

ANALYSE DES AVANTAGES ET DES COÛTS SUR LE CYCLE DE VIE DE L'UTILISATION DU BÉTON HAUTE PERFORMANCE DANS LA CONSTRUCTION D'INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES

Maurice Gosselin DBA, CA, CMA

Christian Turcotte, BAA

Chercheurs affiliés au CRIB

Mots clés : coût sur le cycle de vie, analyse avantages-coûts, infrastructure routière, béton haute performance

RÉSUMÉ

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) estime que 42 % des ouvrages d'art de son réseau routier devront être réparés ou refaits au cours des cinq prochaines années. Cette période intensive de rénovations arrive au moment où le Gouvernement du Québec a décidé de plafonner le budget de certains ministères, notamment celui du MTQ. Devant cette situation, ce dernier doit tenter de maximiser l'utilité des ressources financières qui lui sont accordées. Une façon d'y parvenir consiste à utiliser un autre matériau que le béton usuel : le béton haute performance (BHP).

Le choix du BHP comme matériau a un impact sur les coûts de construction initiaux, mais il a aussi des conséquences tout au long de la vie utile de l'infrastructure. En effet, ce choix a des effets sur les activités d'inspection, d'entretien et de réparation qui se dérouleront sur l'infrastructure ainsi que sur sa disposition à la fin de sa vie utile. De plus, ces effets touchent non seulement le MTQ, mais également les usagers de la route, la société, etc.

Afin de vérifier les conséquences économiques du choix du BHP pour ces parties, il importe de quantifier tous les impacts mentionnés précédemment. Dans cette perspective, l'utilisation du coût de revient sur le cycle de vie s'impose. L'usage de cet outil permet de quantifier, en termes monétaires actuels, tous les impacts présents et futurs du choix. De plus, afin de considérer toutes les parties intéressées, cette technique doit être combinée à l'analyse avantages-coûts. Cette méthode permet de prendre en compte les avantages et les coûts de toutes les parties intéressées par un projet. Ainsi, contrairement aux outils utilisés traditionnellement, cette technique considère les avantages et les coûts pour les usagers de la route, pour la société et pour toutes les autres parties concernées par l'infrastructure.

INTRODUCTION

L'accroissement de la circulation au cours des dernières années a fait en sorte que les infrastructures du réseau routier québécois sont de plus en plus utilisées. En effet, selon les données du MTQ, le nombre de véhicules de promenade a augmenté de 68 % de 1985 à 2000, passant ainsi de 2 285 479 à 3 843 685. Pour la même période, le nombre de véhicules lourds s'est également accru de 34,5 %, passant de 80 054 à 107 687¹.

Cet accroissement de la circulation entraîne une détérioration accélérée des infrastructures. D'ailleurs, au MTQ, on estime qu'une première réparation devient nécessaire en moyenne 30 ans après la mise en service d'un ouvrage d'art (Desgagné 2004). Or, toujours selon Desgagnés (2004), 75 % des structures sous la responsabilité du Ministère des transports ont été construites il y a environ 25 à 45 ans. Il est donc temps de procéder à la réparation ou réfection de bons nombres des infrastructures routières québécoises.

Par contre, étant donné la taille du réseau routier québécois, qui compte plus de 185 000 km de routes et 9 500 ouvrages d'arts (Morcous, Rivard et Hanna 2002)², les coûts pour remettre toutes les infrastructures en bon état sont très élevés. Le MTQ tente de faire face à ce problème en effectuant annuellement beaucoup de travaux de réparation un peu partout sur le territoire québécois. Malgré ces travaux, plusieurs infrastructures doivent toujours être réparées. D'ailleurs, selon un article paru dans *La Presse* du 25 avril 2004, le Ministère estime que 42 % des ouvrages d'art de son réseau routier devront être réparés ou refaits au cours des cinq prochaines années.

De plus, cette période de rénovations intensives arrive au moment où le Gouvernement du Québec a décidé de plafonner le budget de certains ministères, notamment celui du MTQ (*La Presse*, le 25 avril 2004). Le Ministère voit ainsi sa capacité de réparer adéquatement les infrastructures être réduite. Il doit donc tenter de maximiser l'utilité des ressources financières qui lui sont accordées. Une façon d'y arriver est d'utiliser de nouveaux matériaux pour ses ouvrages d'art.

