements. Les résultats obtenus sur le terrain constituent la principale mesure d'une évaluation des risques, car ils décrivent le rendement de la conduite, peu importe son matériau ou les défauts d'installation. Quand l'installation est boiteuse, cela pose un risque intrinsèque, qu'il est possible d'établir à la lumière des comptes rendus antérieurs sur le rendement. Dans la mesure où les organismes

gouvernementaux ne financent à peu près pas les inspections en construction, la qualité de l'installation dépend grandement des procédures de contrôle de la qualité de l'entrepreneur. Il est par conséquent indispensable de faire le suivi des bris et de documenter le rendement des canalisations à l'échelle nationale, afin de savoir quel est le rendement qu'offrent les divers matériaux de tuyau.

On tient évidemment compte du coût des matériaux dans l'analyse des coûts qui accompagne le processus de sélection d'un ponceau. Parmi les autres coûts, mentionnons l'excavation, le remblayage, le compactage, la main-d'oeuvre, le contrôle de la circulation et les travaux de voirie. Quand on ne tient compte que du coût des matériaux au moment de l'installation initiale, on néglige souvent les conséquences ultérieures d'un remplacement du tuyau.

ANALYSE PROPOSÉE DES COÛTS DU CYCLE DE VIE

Dans la présente section, on décrit une méthode qui a été mise au point pour calculer le coût total (T) d'installation d'un ponceau pour un horizon (H) donné, qui est habituellement de 100 ans. Cette méthode s'inspire d'une méthode de durée utile établie en génie de l'estimation des coûts [6]. Dans l'équation 1, le coût total (T) est la somme des coûts d'installation ($I_{H(L)}$) du ponceau en regard de tous les aspects de l'installation pour l'année cible ainsi que des coûts afférents aux délais consécutifs pour les usagers (D).

Coût total (T) = coûts d'installation/remplacement ($I_{H(L)}$) + délais pour les usagers (D).....équation 1

Coûts d'installation et de remplacement

Une explication des coûts d'installation et de remplacement est fournie ci-dessous et illustrée dans l'équation 1a. Les coûts d'installation et de remplacement (I_H) sont calculés à partir du coût de l'installation initiale (I_i) selon la valeur actuelle, puis, extrapolés à un certain taux d'actualisation (r) pour tous les éventuels remplacements au cours de l'horizon H, en fonction de la durée utile hypothétique (L) du ponceau. Veuillez prendre note que le taux d'actualisation correspond à l'écart entre les taux d'inflation et d'intérêt. Par conséquent,

$I_{H(L)} = \sum_{k=0}^{n-1} I_i (1+r)^{-kL}$ où, $n = (H/L) - 1$ équation 1a

Dans le tableau 1, on présente, par exemple, le coût d'installation sur un horizon de 100 ans de tuyaux associés à des cycles de vie différents. Les coûts sont établis pour des canalisations dont les durées utiles hypothétiques sont de 25, 50 et 100 ans, en se fondant sur un taux d'actualisation de 4 % [7]. On suppose de plus que le coût d'installation initiale est à peu près le même pour tous les tuyaux.

TABLEAU 1 : Coût (en dollars) de l'installation d'un ponceau selon un horizon de 100 ans

Horizon (H)		100 ans		
Durée utile hypothétique (L) du ponceau		25 ans	50 ans	100 ans
Nbre de remplacements en 100 ans ($n=(H/L)-1$)		3	1	0
Coûts (\$)	Installation initiale I_i	$I_{H(25)}$	$I_{H(50)}$	$I_{H(100)}$
	5 000	148 589	40 533	5 000
	10 000	297 178	81 087	10 000
	25 000	742 944	202 667	25 000
	50 000	1 485 889	405 334	50 000
	75 000	2 228 833	608 001	75 000
	100 000	2 971 777	810 668	100 000

Coûts afférents aux délais pour les usagers de la route

Les coûts des délais (D) que subissent les usagers de la route pendant l'installation du ponton sont calculés en fonction des éléments suivants :

- Le débit journalier moyen de l'année (DJMA) au cours de laquelle le ponton est installé.
- La hausse moyenne du retard ou de la congestion que l'installation cause par véhicule et par jour (« t » exprimé en heures).
- La durée du projet (d) en nombre de jours.
- Le délai moyen exprimé en dollars l'heure pour les personnes (c_v).
- Le délai moyen exprimé en dollars l'heure pour les marchandises (c_f).
- La proportion de la circulation attribuable aux véhicules transportant des passagers (v_v).
- Le taux d'occupation des véhicules (v_{of}).
- La proportion de la circulation attribuable aux camions (v_f).

Veuillez remarquer que le facteur k relie tous les coûts afférents aux délais subis par les usagers au moment précis de l'année de l'affaissement, alors que les variables peuvent varier dans l'avenir.

$$D = \sum_{k=0}^n [DJMA_k * t_k * d_k * (c_{vk} * v_{vk} * v_{ofk} + c_{fk} * v_{fk})] \dots\dots\dots \text{équation 1b}$$

Par exemple, les délais quotidiens subis par les usagers selon différents niveaux de DJMA et de retard sont indiqués dans le tableau 2 au moyen des variables suivantes de l'équation :

Coûts moyens afférents aux délais établis en dollars [8] :

$c_v = 17,18$ \$ par heure-personne de retard
 $c_f = 50$ \$ par heure-marchandises de retard

Hypothèses de circulation type [9] :

$v_v = 97$ % de véhicules transportant des passagers
 $v_f = 3$ % de camions
 taux d'occupation des véhicules = 1,2 personne par véhicule

TABLEAU 2 : Délai quotidien pour les usagers selon divers DJMA

Niveau de DJMA	Délais croissants				
	10 minutes	20 minutes	30 minutes	1 heure	2 heures
5 000	17 915 \$	35 829 \$	53 744 \$	107 488 \$	214 975 \$
10 000	35 829 \$	71 658 \$	107 488 \$	214 975 \$	429 950 \$
20 000	71 658 \$	143 317 \$	214 975 \$	429 950 \$	859 901 \$
30 000	107 488 \$	214 975 \$	322 463 \$	644 926 \$	1 289 851 \$
50 000	179 146 \$	358 292 \$	537 438 \$	1 074 876 \$	2 149 752 \$
75 000	268 719 \$	537 438 \$	806 157 \$	1 612 314 \$	3 224 628 \$
100 000	358 292 \$	716 584 \$	1 074 876 \$	2 149 752 \$	4 299 504 \$

