PROCESSUS D'ÉLABORATION DE L'ORIENTATION MINISTÉRIELLE SUR LE CHOIX DES TYPES DE CHAUSSÉES DE TRANSPORTS QUÉBEC

Bertrand Cormier, ing.

Transports Québec

Denis Thébeau, ing.

Transports Québec

Exposé préparé pour la séance intitulée :

Contribution des chaussées durables

à l'infrastructure du Canada (B)

Congrès annuel 2003

de l'Association des transports du Canada

à St-John's (Terre-Neuve et Labrador)

21 au 24 septembre 2003

RÉSUMÉ

En 2001, le ministère des Transports du Québec (MTQ) adoptait une orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées. Cette orientation subdivise le réseau routier existant en réseaux réservés pour les chaussées en béton de ciment et pour celles en enrobé bitumineux. Cet article présente le processus suivi par le MTQ pour déterminer ces réseaux réservés, en consultation avec les industries du ciment et du bitume, à partir d'une méthodologie d'analyse probabiliste des coûts sur le cycle de vie (*Life Cycle Cost Analysis* - LCCA).

La méthodologie d'analyse a consisté à ramener l'ensemble des conditions possibles à 16 cas-types couvrant une gamme de caractéristiques suffisamment étendue et représentative de l'ensemble du réseau routier. Les cas-types ont été comparés par paires sur une période d'analyse de 50 ans au moyen d'un logiciel d'analyse LCCA utilisant une approche probabiliste. Des équations de régression ont ensuite été établies entre la valeur actualisée nette (moyenne et écart type) de chaque option et les paramètres les plus significatifs. Parallèlement à l'analyse LCCA, l'analyse multicritère a été utilisée pour prendre en compte un certain nombre de facteurs non quantifiables en termes monétaires. Les critères d'attribution des réseaux ont été déterminés en appliquant des tests de dominance aux résultats de l'analyse LCCA probabiliste. Dans les zones où aucune des options n'est dominante par rapport à l'autre, des analyses spécifiques seront requises en utilisant des données plus détaillées de niveau projet.

L'orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées doit être révisée cinq ans après son adoption.

1. Introduction

En mars 1995, le Ministère des Transports du Québec (MTQ) rendait publique sa *Politique de construction et de conservation des chaussées en béton de ciment* [1]. Cette politique visait à encadrer et à outiller l'ensemble du MTQ en regard de la conservation et de la construction des chaussées en béton de ciment. Le MTQ reconnaissait alors que les chaussées en béton de ciment pouvaient représenter une option viable pour une partie du réseau routier soumis à une circulation très intense et composée d'une forte proportion de véhicules lourds.

Cette politique a toutefois fait l'objet de plusieurs critiques de la part des différents acteurs de l'industrie routière, tant du côté de l'industrie du ciment que du côté de l'industrie du bitume. La nature et la méthodologie des analyses requises n'étaient pas spécifiées, de sorte que des objections étaient soulevées, par l'une ou l'autre des industries, au sujet des choix faits par le MTQ pour presque tous les projets de réhabilitation majeure. Les résultats des analyses étaient mis en doute, les hypothèses étaient contestées, les coûts et la performance des interventions étaient remis en question, etc.

En 2001, une nouvelle orientation ministérielle [2] définissant des réseaux réservés aux chaussées en enrobé bitumineux et en béton de ciment a été adoptée, après qu'une étude exhaustive utilisant l'analyse des coûts globaux sur le cycle de vie (*Life Cycle Cost Analysis* - LCCA) ait déterminé les conditions favorisant chacun des types de chaussées.

Les principaux avantages de l'approche définissant des réseaux réservés comparativement à la politique antérieure sont :

- Il n'y a pas de disparité du processus de décision entre les différents territoires;
- La rentabilité économique des deux types de chaussées a été démontrée sur une base comparable dans l'étude;
- Un marché minimum est alloué aux deux industries, leur assurant davantage de stabilité et encourageant la conservation et le développement de leur expertise;
- Il n'y a plus de controverse au sujet des projets majeurs.

2. Implication des industries

Les industries du ciment et du bitume ont participé activement au processus de réflexion visant à modifier l'ancienne politique sur les chaussées en béton de ciment. À partir de septembre 1999, plusieurs rencontres ont été tenues entre des représentants du MTQ, incluant à quelques occasions le Ministre, et les représentants des industries du ciment et du bitume, de même qu'avec l'Association des constructeurs de routes et grands travaux du Québec (ACRGTQ). Ces rencontres ont permis à chacun des partenaires d'exprimer sa position par rapport à la *Politique de construction et de conservation des chaussées en béton de ciment* de 1995 et de proposer des améliorations.

Un Comité directeur ministériel a été formé afin d'analyser les commentaires des industries et définir une nouvelle orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées qui tienne compte de ces préoccupations. Ce comité était formé de 13 représentants de directions territoriales et de directions centrales du MTQ.

2.1 Arguments avancés par les industries et évaluation par le MTQ

2.1.1 Propositions et arguments de l'industrie du ciment

L'industrie du ciment s'est montrée favorable au maintien de la *Politique de construction et de conservation des chaussées en béton de ciment* en proposant toutefois un nouveau cadre d'application basé sur le débit journalier moyen annuel des camions et véhicules lourds (DJMAC). Cette industrie a présenté une carte montrant un réseau intégré d'environ 3500 km de chaussées en béton de ciment axé sur des itinéraires reliés à l'activité économique du Québec sans restrictions de charges lors du dégel.

Afin de maintenir une saine compétitivité dans le domaine des chaussées en béton de ciment, il a été proposé également que le MTQ procède à l'octroi d'un volume minimal annuel de travaux de chaussée en béton de ciment (100 km de chaussée 2 voies, soit 200 000 m^3 de béton).