Dans cette perspective, l'utilisation d'un matériau plus performant que le béton usuel utilisé traditionnellement dans les infrastructures routières est envisagée depuis quelques années déjà. Ce matériau est le béton haute performance (BHP). Plusieurs études ont déjà comparé les avantages techniques du BHP par rapport au béton usuel. Entre autres, il a été démontré à partir de tests en laboratoire que le BHP offre une meilleure résistance à l'abrasion et à la compression, une meilleure perméabilité face aux chlorures, une haute durabilité face aux cycle gel et dégel ainsi qu'une durée de vie plus longue Aïtcin (2001). Par contre, comme l'ont mentionné Hassainain et Loov (2003) dans un ouvrage effectué pour le Conseil National de Recherches du Canada (CNRC) : « très peu de chercheurs ont

¹ [www.magazinemci.com/articles/dossiers/2003/06/quebec7.htm]

² [www.magazinemci.com/articles/dossiers/2003/06/quebec7.htm]

essayé de quantifier les bénéfices à long terme de l'utilisation du BHP dans la construction de ponts ». Ainsi, afin de corriger cette lacune, mais également afin de tester la capacité du BHP à répondre aux nouvelles contraintes financières de l'environnement québécois, il est important de mettre sur pied un outil permettant de comparer la performance économique des deux matériaux (béton usuel et béton haute performance) pour une infrastructure donnée.

DÉVELOPPEMENT DE L'OUTIL D'ANALYSE

Le développement d'un tel outil doit se faire en fonction des caractéristiques de la situation. Par exemple, dans le cas des infrastructures routières, c'est le Gouvernement du Québec, et plus précisément le ministère des Transports du Québec, qui prend les décisions. L'outil doit donc tenir compte de cet élément. Dans ce sens, l'analyse avantages-coûts est une méthode qui a été développée expressément pour l'évaluation des questions d'ordre public. Sous la méthodologie de l'analyse avantages-coûts, tous les gains et pertes possibles résultant d'une décision sont identifiés, convertis en termes monétaires et comparés selon certaines règles de décisions afin de déterminer si elle est désirable du point de vue la population (Nas 1996). La technique de l'analyse avantages-coûts se définit donc comme un moyen pratique, méthodologique et quantitatif de comparer les extrants (avantages) et les intrants (coûts) d'un projet gouvernemental particulier (Maniate et Carter 1973).

De plus, ce type d'analyse est basé sur la théorie du bien-être. Cette théorie encourage les décideurs à se placer dans la position des différentes parties concernées par un projet et à analyser l'impact de ce dernier sur celles-ci. Une analyse avantages-coûts doit donc tenir compte de tous les avantages et coûts encourus dans la collectivité, qu'ils soient privés ou sociaux, tangibles ou intangibles (D'Avignon, Gosselin et Thibeault 2002).

L'analyse avantages-coûts requiert donc d'identifier les parties intéressées par une décision. Dans le cas présent, il faut identifier les parties intéressées par la construction et l'utilisation des infrastructures routières. Une fois qu'elles ont été identifiées, il est plus facile de connaître les avantages que chacune d'entre elles peut tirer d'un changement de matériau. Les parties intéressées sont les suivantes :

- **Les usagers de la route :** ils représentent tous les individus qui utilisent l'infrastructure lorsqu'ils se déplacent d'un point à un autre. Ce groupe d'individus utilise tant les véhicules automobiles que les véhicules de transport en commun et de transport de marchandises.

- **Le ministère des Transports du Québec** : c'est la partie propriétaire du réseau routier québécois. C'est donc elle qui est responsable de l'entretien des infrastructures routières au Québec. Ainsi, elle décide quelles infrastructures seront construites ou réparées et quand elles le seront. C'est également cette partie qui paie pour les différents travaux effectués sur une infrastructure.
- **Les compagnies d'assurance automobile** : ce sont des entreprises qui protègent, moyennant des versements annuels, les automobilistes des risques financiers associés aux accidents de la route. Les indemnités et les paiements des automobilistes varient selon les caractéristiques de leur police d'assurances. Au Québec, ce type de protection est obligatoire pour tous les individus qui possèdent un véhicule automobile immatriculé à la SAAQ.
- **La Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ)** : c'est un organisme relevant du ministère des Transport du Québec qui a pour finalité de protéger les personnes³. Il gère notamment un régime d'indemnisation des dommages corporels résultant d'un accident automobile, sans égard à la responsabilité, au Québec comme partout à l'étranger⁴.
- **Les entreprises adjacentes** : ce sont des entreprises situées à proximité de l'infrastructure et de la zone des travaux. Selon Roychouhury (2001), seules les entreprises dont l'accès principal dépend de la route affichant une zone de construction et offrant deux catégories de produits et services doivent être considérées. Ces catégories sont : les marchés d'alimentation et les stations services. Ces deux types d'entreprises ressentent davantage les impacts financiers et sociaux liés à la réparation des infrastructures routières étant donné la nature de leurs activités.
- **La société** : elle regroupe l'ensemble des personnes qui subissent les répercussions des activités entourant les travaux sur l'infrastructure, peu importe si elles utilisent l'infrastructure ou non.

