



Comparaison des coûts de construction routière entre

le Québec,
le Nouveau-Brunswick
et l'Ontario

Cette publication a été réalisée par la Direction du laboratoire des chaussées et éditée par la Direction des communications du ministère des Transports du Québec.

Les figures et les photos sont la propriété du ministère des Transports du Québec.

Le contenu de cette publication se trouve sur le site Web du Ministère à l'adresse suivante : www.mtq.gouv.qc.ca.

Pour obtenir des renseignements, on peut :

- composer le 511 (au Québec) ou le 1 888 355-0511 (ailleurs en Amérique du Nord)
- consulter le site Web du MTQ : www.mtq.gouv.qc.ca
- écrire à l'adresse suivante : Direction des communications
Ministère des Transports du Québec
700, boul. René-Lévesque Est, 27^e étage
Québec (Québec) G1R 5H1

Soucieux de protéger l'environnement, le ministère des Transports du Québec favorise l'utilisation de papier fabriqué à partir de fibres recyclées pour la production de ses imprimés et encourage le téléchargement de cette publication.

Imprimé sur du papier Rolland Enviro100 contenant 100 % de fibres recyclées postconsommation, certifié Éco-Logo, procédé sans chlore, FSC recyclé et fabriqué à partir d'énergie biogaz.



© Gouvernement du Québec, ministère des Transports du Québec, 2010

ISBN 978-2-550-60572-0 (PDF)

Dépôt légal – 2010

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Bibliothèque et Archives Canada

Tous droits réservés. La reproduction de ce document par procédé mécanique ou électronique, y compris la microreproduction, et sa traduction, même partielles, sont interdites sans l'autorisation écrite des Publications du Québec.

En collaboration avec les ministères des Transports du Nouveau-Brunswick et de l'Ontario, le ministère des Transports du Québec a procédé à la réalisation d'une étude visant à comparer objectivement les coûts associés à la construction d'une chaussée routière. Le type de chaussée retenu, « chaussée en matériaux granulaires avec revêtement en enrobé », est d'usage courant tant au Québec que dans les provinces voisines. En chiffres, c'est 87,5 % du réseau routier supérieur québécois qui est constitué de chaussées flexibles, ce qui représente 26 633 km sur un total de 30 434 km.

Afin d'établir des comparaisons fiables, l'analyse des coûts de construction a été réalisée à partir de la valeur des différentes composantes d'une chaussée type conçue et construite au Québec. La conception de la chaussée comprend la sélection des matériaux et le calcul des épaisseurs des différentes couches utilisées. Cette conception est donc québécoise et elle correspond à une situation réelle et non théorique. Toutes les opérations de construction de la structure de chaussée, y compris le concassage des granulats jusqu'à la pose des matériaux granulaires et du revêtement bitumineux, ont donc été prises en compte. La comparaison des coûts de réhabilitation a été faite en comparant des travaux semblables de part et d'autre des frontières, tout en demeurant dans un environnement géologique et géographique similaire.

La première analyse réfère aux travaux de **construction** d'une chaussée d'autoroute en milieu rural, soit le projet de prolongement de l'autoroute 20 est dans le Bas-Saint-Laurent. Les caractéristiques suivantes du projet sont connues : le type de matériaux sélectionnés, l'épaisseur des différentes couches, les quantités et les coûts des différents matériaux requis, y compris les coûts de fabrication et de mise en œuvre.

Par ailleurs, afin de s'assurer d'une base comparative identique pour tous, certains éléments ont dû être fixés et transmis aux collaborateurs de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick. Ceux-ci ont donc été en mesure de calculer la valeur de cette chaussée si elle avait été construite en Ontario et au Nouveau-Brunswick, permettant ainsi une comparaison juste et fiable entre les trois provinces.

Les résultats de cette analyse indiquent que les coûts de construction de cette autoroute au Québec équivaldraient à ceux au Nouveau-Brunswick, mais seraient inférieurs de 14,5 % à ceux en Ontario. Aussi, les coûts des enrobés seraient jusqu'à 10 % inférieurs au Québec, comparativement aux deux autres provinces.

La deuxième analyse de cas vise à comparer des projets d'entretien d'une chaussée se situant dans un rayon de 50 km de part et d'autre des limites géographiques des provinces. Il s'agit de travaux de réfection de chaussées visant à les remettre à niveau, soit des travaux courants de correction du profil de la route et de recouvrement avec un revêtement bitumineux.