Les arguments favorisant les chaussées en béton, tels qu'avancés par l'industrie, et les résultats de leur examen par le MTQ sont les suivants :

- *Économie de carburant des usagers de la route, surtout les camions.*

  Plusieurs faiblesses ont été notées au niveau de la méthodologie employée par le Conseil National de Recherche du Canada (CNRC) pour la réalisation de l'étude, ce qui ne permettait pas de généraliser les résultats. S'il s'avérait que les études subséquentes en cours et les résultats de l'analyse du MTQ soient concluants, ce critère sera retenu lors de la prochaine révision de l'orientation ministérielle en 2006.

- *Économie de consommation d'électricité reliée à l'éclairage routier.*

  Les systèmes d'éclairage existants sont généralement en bon état et leur remplacement générerait des coûts beaucoup plus importants que les économies liées à la consommation d'électricité. Compte tenu de la faible proportion de construction neuve par rapport aux reconstructions et que ces données s'appliquent davantage à la construction neuve, le MTQ ne considère pas ce critère comme ayant un coût différentiel assez important pour être retenu.

- *Élimination des restrictions de charges pendant la période de dégel.*

  Des chaussées résistantes aux charges légales en période de dégel peuvent être construites tant en enrobé qu'en béton de ciment; il s'agit de prévoir cette situation

au moment de la conception. Or, actuellement, les méthodes de conception en usage au Québec prévoient une période de restriction de charge. Dans ce contexte, une levée des périodes de dégel entraînerait une accélération des dégradations des chaussées existantes et une perte substantielle de leur durée de vie. Cette réduction affecte tout type de chaussée. Ce critère n'a donc pas été retenu.

- *Réduction des coûts aux usagers causés par les travaux en raison d'une moindre fréquence des interventions.*

  Ce critère est pris en compte dans la méthode LCCA.

- *Moins d'émissions polluantes car moins de consommation d'essence et moins de congestion reliée aux travaux.*

  Le MTQ émet certaines réserves sur la méthodologie et les hypothèses de travail utilisées pour en arriver àces résultats. Une méthodologie d'analyse sera mise au point afin d'évaluer ce critère lors de la prochaine révision de l'orientation en 2006.

- *Retombées économiques supérieures en termes de création d'emploi.*

  En conformité avec les principes généralement reconnus en science économique, le MTQ a statué que les retombées économiques ne doivent pas être inclues aux analyses LCCA ni multicritère.

2.1.2 Propositions et arguments soulevés par l'industrie du bitume

Selon l'industrie du bitume, la gestion globale des chaussées doit être basée sur des analyses LCCA incluant les coûts des délais aux usagers lors de la construction et de la réhabilitation de tous les types de chaussées.

Les arguments favorisant les chaussées en enrobé bitumineux, tels qu'avancés par cette industrie, et les résultats de leur examen par le MTQ sont les suivants :

- *Rapidité d'exécution des travaux réduisant les coûts des délais aux usagers.*

  Cet élément est pris en compte dans la méthode LCCA.

- *Confort de roulement supérieur.*

  Au MTQ, ce critère est mesuré de manière identique quel que soit le type de chaussée et les exigences de réception de chantier sont les mêmes. Ce critère est indirectement pris en compte dans l'analyse LCCA par le biais de la fréquence des interventions.

- *Absence de joint de retrait.*

  L'IRI est l'indicateur permettant de mesurer tout défaut significatif des joints des dalles des chaussées en béton de ciment. Pour les raisons invoquées précédemment, cet élément n'a pas été considéré discriminant.

- *Surface moins bruyante sous circulation.*

  Ce critère est peu documenté mais a tout de même été pris en compte dans l'analyse multicritère.

- *Matériau entièrement recyclable.*

  Le potentiel de recyclage des deux types de chaussées est pris en compte dans la méthode LCCA.

- *Quantité requise de sels de déglaçage moindre.*

  Selon les données du MTQ, les chaussées en béton de ciment nécessitent de 5 à 15 % plus de fondants que les chaussées en enrobé àcause de la plus grande capacité d'absorption du rayonnement solaire de ces dernières. Ce critère a été retenu pour l'analyse multicritère.

- *Consommation d'énergie moindre pour la fabrication de l'enrobé.*

  La méthode d'analyse exergétique utilisée pour justifier cet argument présente certaines lacunes. Le MTQ n'a pas reçu de données supplémentaires àce sujet de la part de l'industrie et, en conséquence, ce critère n'a pas été retenu.

2.2 Consensus entre le MTQ et les industries

Suite aux rencontres avec les industries, il a été décidé de remplacer la « Politique » sur les chaussées en béton par une « Orientation ministérielle » claire et précise sur le choix des types de chaussées.

Un consensus a également été dégagé au sujet des actions àentre prendre pour établir la base de cette orientation ministérielle :

- **Analyse des coûts globaux sur le cycle de vie (LCCA)**: mettre au point une méthodologie de sélection des types de chaussées tenant compte du coût des interventions sur la durée de vie de la chaussée et du coût des délais aux usagers causés par les travaux.

- **Analyse multicritère** : mettre au point une méthodologie d'analyse multicritère permettant de prendre en compte les aspects non monétaires.

- **Révision** : réviser l'orientation ministérielle dans cinq ans.

3. Réalisation des analyses

Étant donné la problématique d'uniformité et de contestation des analyses faites au cas par cas avec l'ancienne politique, il a été décidé d'évaluer àpriori l'ensemble du réseau routier au moyen des analyses LCCA et multicritère.

Toutefois, l'analyse des coûts globaux et l'analyse multicritère sont des méthodes habituellement utilisées au niveau projet. Or, il aurait été trop fastidieux d'analyser individuellement tous les segments du réseau routier en considérant tous les facteurs qui leurs sont propres, par exemple le volume de trafic, la structure de chaussée, le type de revêtement, les conditions météorologiques, le type de sol d'infrastructure, etc.