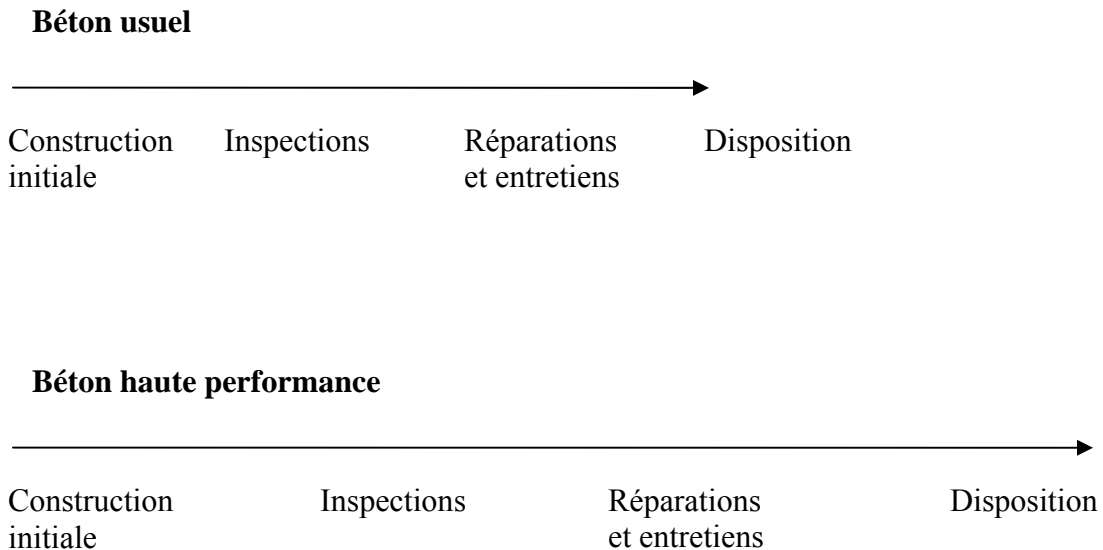
Malgré ses caractéristiques, l'analyse avantages-coûts ne peut répondre seule à toutes les particularités entourant la comparaison économique du béton haute performance et du béton usuel. Plus particulièrement, elle est peu adaptée à l'aspect long terme entourant la construction d'infrastructures routières. Afin de créer un outil mieux adapté à la situation, l'analyse avantages-coûts doit être jumelée à la méthode du coût de revient sur le cycle de vie. On peut définir le coût de revient sur le cycle de vie comme un moyen d'estimer le coût total lié à un projet, un produit ou autre, sur un certain laps de temps. Dans le cadre de la construction routière, ce coût total inclut le coût de construction initial, le coût des entretiens et réparations, le coût des inspections et le coût de la disposition (O'Brien T.K. 1983). Ces coûts seront toutefois étalés différemment dans le temps selon le

³ [www.saaq.gouv.qc.ca/nous/index.html]

⁴ [www.saaq.gouv.qc.ca/victime/index.html]

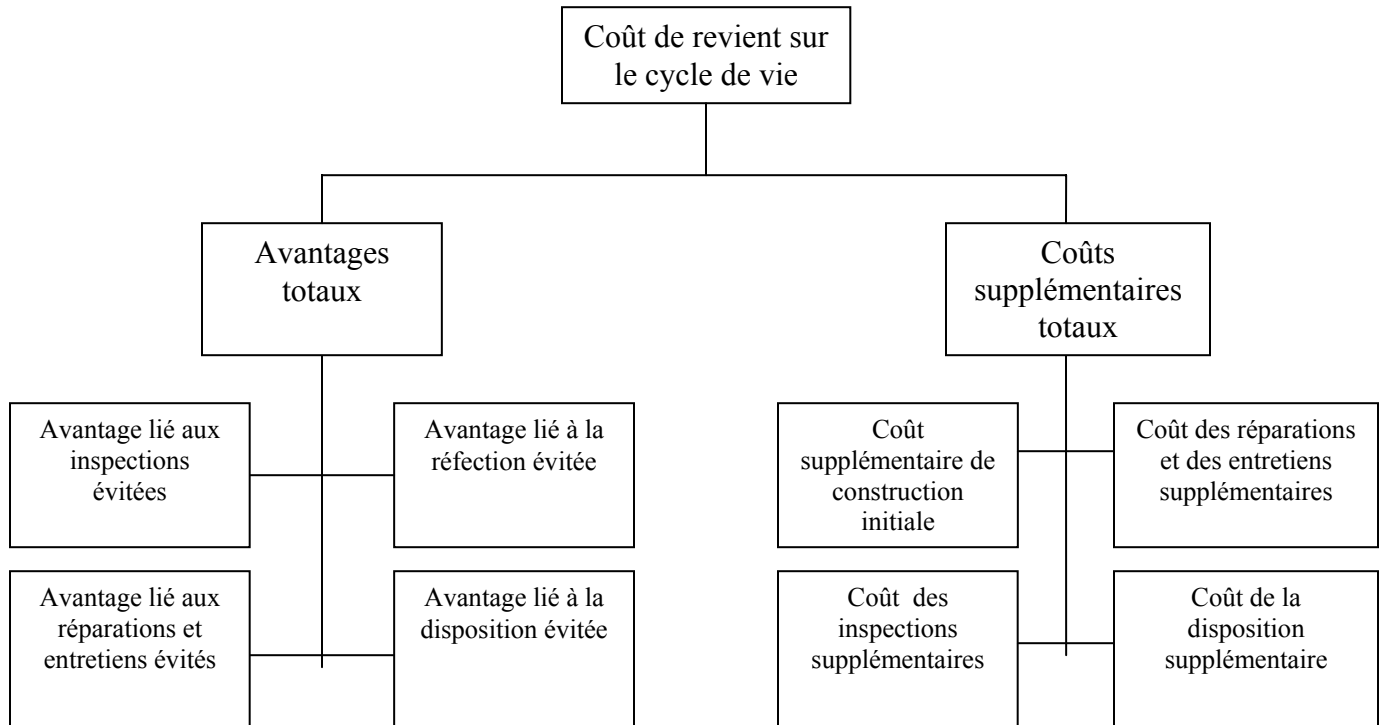
matériau utilisé, car le BHP a une durée de vie plus longue que le béton usuel (figure. 1). Une fois tous ces coûts identifiés, la méthode du coût de revient sur le cycle de vie demande de les traduire en dollars d'aujourd'hui. Cet ajustement permet d'assurer une comparabilité temporelle entre les différents coûts.