ENQUÊTES

Les organismes gouvernementaux américains ont reçu un questionnaire d'enquête générale. Cette enquête avait pour but de recueillir des renseignements pour établir si une LCCA ou une évaluation des risques est réalisée dans le cadre des processus de sélection des matériaux de ponton, et afin de savoir si ces organismes utilisent les critères de sélection des matériaux de tuyau recommandés dans le *Model Drainage Manual* [5] de l'AASHTO, publié en 1991. On leur a aussi demandé s'ils tiennent compte des coûts des remplacements d'urgence et des coûts associés aux retards que subissent les usagers. Les organismes devaient de plus indiquer s'ils utilisent d'autres critères, quels qu'ils soient, pour choisir le matériau de tuyau avant de procéder à l'installation. Dans le questionnaire, on priait également les organismes de fournir l'information dont ils disposent sur tous les bris de ponton survenus depuis les dix dernières années et de décrire leurs procédures actuelles de documentation des affaissements de ponton.

Quand un organisme avait documenté les affaissements de ponceau sur son territoire au cours de la dernière décennie, on lui demandait de remplir un questionnaire plus précis. Ce second questionnaire permettait d'obtenir plus de détails sur un affaissement particulier, comme son emplacement, la durée des réparations, les caractéristiques du ponceau et les coûts de réparation ou de remplacement du ponceau en question. Les figures 1 et 2 présente des modèles du questionnaire général et du questionnaire portant sur un bris particulier, utilisés pour cette étude.

Réalisez-vous au moins une analyse des coûts au moment de la conception d'une canalisation de ponceau?
___ oui ___ non

Dans l'affirmative, quels sont les taux d'intérêt et d'inflation que vous utilisez?

I = taux d'inflation _____%

i = taux d'intérêt _____%

Durée utile hypothétique selon le matériau de tuyau (en années)

_____ RCP _____ NRCP _____ CMP _____ HDPE _____ PVC _____ VCP

Coût d'installation estimatif par pied linéaire

_____ RCP _____ NRCP _____ CMP _____ HDPE _____ PVC _____ VCP

Dans le cadre de l'analyse des coûts, tenez-vous compte des risques d'affaissements recommandés en 1991 dans le *Model Drainage Manual* de l'AASHTO? ___ oui ___ non

Tenez-vous compte des coûts accrus d'un remplacement d'urgence à la suite d'un affaissement de ponceau?

_____ oui ___ non

Tenez-vous compte des coûts des retards causés par les détours et les délais causés par un affaissement de ponceau? ___ oui ___ non

Questions relatives au système :

Avez-vous documenté un ou plusieurs affaissemenet de ponceau au cours de la dernière décennie?

Utilisez-vous d'autres critères de seuil pour exiger un matériau de tuyau plutôt qu'un autre pour l'installation initiale?

_ DJMA

_ Coût d'installation initiale

_ Durée utile hypothétique du tuyau

_ Essai de flexion

_ Autre : _____

FIGURE 1 : Modèle de questionnaire général

Personne-ressource – nom : _____ entité : _____
adresse : _____ ville : _____ État : _____ code postal : _____
n° tél. : _____ n° fax : _____ courriel : _____

Emplacement de l'affaissement de ponceau – route : _____ borne milliaire (kilométrique) : _____
ville la plus proche : _____ État : _____ veuillez joindre une carte
date de l'affaissement de ponceau : _____ nombre de voies endommagées : _____
date de la réouverture initiale : _____ nombres de voies provisoirement ouvertes : _____
date de la réparation finale : _____ longueur du détour : _____
débit journalier moyen (DJM) sur l'autoroute affectée par l'affaissement de ponceau : _____
proportion de poids lourds sur l'autoroute affectée par l'affaissement de ponceau : _____
Temps de déplacement moyen dans le détour (pendant que le ponceau était inutilisable et la circulation était
gestionnée) : _____
Temps de déplacement moyen des camions dans le détour (s'il diffère des autres véhicules) : _____

Trajet du détour (décrire et si possible joindre une carte) : _____

Décrire la cause probable de l'affaissement : _____

Caractéristiques du tuyau

Type de tuyau : RCP NRCP CMP HDPE PVC VCP
Forme du tuyau : circulaire ovale Taille du tuyau : _____
Âge du tuyau (si l'âge est estimatif, prière de l'indiquer) : _____
Type et taille du nouveau tuyau : _____

Coûts afférents à l'affaissement

Coût initial de l'installation du ponceau : _____

Coût de réparation et de remplacement du ponceau (indiquez la cause des coûts imprévus) : _____

Coût du nouveau ponceau : _____

Coût du contrôle de la circulation : _____

Coûts salariaux (y compris le surtemps en supervision gouvernementale et construction) : _____

Coût des travaux de réfection de la chaussée : _____

Coût des dommages causés par l'inondation résultant de l'affaissement du ponceau : _____

Nombre d'accidents causés par l'affaissement : dommages aux biens : _____ blessé(s) : _____

décès : _____

Autres coûts indirects (perte commerciale, etc.) : _____

Coût total : _____

Est-ce que l'entité gouvernementale avait un poste budgétaire pour remplacer les installations actuelles?

Veuillez ajouter tout autre aspect de cet affaissement de ponceau qui pourrait être pertinent et utile :

FIGURE 2 : Modèle de questionnaire portant sur un affaissement particulier

Résultats de l'enquête

Nous avons dégagé les observations suivantes à partir des résultats de l'enquête à laquelle 25 organismes ont répondu :

- Seulement quatre des 25 organismes ayant répondu à l'enquête affirment qu'ils exécutent une analyse de moindre coût relativement au choix du matériau des canalisations.
- Divers organismes s'appuient sur des cycles de vie différents pour chaque matériau. La durée utile prévue des tuyaux de béton armé (RCP) et des tuyaux de béton non armé (NRCP) est de 50 à 100 ans, voire plus, celle des tuyaux de métal ondulé (CMP) va de 35 à 50 ans, celle des tuyaux en polyéthylène à haute densité (HDPE) varie de 30 à 100 ans et celle des canalisations en polychlorure de vinyle (PVC) s'établit à 50 ans. Aucun répondant n'utilise de tuyaux en argile vitrifiée et, par conséquent, nous n'avons aucune donnée concernant ce genre de canalisation. Le tableau 3 montre la distribution observée de la durée utile prévue des divers matériaux de tuyau.