La démarche suivie pour faire l'analyse du réseau a donc nécessité une simplification en ramenant l'ensemble des cas àanalyser à16 cas -types couvrant une gamme de conditions suffisamment étendue et représentative de l'ensemble du réseau routier. Pour chacun de ces 16 cas-types, une analyse LCCA probabiliste comparant une option en béton de ciment et une option en enrobé bitumineux a été faite. Une analyse de régression a ensuite permis de généraliser les résultats à l'ensemble du réseau routier en fonction du DJMAC.

Certains facteurs non quantifiables en termes monétaires ont été pris en compte dans une analyse multicritère. Cependant, en raison du faible poids accordé àces facteurs, l'analyse multicritère n'a modifié que légèrement le résultat des analyses LCCA.

3.1 Analyse probabiliste des coûts globaux

La méthode LCCA a pour but d'établir, entre plusieurs options possibles, celle dont la valeur actualisée nette (VAN), c'est à dire l'ensemble des coûts actualisés sur une même période d'analyse, est la plus basse. Comme l'estimation des paramètres de l'analyse LCCA est toujours affectée d'un certain degré d'incertitude, une méthode de type probabiliste a été employée afin de prendre en compte cette incertitude dans le calcul comparatif du coût des options et en mesurer l'influence.

Le logiciel Visual/LCCA^{TM}, qui est un module intégré au système de gestion des chaussées du MTQ acquis en 1998 de la firme Texas Research and Development Inc. (TRDI), a été utilisé pour effectuer les analyses. Ce logiciel calcule la VAN de plusieurs options, en incluant ou non les coûts aux usagers dans les zones de construction. Il permet également d'analyser la sensibilité des principaux paramètres sur le résultat de la VAN et de prendre en compte l'incertitude sur les quatre paramètres suivants : le coût des interventions de reconstruction et de réhabilitation, la durée de vie de ces interventions, le taux d'accroissement de la circulation et le taux d'actualisation.

La variabilité des paramètres de base a été prise en compte au moyen d'une distribution triangulaire des probabilités, basée sur les valeurs minimales, maximales et

les plus probables habituellement observées. La technique d'échantillonnage Monte Carlo est utilisée par le logiciel pour établir la distribution de la VAN en fonction de la variabilité des différents paramètres. Pour chaque analyse, 10 000 simulations étaient effectuées.

Seize (16) cas-types ont été analysés avec cette méthode (tableau 1). Les facteurs définissant ces cas-types sont le débit journalier moyen annuel (DJMA), le pourcentage de camions, le nombre de voies par direction et le type de spectre de charges (local ou transit) avec le facteur d'agressivité par camion qui lui est associé. Le trafic local est principalement constitué de camions d'une seule unité dont le facteur d'agressivité est moins élevé que celui du trafic de transit, principalement constitué de semi-remorques.

Tableau 1. Numérotation et description des cas-types

Type de spectre de charges		Local	Local	Transit	Transit
Pourcentage de camions		5	10	10	25
Facteur d'agressivité par camion*		1	1	2	3,2
Nombre de voies	DJMA				
2	20000	1	2	3	4
2	40000	5	6	7	8
3	50000	9	10	11	12
3	90000	13	14	15	16

* : Équivalent de charges axiales souples par camion

3.1.1 Dimensionnement des cas-types

Le dimensionnement de la structure de chaussée des options béton de ciment et enrobé bitumineux a été fait pour chacun des cas-types afin d'évaluer le coût de la reconstruction initiale, étant donné que l'analyse portait sur un réseau existant. Diverses autres méthodes de réhabilitation des chaussées existantes auraient pu être considérées, mais pour une étude àl'échelle réseau ceci aurait nécessité l'analyse d'un trop grand nombre de cas.

La méthode et les paramètres de dimensionnement employés sont ceux couramment utilisés au MTQ. Le taux d'accroissement annuel du débit de circulation a été fixé à 1,5 ± 0,5 %.

Quelques exemples des structures de chaussée calculées sont présentés dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 2. Exemples d'épaisseurs de structures de chaussée en béton de ciment pour 4 cas-types (mm)

Cas / Couche	1	6	11	16
Revêtement	180	226	253	337
Fondation	150	150	150	150
Sous-fondation	749	703	676	592

Tableau 3. Exemples d'épaisseurs de structures de chaussée en enrobé bitumineux pour 4 cas-types (mm)

Cas / Couche	1	6	11	16
Revêtement	153	204	231	313
Fondation	199	194	196	184
Sous-fondation	727	681	652	593

3.1.2 Paramètres de l'analyse LCCA

Séquence des interventions

Une séquence des interventions futures a été établie pour chacune des options afin de couvrir la période d'analyse fixée à 50 ans. Les interventions choisies sont des interventions utilisées couramment et bien maîtrisées au Québec. Plusieurs autres techniques existent mais n'ont pas été retenues afin de limiter le nombre de cas à analyser.

Pour l'option chaussée en béton de ciment, la séquence comprend trois interventions de réhabilitation pendant la période d'analyse. L'intervention initiale consiste à reconstruire complètement la chaussée après excavation des matériaux sur une épaisseur équivalente àla protection partielle contre le gel. La deuxième intervention consiste àrestaurer 8 % de la superficie de la dalle, puis meuler la surface et regarnir les joints sur l'ensemble du projet. La dernière intervention est une reconstruction partielle, qui consiste àenlever et remplacer la dalle en béton de ciment sans intervenir

en profondeur. L'activité d'entretien de routine prise en compte pour l'option béton de ciment est le regarnissage périodique des joints.

L'option chaussée en enrobé comprend 7 interventions de réhabilitation. La première intervention est similaire àcelle de l'option chaussée en béton de ciment, sauf pour ce qui est de la nature du revêtement. Deux interventions de recouvrement bitumineux suivent. Une reconstruction partielle de la chaussée est planifiée par la suite et consiste à retraiter en place la chaussée, stabiliser le matériau retraité et poser un nouveau revêtement en enrobé. Deux autres interventions de recouvrement bitumineux sont réalisées. Finalement, une dernière intervention de reconstruction partielle en enrobé, similaire àla 4 ^{ième} intervention est prévue. L'activité d'entretien de routine associée à chacune des interventions de l'option enrobé bitumineux est un traitement des fissures.