Figure 1 : Étalement des coûts sur le cycle de vie du béton usuel et du béton haute performance



En combinant l'utilisation de l'analyse avantages-coûts et du coût de revient sur le cycle de vie, on obtient un outil permettant de comparer la performance économique des deux matériaux (béton usuel et béton haute performance) pour une infrastructure donnée. Par exemple, supposons que le Ministère veut déterminer si le BHP est le plus avantageux économiquement pour construire une infrastructure donnée. Il devra déterminer tous les avantages et les coûts de ce choix sur la durée de vie de l'infrastructure. Les avantages se composeront essentiellement des coûts d'inspections, d'entretiens, de réparations, de disposition et de reconstruction qui auraient été payés si l'infrastructure avait été construite en béton usuel, mais qui sont évités puisque l'infrastructure est en BHP. Les coûts, eux, représenteront les frais que le Ministère n'aura pas à assumer si l'infrastructure est en béton usuel. Il s'agit principalement des coûts supplémentaires lors de la construction initiale, des coûts d'inspections, des coûts d'entretiens, de réparations et de disposition de l'infrastructure en BHP. L'outil qui a été développé peut être représenté graphiquement à l'aide de la figure suivante :

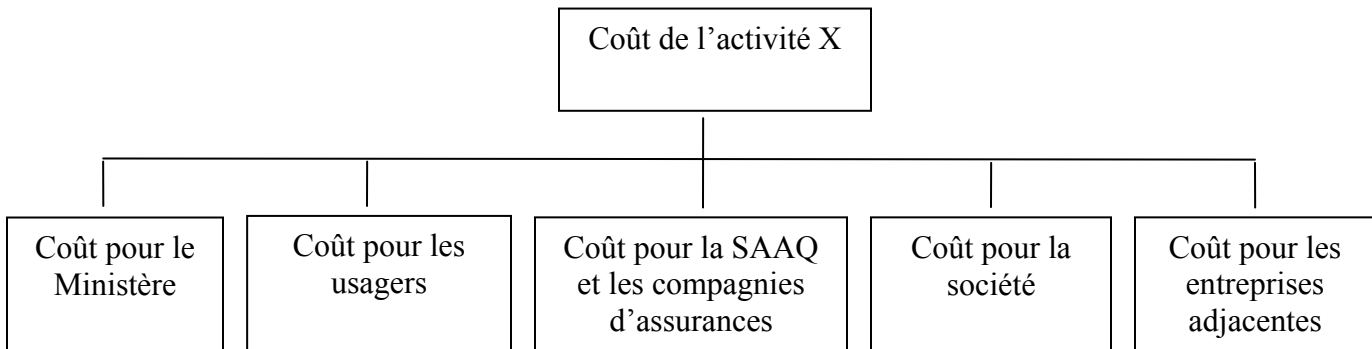
Figure 2 : Modèle adapté de coût de revient sur le cycle de vie



QUANTIFICATION DES AVANTAGES ET DES COÛTS

Pour mettre en pratique cet outil, il faut pouvoir quantifier chacun des quatre avantages et des quatre coûts supplémentaires présentés dans la figure précédente. Plus précisément, il faut identifier ce qui compose le coût de ces activités (construction initiale, inspection, réparation, disposition et reconstruction). C'est ici que l'intégration des deux outils devient plus évidente. En effet, le coût de chacune des activités, qu'elle soit un avantage ou un coût supplémentaire du BHP, se compose du coût pour chacune des parties intéressées identifiées précédemment :

Figure 3 : Détail du coût de l'activité X



Donc, afin d'identifier le coût associé à l'activité X, il faut auparavant quantifier le coût pour chacune des parties. Le calcul de ces coûts requiert l'utilisation de formules complexes impliquant de nombreuses variables. Ces formules sont tirées de nombreuses recherches traitant des coûts entourant la congestion et la construction routière. Une présentation des coûts et de leurs formules est effectuée dans les prochains paragraphes.