TABLEAU 3 : Distribution de la durée utile prévue selon l'enquête

Type de tuyau	RCP	NRCP	CMP	HDPE	PVC
Durée utile prévue					
Moins de 40 ans			1		
40 à 50 ans			3		
50 à 60 ans	2	4	5	3	3
60 à 70 ans	2				
70 à 80 ans	8	2	4	3	1
80 à 90 ans	1			1	1
90 à 100 ans					
100 ans et plus	4	2		2	1
Total	17	8	13	9	6

- Cinq des 25 organismes fournissent des données relatives aux coûts des canalisations. Les résultats montrent que les coûts varient selon l'organisme ainsi que selon le matériau et la dimension des tuyaux. Certains organismes mentionnent aussi que les coûts des conduites sont négligeables comparativement à ceux associés aux travaux de terrassement, au contrôle de la circulation, à l'installation et à la main-d'œuvre.
- Seulement deux des organismes répondants évaluent le risque de bris quand ils font une analyse des coûts, comme recommandé dans le *Model Drainage Manual* publié par l'AASHTO en 1991.
- Seulement cinq organismes prennent en compte les coûts relatifs à un remplacement d'urgence. Sept organismes tiennent compte des coûts encourus par les usagers lors de l'affaissement de ponceau. Cela prête à confusion puisque les responsables de seulement quatre états déclarent exécuter une LCCA.
- Quinze des 25 organismes répondants signalent des affaissements de ponceaux sur leur territoire. Cependant, le détail des comptes rendus de ces affaissements varie beaucoup d'un organisme à l'autre. La plupart des documents écrits relatifs à des affaissements de ponceaux particuliers ne sont habituellement pas disponibles.
- Certains organismes ne permettent pas l'utilisation d'un certain type de tuyau lorsque le DJMA dépasse un certain seuil. Compte tenu des réponses, 42 % des organismes affirment que le DJMA est un facteur qui influe sur le choix des matériaux de tuyau, et il arrive souvent qu'ils permettent seulement l'utilisation de tuyaux rigides dans le cas de routes à fort débit journalier moyen annuel.

Cela montre que les risques d'affaissements et les retards infligés à la circulation sont considérés de manière indirecte en choisissant les conduites, même en l'absence d'une LCCA officielle.

Vous trouverez ci-après certains commentaires formulés dans le cadre de l'enquête.

- « Les affaissements subis récemment ont stimulé les efforts visant à élaborer un inventaire plus détaillé des ponceaux. Nous avons commencé à utiliser des caméras vidéo de manière limitée pour réaliser une inspection plus approfondie des endroits problématiques connus. En outre, 'L'ÉTAT' négocie présentement le contenu d'un permis fédéral de qualité de l'eau, et nous nous attendons à ce que les modalités d'inspection et d'entretien des ponceaux soient définies en relation avec ce permis. »
- « Il y a tout près de dix ans, nous avons mis en œuvre un programme d'inspection des petites structures au sein du service responsable des ponts de 'L'ÉTAT' lorsqu'il est devenu apparent que beaucoup de structures routières de 'L'ÉTAT' ne correspondaient pas à la définition fédérale de ce qu'est un pont (c'est-à-dire, une structure de 6,1 mètres (20 pieds) et plus) et qu'elles ne faisaient pas l'objet d'un inventaire, d'une inspection, d'une évaluation et d'un entretien systématiques.
- « Force est de reconnaître que les ponceaux et systèmes de drainage sont vétustes, et qu'il n'existe pas de programme à l'échelle de l'État pour produire un inventaire et une évaluation de ceux-ci. »
- « Nos pratiques d'inspection et de gestion des ponceaux d'une largeur de 122 cm (48 po) et plus constituent une mesure proactive pour identifier les structures qui doivent être réparées ou remplacées. Nous donnons des consignes d'entretien aux équipes responsables en fonction des résultats de l'inspection. Les travaux d'entretien des ponceaux prennent pour la plupart place à la suite de problèmes particuliers. En règle générale, nous procédons par tubage, alors que nous insérons un tuyau d'un diamètre légèrement inférieur dans un ponceau de métal ondulé atteint par la rouille. Quand nous ne pouvons pas utiliser cette approche, nous sortons le ponceau de terre, et nous le remplaçons. »

Il est important de souligner que l'enquête rend compte des opinions des participants et non pas nécessairement de la situation véritable. La diversité des réponses concernant la durée utile prévue d'un tuyau pour un matériau précis est éloquent à cet égard. Notre enquête demeure néanmoins très utile, dans la mesure où elle fait ressortir les perceptions communes aux divers organismes et leur démarche de sélection des canalisations. Elle démontre aussi que très peu d'organismes réalisent une LCCA conformément aux recommandations de l'AASHTO, mais que près de la moitié d'entre eux optent naturellement pour certains types de tuyau pour les routes à fort débit journalier moyen annuel. Cela illustre les avantages inhérents qui sont perçus, c'est-à-dire diminuer les risques de bris et utiliser des matériaux plus durables pour les ponceaux des artères les plus fréquentées.

ÉTUDES DE CAS

Les bris constituent un problème grandissant partout aux États-Unis. M. Perrin [13] a identifié un certain nombre de défauts dans le réseau routier américain, qui ont provoqué des affaissements et des dommages infrastructurels. On mentionne en outre que les coûts afférents aux usagers de la route sont souvent ignorés dans la comptabilisation des coûts relatifs aux bris de ponceau, même si ceux-ci occasionnent des détours et des retards de plusieurs heures sur les principales autoroutes. Nous décrivons ci-dessous quelques-uns des affaissemnts de ponceaux les plus récents et les plus notables. Voici donc la description d'un certain nombre de bris de ponceau qui sont survenus ici et là aux États-Unis comme au Canada.