Durée de vie des interventions

Après que les séquences des interventions aient été établies pour les deux options, la durée de vie de chacune des interventions a été déterminée. Ces durées de vie ont été établies àpartir du Guide LCCA du MTQ [3].

Les durées de vie des interventions de l'option béton sont présentées au tableau 4. Pour cette option, les mêmes durées de vie ont été retenues pour tous les cas-types étant donné que les chaussées en béton de ciment sont conçues pour supporter le trafic lourd au point de vue structural et sont peu sensibles à la dégradation des caractéristiques de surface par la circulation.

Tableau 4. Durée de vie des interventions de l'option béton pour tous les cas-types

Intervention	Séquence d'intervention	Durée de vie (années)
Reconstruction complète	1	29 ± 5
Restauration de la dalle et meulage	2	10 ± 2
Reconstruction de la dalle	3	29 ± 5

Pour l'option enrobé bitumineux, la durée de vie varie d'un cas àl'autre en fonction du DJMA et de la proportion de camions. Le dimensionnement structural est basé sur une période de design identique pour tous les cas-types, mais plusieurs caractéristiques de surface (ornières, usure, arrachement aux fissures) sont altérées plus rapidement sur les routes àfort débit de circulation. Quelques exemples sont prés entés au tableau 5.

En ce qui concerne les activités d'entretien de routine, le regarnissage des joints des chaussées en béton de ciment est prévu 7 ans après chacune des interventions de reconstruction de cette option, tandis que le traitement des fissures est prévu 2 ans après chacune des interventions de l'option enrobé bitumineux.

Tableau 5. Durée de vie des interventions de l'option enrobé pour 4 cas-types

Intervention	Séquence d'intervention	Durée de vie (années)			
		Cas 1	Cas 6	Cas 11	Cas 16
Reconstruction complète	1	14 ± 2	13 ± 2	11 ± 2	9 ± 2
Recouvrement bitumineux	2,3	12 ± 2	11 ± 2	9 ± 2	7 ± 2
Reconstruction partielle	4	14 ± 2	13 ± 2	11 ± 2	9 ± 2
Recouvrement bitumineux	5,6	12 ± 2	11 ± 2	9 ± 2	7 ± 2
Reconstruction partielle	7	14 ± 2	13 ± 2	11 ± 2	9 ± 2

Coûts pris en compte dans l'analyse LCCA

Les coûts pris en compte dans cette analyse sont les coûts de reconstruction, d'entretien, de réhabilitation, d'administration et la valeur résiduelle.

Les coûts unitaires de construction (matériaux et mise en œuvre) sont basés sur les coûts historiques moyens pour des travaux similaires. Le tableau 6 indique les principaux coûts unitaires utilisés. La valeur de la vie résiduelle à la fin de la période d'analyse est calculée automatiquement par le logiciel à chaque simulation.

Tableau 6. Coûts unitaires de construction ($/m^3)

Matériaux	Coût minimum	Coût moyen	Coût maximum
Béton de ciment	144	155	170
Enrobé bitumineux	122	139	156
Fondation	17	21	24
Sous-fondation	13	16	20

Pour la reconstruction initiale, seuls les coûts qui diffèrent d'une option à l'autre ont été pris en compte. Les coûts unitaires des interventions subséquentes sont basés sur les coûts actuels car rien ne porte à croire qu'ils évolueront différemment dans le futur. Des coûts administratifs ont été calculés pour chaque intervention; cet item représente les coûts reliés aux mesures d'atténuation de l'impact des travaux sur la circulation. Il n'est pas possible de faire de distinction à cet égard entre les options à l'échelle du réseau, mais un pourcentage fixe du coût des travaux, établi à 17 %, est considéré représentatif de ces coûts.

Les coûts unitaires ont été appliqués à un tronçon fictif de 5 km (longueur représentative d'un projet moyen) pour établir le coût de chacune des interventions à saisir au logiciel d'analyse LCCA.

Taux d'actualisation

Le taux d'actualisation recommandé au MTQ pour les analyses LCCA est de 5 %. Ce taux représente le coût d'emprunt public réel, soit le taux d'intérêt historique des obligations émises par le gouvernement moins l'inflation. Dans le cadre de la présente étude, l'incertitude sur ce paramètre a été estimée à± 1 %.

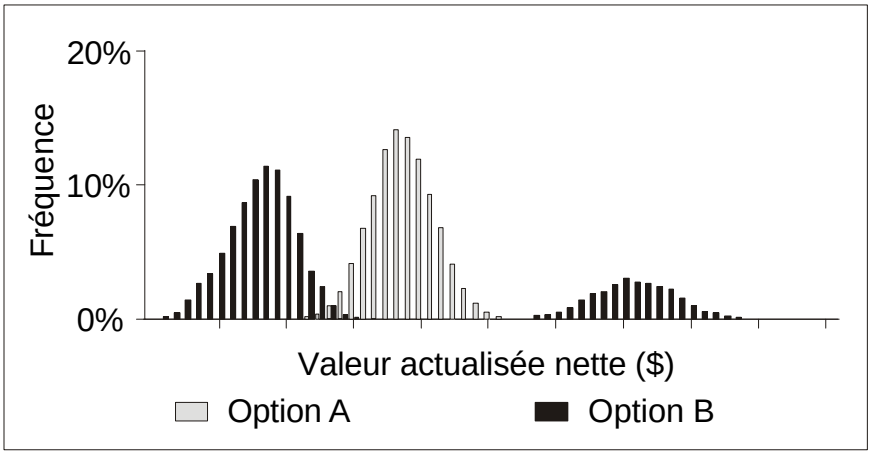
Coûts aux usagers dans les zones de travaux

La méthode utilisée pour déterminer les coûts aux usagers dans les zones de travaux est celle recommandée par la FHWA des États-Unis [4] et est basée sur une étude de Winfrey (1969) introduite en 1972 dans le NCHRP Report 133 [5]. Les coûts obtenus au moyen de cette méthode sont en dollars américains de 1970 convertis en dollars canadiens d'aujourd'hui en les multipliant par un facteur approprié. Au MTQ, ce facteur d'inflation *(escalation factor)* est établi par le Service de l'économie et du plan directeur en transport. Dans le cadre de la présente étude, le facteur d'inflation utilisé était de 4,199.