Coût pour le Ministère (CM) : ce sont tous les coûts tangibles et intangibles assumés par le ministère des Transports du Québec pour effectuer les activités de construction, d'inspection, de réparation, d'entretien, de réfection et de disposition. La formule permettant d'obtenir ce coût est une simple addition des montants déboursés par le gouvernement :

$$CM = \sum CC$$

Où : CM = Coût pour le ministère des Transports du Québec.

CC = Coût d'une composante de l'infrastructure.

Coût pour les usagers de la route (CU) : il s'agit de tous les coûts tangibles et intangibles assumés par les usagers de la route qui ne peuvent plus utiliser l'infrastructure de façon normale compte tenu des activités qui se déroulent sur l'infrastructure. Il regroupe les coûts d'attente et les coûts des véhicules :

$$CU = TTDC + VOC$$

Où: CU = Coûts pour les usagers

TTDC = Coûts du temps perdu

VOC = Coûts d'opération d'un véhicule

Le coût d'attente représente la valeur du temps supplémentaire nécessaire pour traverser la zone de travaux. C'est un temps perdu, car les usagers ne pourront l'utiliser pour d'autres occupations. Ce coût se calcule ainsi :

$$\mathbf{TTDC = [(L / Sa) - (L / Sn)] ADT \times N \times NP [(1 - T) \times W1 \times NP] + (T \times W2)}$$

Où, TTDC = Coût total du temps perdu dans la zone de construction (\$)

L = Distance de la zone des travaux (km)

Sa = Vitesse moyenne des véhicules durant les travaux (km/h)

Sn = Vitesse normale des véhicules sans travaux (km/h)

ADT = Trafic moyen journalier utilisant cette zone (véhicules/jours)

N = Durée des travaux (jours)

W1 = Valeur du temps perdu par un automobiliste (\$/h)

W2 = Valeur du temps perdu par un camionneur (\$/h)

T = Proportion de camion sur les routes (%)

NP = Nombre de passagers par automobile

Pour sa part, le coût d'opération d'un véhicule représente le coût de fonctionnement supplémentaire que doit assumer le propriétaire d'un véhicule afin de traverser la zone de travaux. Ce coût d'opération est fonction du temps nécessaire pour traverser la zone de travaux. La formule pour le calculer est la suivante :

$$\mathbf{VOC = [(L / Sa) - (L / Sn)] \times ADT \times N \times [R1 \times (1 - T) + R2 \times T]}$$

Où, VOC = Coûts totaux d'opération du véhicule dans la zone des travaux (\$)

L = Distance de la zone des travaux (km)

Sa = Vitesse du trafic dans la zone durant les travaux (km/h)

Sn = Vitesse normale du trafic dans la zone (km/h)

ADT = Trafic moyen journalier utilisant cette zone (véhicules/jours)

N = Durée des travaux (jours)

R1 = Coût moyen d'opération d'une automobile (\$/h)

R2 = Coût moyen d'opération d'un camion (\$/h)

T = Proportion de camions sur les routes (%)

Coût pour la SAAQ et pour les compagnies d'assurances (CA) : ce sont les coûts engendrés par les accidents supplémentaires qui peuvent se produire lors des différentes activités se déroulant sur l'infrastructure. En effet, selon différentes études, le taux d'accidents est supérieur dans une zone de travaux de construction. Il faut donc tenir compte du coût de ces accidents supplémentaires lorsqu'on fait une analyse avantages-coûts comme celle-ci. On peut calculer ce coût ainsi :

$$\mathbf{WZAC = L \times ADT \times N(Ac - An) \times Ca}$$

Où, WZAC = Coûts des accidents

AC = Taux d'accidents durant les travaux (nombre d'accidents par véhicule/ km)

An = Taux d'accident normal (nb d'accidents par véhicule/km)

Ca = Coûts moyens par accident (\$/accident)

L = Distance de la zone de travaux (km)

ADT = Trafic moyen journalier utilisant cette zone (véhicules/jours)

N = Durée des travaux (jours)

Coût pour la société (CS) : ce sont les coûts intangibles liés à la pollution. Ces coûts sont assumés par la société et causés par les activités se déroulant sur l'infrastructure. Les coûts de pollution sont directement liés au fonctionnement supplémentaire des véhicules dans les zones de travaux. En effet, lorsque ces véhicules fonctionnent, ils produisent des gaz nocifs pour l'environnement. Puisque les véhicules fonctionnent plus longtemps pour traverser une zone de travaux, ils produisent davantage de gaz nocifs. Le coût lié à ces gaz doit être quantifié et inclus comme élément à considérer dans la présente analyse.

$$\mathbf{PC = [P1 \times (1 - T) + (P2 \times T)] \times ADT \times Cr \times N [(L / Sa) / (L / Sn)]}$$

Où, PC = Coûts totaux de pollution (\$)