- Autoroute I-70, à l'est de Vail, Colorado
Un ponceau s'est effondré sous l'autoroute I-70 le 1^{er} juin 2003. Cette route affiche un débit journalier moyen (DJM) de 20 950 véhicules, incluant 12 % de poids lourds. Cet affaissement a endommagé quatre voies de circulation, deux dans chaque direction, et obligé les usagers à effectuer un détour de deux heures sur 86,9 kilomètres (54 milles) par le biais d'une route sinueuse à deux voies passant par Leadville. Deux voies ont été rétablies temporairement après quatre jours, la limite

de vitesse ayant été abaissé de 88,5 km/h (55 mi/h) à 56,3 km/h (35 mi/h). La réparation complète a exigé 49 jours et s'est terminée le 20 juillet 2003. Le bris est survenu lors d'un gros orage qui a provoqué l'affaissement d'un tuyau de métal ondulé corrodé d'un diamètre de 180 cm (66 po) et d'une longueur allant de 25,9 m à 30,5 m (85 et 100 pi). L'âge approximatif de la canalisation était de 35 à 60 ans. La conduite détruite a été remplacée par un tuyau circulaire identique de métal ondulé, de même diamètre. La défaillance du ponceau a aussi endommagé des rues urbaines et 28 maisons (deux d'entre elles ayant subi des atteintes structurelles). La facture totale du bris de ce ponceau s'est élevée à 4,2 millions de dollars.

- Autoroute I-480, borne milliaire 22,16, près de Maple Heights, Ohio
Un ponceau s'est effondré sous l'autoroute I-480 le 14 décembre 2001. Cette route a un DJM estimatif de 167 600 véhicules, incluant 8 % de poids lourds. Une voie a été endommagée, mais la circulation a pu être maintenue à la suite de la fermeture d'autres voies sur une certaine distance. La réparation a nécessité huit jours et a été achevée le 22 décembre 2001. Le bris était le résultat de l'affaissement d'un tuyau de métal ondulé d'un diamètre de 150 cm (60 po). L'âge approximatif de la canalisation était de 50 à 60 ans. La conduite détruite a été remplacée par un tuyau de béton armé de même diamètre. Les coûts de remplacement du ponceau ont totalisé 384 000 \$. Un entrepreneur privé aurait vraisemblablement installé la canalisation originale durant l'aménagement d'un quartier résidentiel au sud de l'autoroute. Lors de l'élargissement de celle-ci, la conduite existante a été prolongée par le département des Transports de l'Ohio. De surcroît, on a ajouté une couche de remblai par-dessus le ponceau, le soumettant à une charge encore plus grande. La dilatation des joints du tuyau aurait permis l'infiltration du matériau de remblai, diminuant ainsi la résistance à la charge de celui-ci.
- Route d'état n° 79, borne milliaire 1,63, près du village de Buckeye Lake, Ohio
Un ponceau s'est effondré sous la route d'État n° 79 le 24 juin 2003. Cette route a un DJM estimatif de 5 000 véhicules, incluant 30 % de poids lourds. Le bris a endommagé deux voies et contraint les usagers à un détour de 4,8 km (3 mi). Cette déviation prenait environ 15 minutes aux automobilistes et 20 minutes aux camionneurs. La réparation a duré six jours et a été achevée le 30 juin 2003. Le bris était le résultat de l'affaissement d'un tuyau de métal ondulé corrodé d'un diamètre de 76,2 cm (30 po), et il a occasionné la perte d'une section de 15,2 m (50 pi) de celui-ci. L'âge approximatif de la canalisation était de 25 à 30 ans.
- Route d'état n° 173, West Jordan, Utah
Un ponceau s'est effondré sous la route d'État n° 173 le 16 juin 2003. Cette route a un DJM de 38 675 véhicules, incluant 3 % de poids lourds. Le bris a endommagé deux voies en direction est et a contraint les usagers à un détour de 1,7 km (1,05 mi). Aux heures de pointe, le trajet était allongé de 30 minutes et, aux heures creuses, il était allongé de 10 minutes. Le bris était le résultat de l'affaissement dû à la rouille d'un tuyau elliptique de métal ondulé d'un diamètre équivalant de 180 cm (72 po). L'âge approximatif du tuyau était de 20 ans. La réparation a nécessité cinq jours et a été réalisée à l'aide d'un tuyau de métal ondulé de même dimension. Les ouvriers de voirie voulaient installer un tuyau de béton, mais ils ont dû utiliser une conduite de métal ondulé pour des raisons de disponibilité.
- Autoroute I-70, tunnel Eisenhower, 96,5 km (60 mi) à l'ouest de Denver, Colorado
Un ponceau s'est effondré tout près du tunnel Eisenhower de l'autoroute I-70 le 12 juin 2003. Cette route a un DJM estimatif de 20 950 véhicules, incluant 12 % de poids lourds. Le bris a endommagé deux voies en direction ouest, et les camions pesant plus de 11 793 kg (26 000 lb) devaient effectuer un détour de 30 minutes. Cette déviation les obligeait à passer par le col Loveland pour traverser les Rocheuses, à une altitude de 3 352 m (11 000 pi). La réparation a nécessité sept jours. Le bris était le résultat de l'affaissement d'un tuyau de métal ondulé corrodé d'un diamètre de 150 cm (60 po). L'âge approximatif du tuyau était de 30 ans. On a réparé le tuyau à l'aide de béton projeté, et le coût de l'opération s'est élevé à 45 000 \$.
- Autoroute I-75, borne milliaire 227, près de Prudenville, Michigan

Un ponceau s'est effondré sous l'autoroute I-75 le 22 avril 2003. Cette route a un DJM estimatif de 5 100 véhicules, incluant 13 % de poids lourds. Le bris a endommagé deux voies et contraint les usagers à un détour de 26,5 km (16,5 mi). Le temps de route pour les véhicules usuels et les camions était allongé de 20 minutes. La réparation a nécessité six jours. Le bris était le résultat de l'affaissement dû à la corrosion excessive d'une arche elliptique de 185,4 cm sur 139,7 cm (73 po sur 55 po) construite à l'aide d'un tuyau de métal ondulé. La défaillance a touché une section de ponceau de 15,2 m (50 pi). L'âge approximatif du tuyau était de 30 ans. La conduite détruite a été remplacée par un tuyau de métal ondulé d'un diamètre de 180 cm (72 po) à un coût de 95 000 \$.