Les coûts aux usagers dans la zone des travaux ont été calculés dans une première analyse, mais l'examen des résultats a révélé des anomalies soulevant suffisamment de doutes pour que ce type de coûts ne soit finalement pas pris en compte dans le processus de détermination des réseaux réservés.

Le problème des analyses LCCA probabilistes incluant les coûts aux usagers est qu'elles montrent souvent une distribution bimodale de la VAN (voir figure 1) alors que la distribution est toujours unimodale lorsque les coûts aux usagers ne sont pas pris en compte.

Figure 1. Distribution bimodale de certaines analyses
incluant les coûts aux usagers dans les zones de travaux



L'explication la plus plausible de ce phénomène, car il est difficile de vérifier ces calculs par une autre méthode ou manuellement, est que le coût des délais aux usagers n'est pas pris en compte dans le calcul de la valeur résiduelle. Contrairement au coût des travaux survenant près de la fin de la période d'analyse, qui est pratiquement

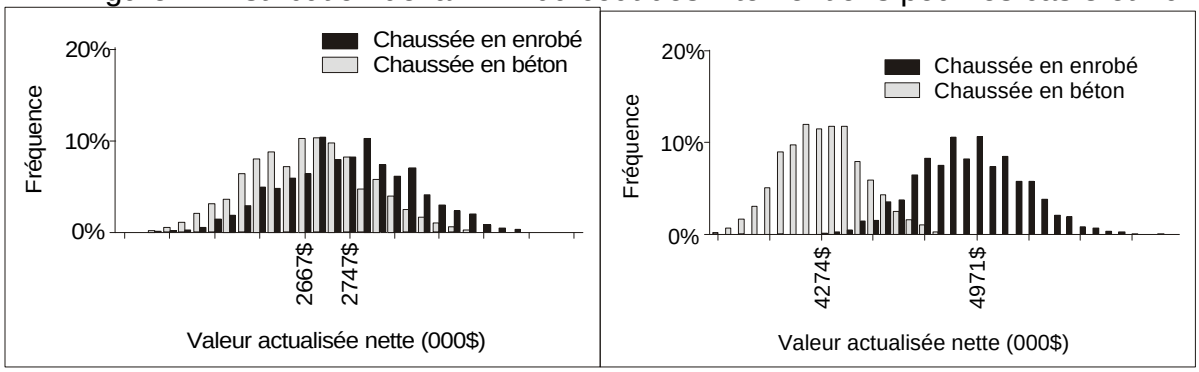
négligeable, tout d'abord en raison de l'actualisation mais surtout àcause de la valeur résiduelle qui lui est appliquée, le coût aux usagers entraîné par ces travaux est beaucoup plus important, d'une part en raison de l'augmentation exponentielle de la circulation dans le temps et d'autre part parce qu'aucune valeur résiduelle n'est attribuée àce type de coût.

Ceci fait en sorte que les options ne sont pas traitées équitablement et l'effet de ce problème peut être significatif dans certains cas.

3.1.3 Calculs

Après que tous les paramètres aient été déterminés, les 16 cas-types ont été analysés avec le logiciel Visual/LCCA^{TM}. Les résultats des simulations Monte Carlo ont été utilisés pour comparer les distributions des VAN des options béton et enrobé bitumineux pour chacun des 16 cas-types. La figure 2 montre la distribution de la VAN pour un cas où les résultats se chevauchent considérablement (cas 8) et un cas où le chevauchement est minime (cas 16).

Figure 2. Distribution de la VAN du coût des interventions pour les cas 8 et 16



La valeur moyenne et l'écart type de la distribution de la VAN ont été déterminés pour chacune des options de chaque cas-type, afin de permettre la généralisation des résultats au moyen d'analyses de régression.

3.2 Généralisation des résultats

3.2.1 Analyses de régression

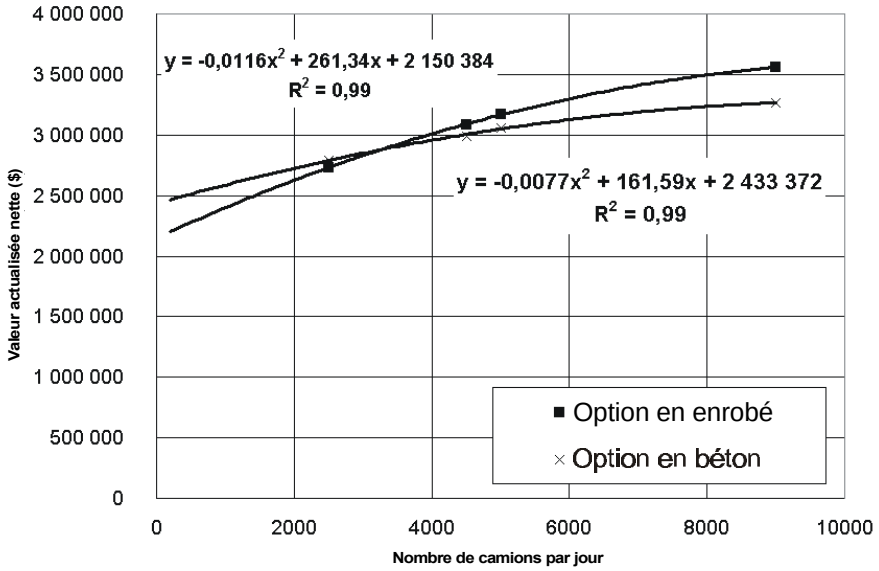
Plusieurs essais empiriques ont été nécessaires pour en arriver à déterminer le paramètre auquel la VAN pouvait être corrélée pour généraliser les résultats, de façon à pouvoir les extrapoler au moyen d'équations de régression. Ce paramètre s'est révélé être le nombre de camions, soit le pourcentage de camions multiplié par le DJMA, à condition de subdiviser les 16 cas-types analysés en 4 catégories de régression basées sur le nombre de voies par direction et le type de spectre de trafic lourd (voir tableau 7).