P1 = Nombre d'équivalents de CO₂ émis par une automobile (kg/h)

P2 = Nombre d'équivalents de CO₂ émis par un camion (kg/h)

T = Proportion de camions sur les routes (%)

ADT = Trafic moyen journalier utilisant cette zone (véhicules/jours)

Cr = Coûts de pollution pour la société par heure (\$/kg)

N = Durée des travaux (jours)

L = Distance de la zone des travaux (km)

Sa = Vitesse du trafic dans la zone durant les travaux (km/h)

Sn = Vitesse normale du trafic dans la zone (km/h)

Coût pour les entreprises adjacentes (CE) : il s'agit du montant total des pertes assumées par les entreprises situées à proximité de la zone de travaux. Ces pertes sont causées par une diminution de l'achalandage en raison des activités se déroulant sur l'infrastructure. Toutefois, selon Roychoudhury (2001), seules les pertes de deux types d'entreprises doivent être considérées dans une analyse comme celle-ci. Il s'agit des pertes subies par les marchés d'alimentation et les stations services. Cette décision repose sur le fait que ces commerces ressentent directement les effets des travaux sur l'infrastructure. En effet, des études estiment une perte moyenne de l'ordre de 40 % du chiffre d'affaires pour ces deux types de commerce (Roychoudhury, 2001). L'équation permettant de quantifier ces pertes se présente comme suit :

$$CP = 0,40 \times ((NSS \times VSS) + (NM \times VM)) \times N$$

Où, CP = Coûts liés à la perte d'affaires

NSS = Nombre de stations service dans la zone

NM = Nombre de marchés d'alimentation dans la zone

VSS = Ventes moyennes journalières de la station service (\$)

VM = Ventes moyennes journalières des marchés d'alimentation (\$)

N = Durée des travaux (jours)

PARAMÈTRES À CONSIDÉRER DANS L'ANALYSE

L'utilisation de l'outil d'analyse présenté dans cet article repose évidemment sur les formules qui viennent d'être présentées mais également sur de nombreux paramètres indispensables aux calculs des avantages et des coûts supplémentaires du BHP. Ces paramètres sont : la détermination des moments d'intervention dans le temps, du taux d'inflation et du taux d'actualisation.

Détermination des moments d'interventions

La méthode du coût de revient sur le cycle de vie nécessite de déterminer à quel moment prendront place les différentes activités liées aux avantages et aux coûts supplémentaires. Cette spécification est nécessaire afin d'actualiser et d'ajuster la valeur économique des avantages et des coûts supplémentaires dans le temps.

L'identification des moments d'interventions sur une infrastructure est un exercice complexe qui pose plusieurs problèmes et qui nécessite différents outils. Pour les entretiens et les réparations, cela implique un modèle de détérioration des infrastructures. Pour ce qui est des inspections, cela nécessite une politique d'inspection. Finalement, pour la réfection et les dispositions, cela requiert la détermination de la durée de vie du béton usuel et du béton haute performance.

a) Modèle de détérioration

Jusqu'à maintenant, plusieurs modèles ont été développés afin d'expliquer la façon dont se détériorent les infrastructures. Ces modèles peuvent être regroupés en trois catégories non exclusives mutuellement : les modèles déterministes, les modèles stochastiques et les modèles d'intelligence artificielle (IA) (Morcou, Rivard et Hanna 2002). Les modèles déterministes définissent une relation entre les facteurs affectant la détérioration d'une structure et sa condition en utilisant des formules mathématiques ou statistiques. Ils utilisent ensuite l'équation obtenue pour faire des prédictions (Morcou, Rivard et Hanna 2002). Les modèles stochastiques, pour leur part, traitent le processus de détérioration des structures comme une ou un ensemble de variables aléatoires qui capte l'incertitude et le hasard de ce processus. L'ensemble obtenu sert ensuite à faire des prévisions (Morcou, Rivard et Hanna 2002). Finalement, les modèles d'intelligence artificielle (IA), eux, exploitent, à l'aide d'ordinateurs, les informations recueillies sur la détérioration passée de différentes infrastructures afin d'identifier des comportements de détérioration. En fait, ces modèles reposent sur l'hypothèse que deux ponts qui ont des caractéristiques physiques (matériel, structure, etc.), des conditions opérationnelles et environnementales (région, trafic, etc.) et un historique d'inspection et d'entretien semblables auront une performance similaire (Morcou, Rivard et Hanna 2002).