- Autoroute 401, borne kilométrique 325, près de Milton, Ontario, Canada
Le bris de ponceau s'est produit le 9 août 2000. Cette route a un DJM estimatif de 300 000 véhicules, incluant 20 à 25 % de poids lourds. Le bris a endommagé deux voies et contraint les usagers à un détour de 13,5 km (8,4 mi). Ce détour allongeait de quatre heures le déplacement des automobilistes et des camionneurs. La réparation a été achevée le lendemain. Le bris était le résultat de l'affaissement d'un tuyau de métal ondulé d'un diamètre de 76,2 cm (30 po), âgé d'environ 25 ans.
- 19^e rue, Bakersfield, Californie
Un ponceau d'acier ondulé, âgé de trente ans et mesurant 3,7 m (12 pi) de largeur, s'est effondré le 28 octobre 2003 à la suite de la dégradation par corrosion du recouvrement de zinc au sommet du tuyau, ce qui a provoqué un affaissement de terrain. Les coûts estimatifs de la réparation d'urgence se sont élevés à tout près de deux millions de dollars. Quatre véhicules ont été avalés par le cratère, et des gens ont dû abandonner leur véhicule sur place, quand la chaussée s'est mise à se dérober sous eux. La ville de Bakersfield devra dépenser entre 1,5 et 1,7 million de dollars pour empêcher l'effondrement de quatre autres tuyaux métalliques permettant de franchir le canal, afin d'éviter tout affaissement semblable à celui survenu dans la 19^e rue. La figure 3 illustre le cratère qui s'est formé à Bakersfield.



FIGURE 3 : Affaissement de la chaussée à Bakersfield, Californie

- Tout près de Owings Mills Mall, Baltimore, Maryland
 Un cratère de 20 pieds s'est formé le 28 avril 2004 lorsqu'un tuyau de métal ondulé a cédé et qu'un véhicule s'est englouti dans le trou. Une mère de 51 ans et sa fille de 33 ans sont restées prisonnières durant une heure dans ce trou d'une hauteur de deux étages, avant que d'être secourues. Les deux femmes ont dû être transportées d'urgence par hélicoptère vers le centre de traumatologie du Maryland. La figure 4 montre le cratère qui s'est formé à Owings Mills.



FIGURE 4 : Cratère dans la chaussée à Owings Mills Mall, Baltimore, Maryland

- San Diego, Californie
 Le 7 janvier 2005, un tuyau de métal ondulé, attaqué par la rouille, a occasionné l'affaissement d'une section de la Mission Valley Road, une artère très utilisée. Ce boulevard a été fermé trois mois, et la réparation du bris a coûté un million de dollars. Une défaillance, en 1998, avait attiré l'attention sur les ponceaux de San Diego, lorsqu'une canalisation corrodée s'est effondrée et a provoqué la fermeture d'un échangeur de l'autoroute I-15 durant quatre mois. La réparation avait coûté quatre millions de dollars. M. Mark Hosford, le surintendant des travaux publics responsable des conduites pluviales, affirmait : « Nos canalisations de métal ondulé sont en train de s'affaisser à la grandeur de la ville ». [9] Un rapport produit par la ville suggère qu'il faudrait dépenser 30 millions de dollars pour réparer les tuyaux de métal ondulé en mauvais état dans San Diego.
- Trois-Rivières, Québec
 Un ponceau de 25 ans constitué d'un tuyau d'acier galvanisé de 7,6 mètres de largeur et de 5 mètres de hauteur s'est effondré le 14 septembre 2005. Cette défaillance a créé une énorme crevasse de part en part de l'autoroute 40, près de Trois-Rivières. On avait inspecté le ponceau seulement cinq mois auparavant, et il ne figurait sur aucune liste de réfection. En raison de cet affaissement inattendu, les méthodes diagnostiques du ministère des Transports sont mises en doute, puisque le ponceau avait été jugé adéquat lors d'une inspection récente. Les ingénieurs sont en train d'étudier cet effondrement. La figure 5 montre l'affaissement de la chaussée. [10]



FIGURE 5 : Affaissement de la chaussée de l'autoroute 40 en 2005 entre Montréal et Québec

Dans le tableau 4 sont présentés les coûts de remplacement publiés relativement à des bris de ponceau survenus récemment. Ceux-ci correspondent aux coûts réels de réparation, c'est-à-dire, les sommes déboursées directement, et ils ne tiennent pas compte des coûts sociaux et des dépenses encourues par les usagers. Ils n'incluent pas non plus les frais relatifs aux ressources gouvernementales engagées, notamment ceux liés à la main-d'œuvre, au matériel et à d'autres éléments qui n'ont pas été directement imputés à la réparation. Les coûts ci-dessous ont été obtenus auprès d'organes d'information locaux.

TABLEAU 4 : Bris de ponceau et coûts de remplacement afférents

Endroit	Coûts de réparation/remplacement (\$)*
Autoroute I-70, à l'est de Vail, Colorado	4 200 000
Autoroute I-480, borne milliaire 22,16, près de Maple Heights, Ohio	384 000
Route d'État n° 173, West Jordan, Utah	48 000
Autoroute I-70, tunnel Eisenhower, 96,5 km (60 mi) à l'ouest de Denver, Colorado	45 000
Autoroute I-75, borne milliaire 227, près de Prudenville, Michigan	95 000
Muskegon, Michigan	160 000
Timonium, Maryland	500 000
Nashua, New Hampshire	890 000
Comté de DeKalb, Géorgie	176 000
Comté de Gwinnett, Géorgie	475 000
Charlotte, Caroline du Nord	300 000
Hickory, Caroline du Nord	1 500 000
Eau Claire, Wisconsin	800 000
Sioux Falls, Dakota du Sud	500 000
Bakersfield, Californie	2 000 000
San Diego, Californie	1 000 000
University City, Californie	1 300 000

*Comme rapporté par les organes d'information locaux

Le tableau 5 montre les coûts de réparation d'urgence de certains bris et les gains monétaires à long terme liés à l'utilisation d'une canalisation à durée de vie plus longue pour l'installation initiale, ainsi que le ratio coûts-avantages afférent.