Tableau 7. Catégories de régression

Catégorie	Cas-types
Local 2 voies	1,2,5,6
Local 3 voies	9,10,13,14
Transit 2 voies	3,4,7,8
Transit 3 voies	11,12,15,16

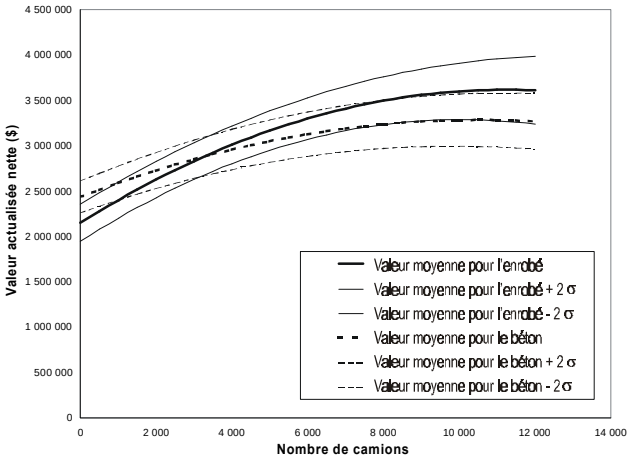
Pour chaque catégorie, la VAN moyenne de chacune des options a été rapportée graphiquement en fonction du nombre de camions propre à chaque cas-type. Une régression de type polynomiale a ensuite été établie, permettant de déterminer un seuil de rentabilité déterministe (voir figure 3).

Figure 3. Exemple d'une régression àpartir des résultats de VAN pour la catégorie « Local 3 voies »



Des équations de régression ont également été établies pour les écarts types. Lorsque la dispersion des résultats est ajoutée aux courbes précédentes, le seuil de rentabilité d'une option par rapport àl'autre devient lui aussi assorti d'une dispersion. La figure 4 montre l'ampleur de la zone de chevauchement des options lorsqu'une variabilité de $\pm 2\sigma$ est considérée.

Figure 4. Exemple de courbes de régression, incluant la variabilité, pour la catégorie « Local 3 voies »



3.2.2 Tests de dominance

Étant donné la dispersion importante du seuil de rentabilité d'une option par rapport à l'autre, le recours à un test statistique a été nécessaire pour départager les options.

Le test de dominance permet d'évaluer à quel point une option se démarque d'une autre. Il représente la probabilité que la valeur actualisée nette d'une option soit supérieure ou inférieure à celle de l'autre option.

Le niveau de dominance peut varier de 0 à 1. Une valeur de 1 signifie qu'une option domine totalement l'autre, alors qu'une dominance de 0 signifie que cette option est totalement dominée par l'autre. Un niveau de dominance de 0,5 signifie que chacune des deux options a une probabilité de 50 % de dominer l'autre, ce qui revient à dire qu'elles sont équivalentes. Par convention dans le cadre de la présente étude, une dominance de 1 signifie que la VAN de l'option béton de ciment pour un cas donné a une probabilité de 100 % d'être plus élevée que la VAN de l'option enrobé bitumineux, tandis qu'une dominance de 0 signifie qu'elle a une probabilité de 0 % d'être plus élevée. Habituellement, une dominance supérieure à 0,85 ou inférieure à 0,15 est considérée comme significative, à l'avantage de l'une ou l'autre des options.

Le résultat du calcul des niveaux de dominance pour la catégorie « Local 3 voies » est montré au tableau 8.

Tableau 8. Niveaux de dominance pour la catégorie « local 3 voies »

Camions par jour	Dominance
0	0.982
2000	0.760
4000	0.365
6000	0.152
8000	0.082

3.3 Analyse multicritère

Parallèlement à l'analyse LCCA, l'analyse multicritère a été utilisée pour prendre en compte un certain nombre de facteurs non quantifiables en termes monétaires. Après examen de plusieurs critères potentiels, incluant les arguments avancés par les industries, seuls ceux montrés au tableau 9 ont été considérés suffisamment significatifs pour être retenus.

Tableau 9. Grille d'analyse multicritère

Critère	Exploitation		Construction			Développement durable	
Pondération	0,7		0,1			0,2	
Sous-critère	A Fondants	B Marquage	C Surveillance	D Auscultation	E Température	F Sources de matériaux	G Bruit
Pondération	0,75	0,25	0,6	0,2	0,2	0,6	0,4
Poids résultant	0,53	0,17	0,02	0,02	0,06	0,12	0,08

Certains de ces facteurs impliquent une différence de coût entre les options, mais également des différences plus difficilement chiffrables quant à l'organisation du travail, au monitoring de l'état du réseau ainsi qu'à leur impact sur la sécurité des usagers.

Le résultat de l'analyse multicritère a favorisé l'option enrobé bitumineux dans une proportion de 60 points contre 40. Il a par contre été jugé que ce résultat ne devait représenter qu'un poids d'environ 10 % dans la décision par rapport aux résultats des analyses LCCA.