Morcou, Rivard et Hanna (2002) ont démontré que les deux premiers types de modèles ont plusieurs défauts. Tout d'abord, ils ne tiennent pas compte de l'impact des travaux d'entretien et des conditions antérieures de la structure sur le processus de détérioration. Ils ne tiennent pas compte non plus des interactions entre les différents mécanismes de détérioration. Finalement, ils ne considèrent pas toutes les variables qui affectent la détérioration des structures. Dans cette perspective, il est donc préférable d'utiliser les expériences passées en ce qui a trait à la détérioration des structures afin de prévoir à quel moment se dérouleront les activités d'entretiens et de réparations sur une infrastructure.

b) Politique d'inspection

La détermination des moments d'intervention en ce qui concerne les inspections est un exercice un peu moins complexe que le précédent. En fait, cela nécessite d'identifier la politique d'inspection des infrastructures particulières au ministère des Transports du Québec. Cette politique est notamment expliquée dans un rapport du vérificateur général⁵. Selon ce rapport, la norme du MTQ exige qu'une inspection annuelle soit effectuée sur toutes les infrastructures routières. Ce rapport mentionne également qu'il y a deux types d'inspection qui peuvent être pratiquées : sommaire ou générale.

⁵ [www.vgq.gouv.qc.ca/publications/Rapp_2003_2/Rapport/html/04.html]

Les inspections sommaires consistent en un examen visuel de la structure afin de détecter des anomalies. Elles ont lieu à tous les ans, à moins qu'une inspection générale soit prévue dans l'année. Les inspections générales sont beaucoup plus poussées. En effet, lors de leur mise en œuvre, un inspecteur examine attentivement chaque composante de la structure et lui attribue deux cotes (entre 1 et 6) : une pour le matériau et l'autre pour le comportement de la composante. Après l'examen général, l'inspecteur émet des recommandations sur les correctifs à apporter à l'infrastructure. Étant donné que ces inspections sont plus poussées que les inspections sommaires, elles nécessitent plus de temps et d'outils. Cela entraîne donc des coûts plus élevés que pour les inspections sommaires. La fréquence des inspections générales varie selon le type, l'âge et l'état de l'infrastructure lors de la dernière inspection.

c) Durée de vie

Déterminer la durée de vie du béton usuel est un exercice important dans ce type d'analyse, car cela permet d'identifier à quel moment prendront place les avantages liés aux coûts de réfection et de disposition évités. Il est possible de répertorier beaucoup d'information concernant la durée de vie d'infrastructures en béton usuel, car ce matériau est utilisé depuis plusieurs années maintenant. Le document le plus intéressant dans le cadre de cet article provient de la Direction des structures du MTQ (Desgagné 2004). Ce document mentionne que la durée de vie moyenne des infrastructures routières en béton usuel au Québec est de 60 ans. Toutefois, ce chiffre n'est pas valable pour toutes les infrastructures, car il a été démontré que la vie utile d'une infrastructure en béton peut varier énormément, tout dépendant des facteurs de détérioration auxquels cette infrastructure est soumise.

Connaître la durée de vie du béton haute performance est un exercice tout aussi important que pour le béton usuel. En effet, cette durée de vie permet d'identifier quand se dérouleront les coûts supplémentaires liés à la disposition de l'infrastructure en BHP. Pour l'instant, il n'est pas encore possible de trouver des données complètes sur la durée de vie du béton haute performance, car ce matériau n'est pas utilisé depuis suffisamment longtemps. Pour estimer une durée de vie, il faut donc s'en remettre aux essais en laboratoire et aux prévisions des auteurs. Les recherches effectuées jusqu'à maintenant laisse à penser que ce béton pourrait avoir une durée de vie se situant entre 75 et 100 ans. L'American Concrete Institute (ACI) fixe d'ailleurs la durée de vie minimale du BHP à 75 ans⁶.

Une fois les moments d'interventions identifiés, il faut identifier les paramètres qui affectant la valeur économique dans le temps des différentes activités qui se dérouleront sur une infrastructure.

⁶ [www.findarticles.com/cf_dls/m0NSX/6_47/91040214/p1/article.jhtml]

Taux d'inflation

L'outil présenté dans cet article utilise le taux d'inflation afin d'estimer la valeur des avantages et des coûts supplémentaires prévus dans l'avenir. Cette estimation est effectuée en indexant les coûts actuels des activités. L'indexation est une révision d'un prix en fonction d'un indice utilisé comme référence (Le Petit Robert 1993). Dans cet article, le prix représente le coût actuel d'une activité d'entretien, de réparation, d'inspection, de réfection ou de disposition et le coût indexé représente le coût futur de l'activité.

Taux d'actualisation

L'utilisation du coût de revient sur le cycle de vie nécessite un ajustement des avantages et des coûts supplémentaires pour tenir compte de la valeur de l'argent dans le temps. Cette procédure est nommée actualisation et se fait à l'aide d'un taux d'actualisation. Elle repose sur le concept qu'un montant à payer dans le futur représente un fardeau inférieur au même montant à payer présentement. Il faut donc actualiser le montant futur pour pouvoir le comparer au montant présent (Levin et McEwan 2001). Ainsi, l'actualisation peut être définie comme un processus qui permet de ramener en dollars d'aujourd'hui les coûts et les avantages futurs.