TABLE 5 : Données sommaires sur les études de cas de bris

Endroit	I-70-CO	I-480-OH	RE 79-OH	5400 S-UT	I-70-CO Eisenhower	Prudenville- MI	Milton-ON
Taille/type du tuyau	165 cm (66 po), métal ondulé	150 cm (60 po), métal ondulé	75 cm (30 po), métal ondulé	180 cm (72 po), métal ondulé	150 cm (60 po), métal ondulé	ellipse de 185,4 cm sur 139,7 cm (73 po sur 55 po), métal ondulé	75 cm (30 po), métal ondulé
Coûts de remplacement (\$)	4 200 000	384 000	S.O.	48 000	45 000	95 000	
Longueur	25,9 m à 30,5 m (85 à 100 pi).		15,2 m (50 pi)	15,2 m (50 pi)	12,2 m (40 pi)	15,2 m (50 pi)	12,2 m (40 pi)
Nombre de jours	49	8	6	5	7	6	1
DJMA perturbé	20 950	16 760	4 920	19 338	1 257	5 100	45 000
Délai occasionné	120 minutes	60 minutes	20 minutes	20 minutes	30 minutes	20 minutes	240 minutes
Coûts pour les usagers (\$)	4 046 000	3 079 000	290 000	693 000	220 000	249 000	5 033 000
Coûts totaux (\$)	8 246 000	3 463 000		741 000	265 000	344 000	
Âge (années)	35 à 60	60	plus de 30	20	30	30	25
% coûts de construction	51	11		6	17	28	
% coûts pour les usagers	49	89		94	83	72	
Coûts des remplacements planifiés	18 000 \$ – 50 ans 30 000 \$ – 100 ans	15 000 \$ – 50 ans 28 000 \$ – 100 ans	S.O.	7 200 \$ – 20 ans 13 400 \$ – 100 ans	S.O.	S.O.	S.O.
Coûts totaux des remplacements d'urgence	4 200 000	384 000	S.O.	47 800	45 000	95 000	S.O.
Facteur lié au remplacement d'urgence	140	14	S.O.	4	S.O.		
Nombre de remplacements	1	1	3	4	2	2	3
Coûts des remplacement et des installations d'urgence (\$ de 2003)	4 200 000	384 000	S.O.	192 000	90 000	190 000	S.O.
Coûts des délais pour les usagers de tous les remplacements (\$ de 2003)	4 046 000	3 079 000	870 000	2 772 000	440 000	498 000	15 099 000
Coûts totaux sur un horizon de 100 ans (\$ de 2003)	8 046 000	3 463 000	S.O.	2 964 000	530 000	688 000	S.O.
Coûts estimatifs de remplacement d'un tuyau de 100 ans (\$ de 2003)	12 000	13 000	S.O.	6 200	4 500	6 200	S.O.
Ratio coûts-avantages	671	266	S.O.	478	118	111	S.O.

Tous les coûts sont arrondis au millier de dollars près.

La plupart des affaissements de ponceaux mentionnés dans l'enquête concernent des tuyaux de métal ondulé et le vieillissement de ceux-ci. Certains affaissements sont survenus au moment prévu de la fin de vie utile pour le type de tuyau en cause, mais on n'avait pas prévu de travaux de remplacement. Cela met en relief les carences sur le plan de l'inspection et/ou du suivi de la durée de vie prévue. Certains organismes ont refait les ponceaux en utilisant des matériaux de tuyau à durée de vie plus longue, alors que d'autres se sont contentés d'utiliser les mêmes matériaux. Il serait intéressant d'établir si cela était dû à une question de disponibilité et/ou de coûts d'installation moins élevés, ou encore, à la suite d'une LCCA.

Plusieurs organismes s'appuient sur des pratiques variées en ce qui a trait aux bris de ponceau. La plupart des organismes adoptent une démarche réactive, ils sont rares à avoir adopté une approche proactive. La majorité de ceux-ci passe à l'action seulement quand la situation l'exige, lorsqu'une attention immédiate est requise. Un seul organisme inspecte tous les deux ans tous les ponceaux de son territoire, et celui-ci ne rapporte aucun bris. Un autre organisme utilise des ponceaux surdimensionnés et, lorsqu'ils vieillissent, on y insère un autre tuyau de diamètre plus petit, ce qui minimise les coûts de bris de ponceau.

Outre les bris de ponceau routiers répertoriés ci-dessus, des affaissements surviennent souvent dans des endroits comme les terrains de stationnement. Puisque ces défaillances se produisent dans des endroits hors route, elles occasionnent habituellement moins de retards pour les usagers, et le débit journalier moyen n'est pas une préoccupation. Bien que ces bris entraînent des coûts en termes de perte d'achalandage, les réparations sont effectuées de manière non urgente, ce qui maintient les coûts à un niveau raisonnable. Quoi qu'il en soit, les bris de ponceau survenus dans des stationnements à West Bountiful, en Utah, et à Timonium, au Texas, ont donné lieu à des poursuites et restreint l'utilisation des terrains pendant toute la durée des réparations.

Si les organismes compétents remplaçaient systématiquement les tuyaux à la fin de leur durée de vie utile prévue, ils élimineraient la plupart des bris de ponceau. Cependant, dans la réalité, les tuyaux ne sont pas remplacés à l'approche de leur fin de vie théorique. Il en résulte, par conséquent, des bris, des urgences et des coûts. Il est évident qu'il faudrait éliminer l'incidence des coûts découlant des bris de ponceau. On pourrait probablement y arriver en utilisant des matériaux dont la vie utile prévue est plus longue au moment de la construction initiale et/ou en instaurant des programmes d'inspection, d'entretien et de remplacement.