4. Détermination des réseaux réservés au béton de ciment et à l'enrobé bitumineux

4.1 Critères d'allocation des réseaux réservés

La subdivision du réseau routier en deux zones réservées sur la base d'un niveau de dominance de 0,50 aurait eu le mérite d'établir une situation claire dès le départ. Cette approche n'a toutefois pas été retenue par le comité directeur ministériel car il a été

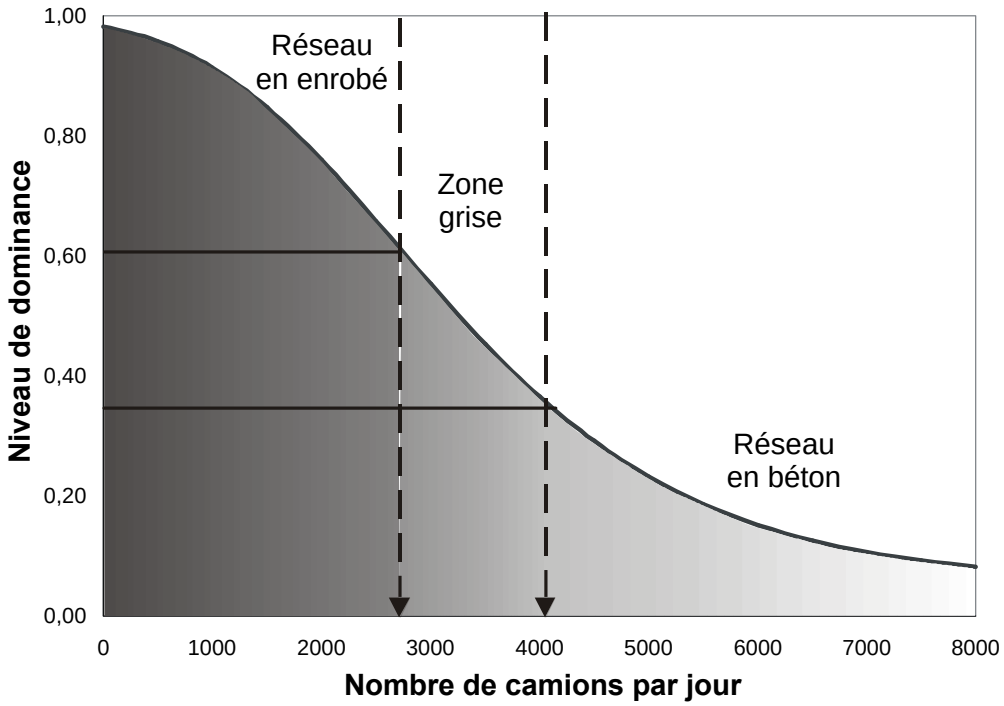
jugé qu'une zone grise (non attribuée au béton ou àl'enrobé) permettrait, d'une part, d'encourager la concurrence et l'innovation et, d'autre part, de prendre en compte les conditions locales lors d'analyses plus détaillées au niveau projet, ce qui n'est pas possible lors de l'analyse au niveau réseau.

Il a donc été convenu d'établir une zone grise en utilisant des seuils de dominance assez significatifs. De plus, afin de tenir compte également des résultats de l'analyse multicritère favorisant l'enrobé bitumineux, il a été estimé que l'option chaussée en béton devrait dominer un peu plus que celle en enrobé pour être considérée équivalente. Les seuils de dominance finalement retenus pour la détermination des différentes zones sont les suivants :

- Dominance de 0,35 ou moins : béton de ciment.
- Dominance entre 0,35 et 0,60 : béton de ciment ou enrobé bitumineux (zone grise).
- Dominance de 0,60 ou plus : enrobé bitumineux.

Chacun de ces seuils de dominance correspond àun certain nombre de camions par jour en fonction du nombre de voies et du type de trafic lourd, soit local ou de transit. La figure 5 montre un exemple de détermination du nombre de camions pour le cas « Local 3 voies ».

Figure 5. Courbe de dominance pour la catégorie « Local 3 voies »



4.2 Allocation des réseaux

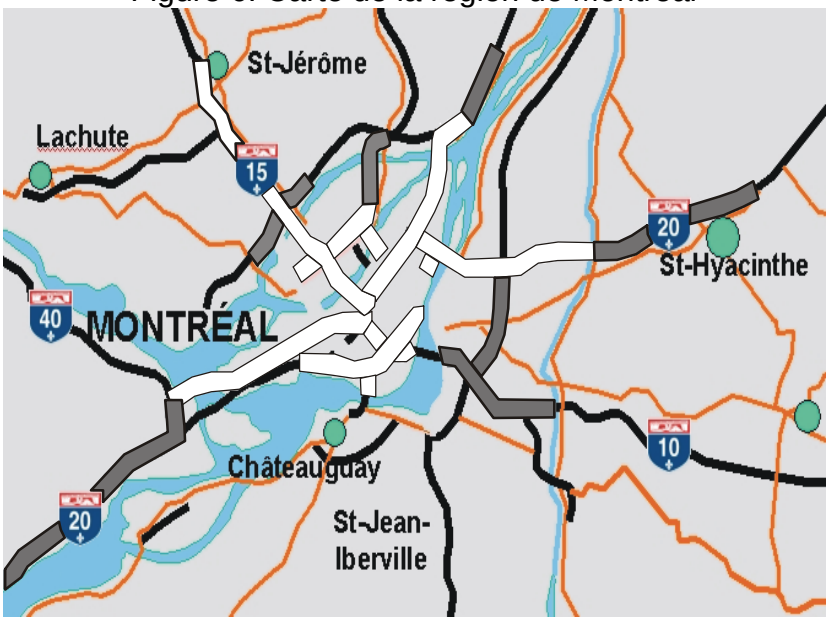
L'application des critères d'allocation à tous les segments de chaussée du réseau routier a permis de délimiter un réseau réservé aux chaussées en béton de ciment de 761 km et une zone grise de 364 km, tandis que le reste du réseau est réservé aux chaussées en enrobé bitumineux.