MISE EN PRATIQUE

Afin de mettre en pratique l'outil présenté dans cet article, il faut avant tout établir une valeur sur chacun des paramètres qui viennent d'être présentés ainsi que sur les différentes variables incluses dans les formules de coût pour les parties intéressées. Il sera ensuite possible d'identifier, à l'aide d'un outil d'analyse comme la VAN, lequel des deux matériaux, entre le béton usuel et le BHP, est le plus avantageux pour construire une infrastructure. Toutefois, il est évident que chacun des paramètres et chacune des variables peuvent prendre différentes valeurs. Dans cette perspective, il est donc important de choisir adéquatement les données qui sont utilisées pour les calculs et, si besoin il y a, de recourir à l'analyse de sensibilité.

ANALYSE DE SENSIBILITÉ

L'analyse de sensibilité consiste à étudier les effets d'un changement apporté à une variable sur les autres variables, de même que sur les résultats définitifs⁷. L'analyse de sensibilité permet donc d'estimer des avantages et des coûts selon différentes hypothèses afin de vérifier comment les résultats d'une analyse peuvent être modifiés par celles-ci. Ainsi, il est possible, à l'aide de cette analyse de vérifier, si la décision concernant le matériau peut changer, compte tenu des variations possibles dans les variables et les paramètres utilisés.

⁷ [w3.granddictionnaire.com/btml/fra/r_motclef/index800_1.asp]

CONCLUSION

Étant donné la situation économique du gouvernement et plus précisément, celle du ministère des Transports du Québec, il est important de développer des outils qui lui permettent de prendre des décisions plus avantageuses à long terme. C'est dans cette perspective que le modèle d'analyse des avantages et des coûts sur le cycle de vie du béton haute performance dans la construction d'infrastructures routières, présenté dans cet article, a été développé. Ce modèle peut s'avérer un outil de décision important lors de la planification de la construction d'une infrastructure routière. Il peut notamment faciliter et améliorer la prise de décision concernant une infrastructure puisqu'il permet de connaître rapidement le béton plus économique à long terme entre le béton usuel et le BHP pour l'ensemble des parties intéressées.

BIBLIOGRAPHIE

AÏTCIN, Pierre-Claude (2001). *Béton haute performance*. Éditions Eyrolles. 683 pages.

BISSON, Bruno (2004, avril). *42 % des ouvrages devront être réparés ou refaits d'ici cinq ans : les ponts et les viaducs tombent en ruine*. La Presse, le 25 avril 2004. 536 mots.

CONSEILS ET VÉRIFICATION Canada (1995, mai). *Guide de l'analyse avantages-coûts pour les programmes de réglementations*. Conseil et Vérification Canada.

D'AVIGNON, Gilles, GOSSELIN, Maurice et THIBEAULT, Carl (2002). *Analyse des avantages et des coûts liés à l'instauration de la norme Routier@100 % pour le transport par camions lourds*. Université Laval. 72 pages.

DESGAGNE, Gérard (2004, juin). *Les défis qui se posent aux propriétaires d'ouvrages en matière de durabilité des structures*. Ministère des Transport du Québec, Direction des infrastructures. Recueil d'articles du Colloque CRIB 2004, 3 et 4 juin 2004. Pages 1 à 49.

GOURVIL, Louis et al. (2004). *Évaluation de la congestion routière dans la région de Montréal*. Ministère des Transports Québec. 123 pages.

HASSANAIN, Mostafa A., LOOV, Robert E. (2003). *Cost Optimization of Concrete Bridge Infrastructure*. Can. J. Civ. Eng., Vol. 30, 2003. Pages 841 à 849.

LEVIN, Henry M., McEWAN, Patrick J. (2001). *Cost-effectiveness Analysis 2nd Edition*. Sage Publications Inc. 308 pages.

MANIATE, Peter M. et CARTER, Donald C. (1973, janvier). *The Basics of Benefit-Cost Analysis*. Environment Canada. 43 pages.

MORCOUS, G., RIVARD, H, HANNA, A.M. (2002, septembre). *Modeling Bridge Deterioration Using Case-based Reasoning*. Journal of Infrastructure Systems. Pages 86 à 95.

NAS, Tefvik F.(1996). *Cost-Benefit Analysis : Theory and Application*. Sage Publication inc. 220 pages.

O'BRIEN, T.K. (1983). *Long Term Behavior of Composites*.

ROYCHOUDHURY, Pratik (2001). *A Life Cycle Cost Estimation Model for FRP Bridge Decks*. College of Engineering and Mineral Ressources at West Virginia University. 94 pages.

INTERNET

[www.magazinemci.com/articles/dossiers/2003/06/quebec7.htm]

[www.saaq.gouv.qc.ca/nous/index.html]

[www.saaq.gouv.qc.ca/victime/index.html]

[www.vgq.gouv.qc.ca/publications/Rapp_2003_02/Rapport/html/04.html]

[www.canadianeconomy.gc.ca/francais/economy/inflation2.html]

[www.canadianeconomy.gc.ca/francais/economy/cpi.html]

[w3.granddictionnaire.com/btml/fra/r_motclef/index800_1.asp]