En 1984, dans un article pour le *Transportation Research Board* [11], G.W. Ring avait identifié les ponceaux comme étant un élément critique de l'infrastructure aux États-Unis. Il avait recommandé la mise sur pied d'un programme d'inspection pour établir si l'examen des canalisations permettrait de déterminer si un ponceau devait être réparé ou remplacé. Pour ce faire, il fallait des inspecteurs compétents capables de discerner et d'évaluer la détérioration des ponceaux, ainsi qu'un calendrier d'inspection approprié. Bien qu'il n'y ait pas de lignes directrices établies concernant l'intervalle entre les inspections, M. Ring suggérait qu'elles soient exécutées tous les trois ans, ou plus fréquemment, lorsque l'état du tuyau est préoccupant. En adoptant un cycle régulier d'inspection des ponceaux, les organismes compétents pourraient minimiser leur dégradation. Le cycle pourrait être modifié au besoin, quand la situation le justifie. Plus de 20 ans après la parution de cet article, seulement quelques organismes ont un tel programme.

MESURES À PRENDRE

Dans le tableau 5, on peut constater que les coûts associés aux usagers comptent pour une part énorme du total des coûts. Il arrive souvent que ces coûts ne soient pas pris en compte dans les LCCA, parce qu'ils sont absorbés par les automobilistes et les camionneurs, et qu'ils n'ont pas d'incidence directe sur le budget des organismes responsables. Cependant, il s'agit de coûts réels, et ils doivent être pris en considération dans toute analyse. Des études récentes montrent que la diminution des délais pour les usagers de la route est l'avantage déterminant quant au choix de la méthode de construction, notamment en réalisant des projets grâce à la solution conception/construction, ce qui permet de justifier les avantages du chronométrage des signaux, des systèmes évolués de gestion de la circulation et de toute une gamme de mesures de réduction de la congestion automobile.

La création d'une base de données permettant de consigner les « rapports des affaissements de ponceaux » permettrait de partager les données et les expériences entre les organismes compétents partout au pays. La mise en commun de tels renseignements faciliterait la prise de décisions plus éclairées et l'établissement plus précis de la durée de vie utile prévue des matériaux en fonction de ces données empiriques. Les données sur le suivi des ponceaux permettraient de définir un facteur de risque et un

facteur lié au remplacement d'urgence. Ces deux facteurs pourraient être incorporés à la méthodologie d'analyse des coûts, tout comme les coûts d'installation et de remplacement et les coûts afférents aux usagers. Cette nouvelle relation entre les coûts comporterait probablement des coûts liés au facteur de risque, comme c'est le cas dans de nombreuses méthodologies d'évaluation des risques.

L'équation 1 comprendrait alors un nouveau facteur, comme illustré dans l'équation 2.

$$\text{coûts totaux } (T)_t = \text{coûts d'installation/de remplacement } (I_{H(L)})_t + \text{délais subis par les usagers } (D)_t + \text{RF}_t * (\text{ERF} * I_t + \text{EUD})_t \dots \dots \dots \text{Équation 2}$$

Où :

T = coût total du cycle de vie pour un tuyau donné de type t

$I_{H(L)}$ = coûts d'installation et coûts de remplacement sur un horizon de H années, L étant la durée de vie prévue pour un tuyau de type t

D_t = délais subis par les usagers durant la construction et les remplacements au cours de l'horizon temporel d'analyse (habituellement 100 ans)

RF = facteur de risque pour un tuyau de type t (estimation de la probabilité de bris)

ERF = facteur lié au remplacement d'urgence pour un tuyau de type t = $\frac{\text{coûts des remplacements d'urgence}}{\text{coûts des remplacements planifiés}}$

EUD = délais subis par les usagers en situation d'urgence = coûts liés aux délais subis par les usagers pendant un remplacement d'urgence

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Il est important d'insister sur les aspects de la LCCA d'une canalisation de ponceau que l'on néglige encore. Il faut ainsi ajouter à la LCCA les coûts afférents aux délais subis par les usagers de la route. Ces coûts dépassent souvent largement les coûts de construction proprement dits. C'est pourquoi les économies obtenues au moment de l'installation initiale, en utilisant un tuyau dont la durée de vie utile prévue est plus courte, sont rapidement annulées par les remplacements subséquents et les retards imposés aux automobilistes et aux camionneurs. En quantifiant les coûts supplémentaires d'un remplacement d'urgence, il est évident qu'un programme d'inspection et d'entretien est considérablement plus rentable. On constate de plus que les matériaux de tuyau associés à une vie utile plus longue sont plus économiques que les matériaux associés à une vie utile plus courte, et ce, même si l'installation initiale est plus coûteuse.

Ces conclusions reposent sur la probabilité qu'un certain nombre de ponceaux finiront par effondrer. L'infrastructure vieillit plus rapidement que ce que les réparations et l'entretien permettent de garder en état. Pensons, par exemple, au réseau routier qui relie les états américains, et qui est désormais âgé de près de 45 ans. Bon nombre des ponceaux de ce réseau comportent des conduites dont la durée de vie théorique est de 30 à 50 ans, et on ne prévoit pas dans l'immédiat remplacer ces milliers de ponceaux qui ont atteint ou dépassé leur durée de vie théorique. Il est temps de déterminer si un tuyau associé à une vie utile plus longue est plus économique, en posant simplement la probabilité que la conduite ne sera pas remplacée à la fin de sa durée de vie théorique.

On a pu observer, à partir des résultats des enquêtes, que les procédures et le degré de documentation des bris de ponceau sur leur territoire varient beaucoup d'un organisme à l'autre. Alors que certains organismes disposent d'une information détaillée sur les affaissements de ponceaux et les coûts afférents, d'autres organismes ont consigné de l'information sur quelques bris seulement.

La gestion des ponceaux est souvent un véritable casse-tête financier : comment répartir des fonds limités entre les besoins de construction, de restauration et d'entretien? Le financement provient habituellement des municipalités, de l'État et de sources nationales, qui imposent des restrictions en matière de dépenses. Il est donc difficile de prendre les meilleures décisions qui soient dans un monde idéal quant à l'opportunité et à la façon de mener des inspections, des réparations ou des remplacements de ponceaux, tout en minimisant l'incidence pour les citoyens.

Dans la présente communication, on suggère d'envisager une hausse du financement octroyé aux programmes d'inspection, afin que les organismes puissent correctement entretenir les structures en procédant à des inspections en temps opportun. Le recours accru à des matériaux résistant à la corrosion, à de meilleurs revêtements et/ou à des bétons durables réduit encore davantage les importants coûts directs et indirects découlant de la détérioration des ponceaux.