L'ensemble des sections de route constituant ces zones ont été rapportées sur une carte afin d'en voir la distribution géographique. Les réseaux réservés en béton de ciment et en enrobé étaient raisonnablement continus, seuls de légers ajustements ont été nécessaires. La continuité du réseau en béton de ciment, àcause de sa spécificité, était particulièrement souhaitée pour uniformiser le comportement de la chaussée, faciliter les opérations d'entretien, aussi bien hivernal qu'estival, simplifier la gestion des relevés d'état et du monitoring, ainsi que permettre une concentration du personnel spécialisé dans les régions concernées.

Pour ce qui est de la zone grise, elle est en fait constituée de plusieurs tronçons discontinus. Il a été convenu que ces tronçons devaient être immédiatement adjacents à des sections en béton de ciment, afin d'éviter la présence éventuelle de tronçons isolés en béton résultant de l'analyse au niveau projet, sans toutefois excéder 30 km de longueur.

La figure 6 montre une partie du réseau routier dans la région de Montréal, où sont situées la majorité des chaussées en béton de ciment du Québec. Les réseaux réservés sont identifiés par les couleurs suivantes : blanc pour la zone en béton de ciment, noir pour la zone en enrobé et gris pour les zones où des analyses détaillées sont requises.

Figure 6. Carte de la région de Montréal



5. Application de l'orientation

La mise en œuvre de *l'Orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées* ne se limite pas qu'à la détermination des réseaux réservés. Il a été nécessaire de préciser un certain nombre de détails afin d'assurer que son interprétation soit claire et son application uniforme.

Tout d'abord, le changement de type de chaussée n'est justifié que lorsqu'une reconstruction ou une réhabilitation majeure est requise, peu importe dans laquelle des trois zones elle est située. Les interventions normalement incluses dans le cycle de vie des chaussées avant réhabilitation majeure demeurent donc associées au type de chaussée existant.

En ce qui concerne la gestion des zones grises, les directives sont un peu plus élaborées. Ainsi, des études plus approfondies sont nécessaires lors de la préparation des projets de réhabilitation majeure afin de choisir le type de chaussée approprié. Ces études doivent comprendre des analyses LCCA incluant les coûts aux usagers dans les zones de travaux et des analyses multicritère adaptées aux conditions spécifiques de chaque projet. Ces études sont sous la responsabilité des directions territoriales concernées, mais elles doivent être validées par le Service des chaussées de la Direction du laboratoire des chaussées, qui est chargé d'assurer la cohérence sur l'ensemble du territoire.

6. Conclusion

L'approche globale suivie par le MTQ pour établir l'*Orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées* a permis de considérer les propositions et arguments des industries et en arriver à une méthodologie concertée pour les analyses.

Les analyses LCCA ont permis de déterminer en chaque point du réseau routier les probabilités respectives pour l'enrobé bitumineux et le béton de ciment d'être l'option présentant la VAN la plus basse pour l'ensemble des coûts de construction, d'entretien et de réhabilitation prévisibles sur une période de 50 ans. L'utilisation des résultats de l'analyse multicritère pour moduler les seuils de dominance utilisés comme critères d'allocation des réseaux réservés est une astuce permettant la prise en compte de ces résultats dans un cadre d'analyse réseau.

Un choix de seuils de dominance différents aurait donné des réseaux réservés plus ou moins étendus, mais le grand intérêt de cette approche est que la taille des réseaux réservés peut être étendue ou réduite sur la base d'une rentabilité équivalente. En d'autres termes, plus un réseau réservé est petit plus les tronçons qui le composent sont rentables, et plus il s'étend, plus les nouveaux tronçons ajoutés sont les plus rentables parmi ceux qui restent.

Les réseaux réservés obtenus correspondent en grande partie au réseau actuel, les quelques exceptions s'expliquant par un contexte particulier. Cette correspondance

confirme la crédibilité de la démarche suivie et fait en sorte que le résultat final a été bien reçu par les industries et les autorités du MTQ.

Les modifications suivantes sont envisagées pour la mise à jour des analyses en vue de la révision de l'orientation ministérielle prévue en 2006:

- D'ici la révision, plusieurs zones grises auront fait l'objet d'analyses LCCA et multicritère détaillées, d'ailleurs quelques-unes ont déjà été étudiées. Plusieurs des données utilisées dans ces études pourront alimenter la future analyse de niveau réseau avec une fiabilité et une précision accrues.
- Divers scénarios de séquences d'interventions d'entretien et de réhabilitation devraient être examinés, ce qui permettrait d'évaluer la sensibilité de ce paramètre et pourrait également aboutir à l'identification et la recommandation des stratégies d'entretien les plus rentables.
- Les coûts aux usagers dans les zones de travaux devraient être intégrés aux études, en autant que leur vie résiduelle soit prise en compte.
- Une formule d'accroissement du trafic plus flexible serait également souhaitable.

Un bilan officiel sera à faire lors de la révision de l'orientation ministérielle en 2006, mais déjà maintenant, 2 ans après son adoption, la simplicité de sa mise en œuvre et l'absence de contestation des résultats des études dans les zones grises semblent justifier les choix effectués dans le cadre de l'élaboration de cette orientation.

REFERENCES

1. Transports Québec, *Politique de construction et conservation des chaussées en béton de ciment* (1995).
2. Transports Québec, *Orientation ministérielle sur le choix des types de chaussées* (2001).
3. Transports Québec, *Application de la Valeur actualisée nette à l'analyse des coûts globaux de projets de construction et de conservation des chaussées à Transports Québec* (1999), document interne.
4. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, *Life Cycle Cost Analysis in Pavement Design* - Interim Technical Bulletin (19).
5. NCHRP Report 133, *Procedures for Estimating Highway User Costs, Air Pollution, and Noise Effects* (1972).