Le fait de documenter les affaissements de ponceaux permet de reconnaître les défauts les plus fréquents selon le matériau de tuyau et l'état du site. Une telle information aide les organismes à choisir le matériau de canalisation de ponceau qui convient le mieux, et qui sera le plus économique et le plus efficace à long terme. Il faut par conséquent adopter une procédure normalisée de documentation des affaissements de ponceaux et étoffer les données actuelles limitées pour les regrouper dans une base de données nationale. On recommande que l'AASHTO ou le *Transportation Research Board* (TRB) forme un comité qui aurait pour mandat de créer un modèle de rapport électronique normalisé, qui servirait à documenter les bris de ponceau et inciterait les organismes à produire un « rapport des affaissements de ponceaux ». En l'absence d'une telle procédure, ces renseignements, d'où peut être extraite une précieuse information sur le rendement des tuyaux, les causes des bris et les incidences économiques, sont rapidement perdus une fois le remplacement effectué. L'orientation à tracer pour l'avenir dépend des réponses que l'on apportera aux questions suivantes et de l'adoption de mesures appropriées :

Questions :

- A. Pourquoi recourt-on rarement à la LCCA pour choisir les tuyaux?
- B. Les coûts d'achat du tuyau et de l'installation sont-ils le premier facteur dont il faut tenir compte en sélectionnant des conduites?
- C. Comment les organismes s'y prennent-ils pour procéder à l'entretien et à l'inspection des tuyaux?
- D. Maintenant que bon nombre des ponceaux installés aux États-Unis atteignent la fin de leur durée de vie utile prévue, s'est-on doté d'un programme de remplacement?

Mesures :

1. Créer une base de données pour documenter les affaissements de ponceaux, au moyen d'un formulaire de « rapport d'incident de ponceau ». On pourrait employer des questionnaires semblables à ceux utilisés dans la présente étude. Cette information serait ensuite mise à la disposition des organismes, afin d'assurer une meilleure compréhension de :
 - a. la vie utile des conduites à la lumière des résultats empiriques,
 - b. la fréquence et de la cause des affaissements,
 - c. l'incidence et des coûts des remplacements d'urgence par rapport aux remplacements planifiés.
2. Il faut tenir compte des coûts liés aux usagers dans la LCCA, afin d'offrir une analyse des coûts plus fidèle à la réalité, ces coûts étant actuellement ignorés.
3. Quand on aura cumulé plus de données, il faudra intégrer les coûts d'un remplacement d'urgence et les risques de bris à la LCCA.

Pour régler le problème, il est essentiel d'adopter un programme d'inspection des ponceaux déjà en place, afin de pouvoir surveiller et entretenir correctement le réseau. C'est une méthode efficace sur le plan des coûts, qui permet de réduire les risques d'affaissements et de préserver l'infrastructure de ponceaux. Dans le cas des installations à venir, il faudrait sans doute réfléchir davantage à l'analyse des coûts sur la durée de la vie utile et à la vie utile des tuyaux. Il reste à savoir quel est le cycle de vie approprié pour les ponceaux de nos pays et quels sont les matériaux qui offrent un rendement conforme à un tel cycle de vie. Tant que n'auront pas été mis en œuvre des programmes de remplacement qui permettent de remplacer les tuyaux, dont le matériau a une vie utile plus courte, quand leur durée de vie théorique est révolue, il vaut mieux installer des matériaux de tuyau dont la vie utile est plus longue. Ils ont moins d'incidence sur le budget des administrations publiques, font défaut moins souvent et minimisent les désagréments pour les citoyens qui prennent la route, tout en étant plus sécuritaires.

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

1. *Summary of Missouri Ponceau Studies*, Research Development and Technology Division, département des Transports du Missouri, mai 2000.
2. *Life Expectancy Determination of Zinc-Coated Corrugated Steel and Reinforced Concrete Pipe Used in Missouri*, Division of Materials and Research, département des Transports et des Routes du Missouri, décembre 1990.
3. *Cause of Accelerated Deterioration of Corrugated Metal Pipe Installed after 1974*, Division of Operations, Bureau of Materials and Research, département des Transports du Kansas, décembre 1990.
4. *Engineering Design Conduits, Ponceaux, and Pipes*, département des forces terrestres, Corps de génie militaire des États-Unis n° 1110-2-2902, mars 1998.
5. *Model Drainage Manual 1991 de l'AASHTO*, publications de l'AASHTO, Washington D.C., 1991.
6. Blank, L. et A. Tarquin, *Engineering Economics*, McGraw Hill Inc., 2002.
7. Bureau of Labor Statistics (BLS), indice des prix à la consommation pour tous les consommateurs urbains (CPI-U).
8. *National Compensation Survey: Occupational Wages in the United States*, service de statistique du département du Travail, département du Travail des États-Unis, juillet 2002.
9. Rodgers, Terry, « A Big Drain on Finances », San-Diego Union – Tribune, 7 janvier 2005.
10. « Holey Highways! », The Gazette, Montréal, 16 septembre 2005.
11. Ring, G.W., « Ponceau Durability: Where are we? », Transportation Research Record 1001, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1984, pp. 1 à 9.

Liste des tableaux

- TABLEAU 1 : Coût (en dollars) de l'installation d'un ponceau selon un horizon de 100 ans
TABLEAU 2 : Délai quotidien pour les usagers selon divers DJMA
TABLEAU 3 : Distribution de la durée utile prévue selon l'enquête
TABLEAU 4 : Bris de ponceau et coûts de remplacement afférents
TABLEAU 5 : Données sommaires sur les études de cas d'affaissements

Liste des figures

- FIGURE 1 : Modèle de questionnaire général
FIGURE 2 : Modèle de questionnaire portant sur un affaissement particulier
FIGURE 3 : Affaissement de la chaussée à Bakersfield, Californie
FIGURE 4 : Cratère dans la chaussée à Owings Mills Mall, Baltimore, Maryland
FIGURE 5 : Affaissement de la chaussée de l'autoroute 40 en 2005 entre Montréal et Québec