La première constatation révèle des différences marquées, chez les administrations routières, dans le choix des interventions qui sont liées à l'endommagement de la chaussée avant les travaux de réfection, à l'usage de la route ainsi qu'aux choix dans les séquences d'intervention. Pour assurer une comparaison fiable, les travaux ont porté sur la valeur du recouvrement plutôt que sur la comparaison entre les valeurs des différentes techniques de correction utilisées.

Cette analyse montre que les coûts des travaux de recouvrement sont comparables à ceux des provinces voisines, voire un peu moins élevés au Québec. Ceci est en partie dû au fait que les coûts unitaires des enrobés au Québec sont de 5 % inférieurs à ceux des provinces voisines.

Remerciements

Le ministère des Transports tient à saluer la disponibilité et la grande ouverture des collègues des autres provinces sans qui cette étude n'aurait pas été possible. Il tient aussi à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à cette étude, particulièrement :

Ministère des Transports de l'Ontario

Head, Pavements and Foundations Section, Materials Engineering
and Research Office
Head, Contract Award
Team Lead, Estimating

Ministère des Transports du Nouveau-Brunswick

Operations, Department of Transportation

Ministère des Transports du Québec

Direction du laboratoire des chaussées
Direction de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine
Direction de l'Outaouais

Table des matières

1. Préambule	7
1.1 Portée de l'étude	8
1.2 Établissement des composantes	13
2. Analyse comparative des coûts de construction d'une chaussée neuve	16
2.1 Description du projet	16
2.2 Méthodologie	18
2.3 Grille de comparaison des coûts des travaux	18
2.4 Résultats	19
3. Projets de réfection	20
3.1 Méthodologie	20
3.2 Projets de réfection : Comparaison Québec–Nouveau-Brunswick	20
3.3 Comparaison des projets similaires entre le Québec et l'Ontario	22
3.4 Constatations	23
4. Conclusion	26
Annexe 1 Contexte québécois	27
Annexe 2 Projet de construction d'une chaussée neuve	38
Annexe 3 Terminologie des matériaux constituant une chaussée	39

Liste des figures

Figure 1 Limites des dépôts marins dans la vallée du Saint-Laurent	9
Figure 2 Lentilles de glace dans un sol gélif	10
Figure 3 Terminologie relative aux chaussées (Tome II – Construction routière, normes du ministère des Transports)	14
Figure 4 Volume des composantes d'une chaussée souple et d'un enrobé bitumineux	14
Figure 5 Évolution du prix du bitume (PG 58-28) pour le Québec et l'Ontario de février 2005 à janvier 2011	15
Figure 6 Prolongement de l'autoroute 20 est à Sainte-Luce (2009)	16
Figure 7 Plan de localisation du projet	17
Figure 8 Exemple de coupe type d'une chaussée	32
Figure 9 Gonflement attribuable au gel	35
Figure 10 Lentilles de glace	35
Figure 11 Chaussée présentant un soulèvement de 20 cm	35
Figure 12 Chaussée présentant une lézarde causée par le gel	36
Figure 13 Fissures transversales	36
Figure 14 Affaissement au dégel	36
Figure 15 Section type de la chaussée du nouveau tronçon de l'autoroute 20 à Sainte-Luce (aucune échelle, dimensions en mm sauf si précisé)	38

Liste des tableaux

Tableau 1	Structure type de la chaussée du nouveau segment de l'autoroute 20 est.	17
Tableau 2	Coûts moyens des travaux de construction de la structure de chaussée type au Québec, au Nouveau-Brunswick et en Ontario. .	19
Tableau 3	Comparaison des coûts de projets similaires entre le Québec et le Nouveau-Brunswick.	21
Tableau 4	Comparaison des coûts de projets similaires entre le Québec et l'Ontario.	23
Tableau 5	Moyenne des profondeurs maximales de gel au Québec depuis les 9 dernières années (données du MTQ).	27
Tableau 6	Réseau routier géré par l'État.	31
Tableau 7	Contextes de différentes administrations.	34
Tableau 8	Terminologie des matériaux constituant une chaussée.	39
Tableau 9	Équivalence des matériaux entre le Québec, le Nouveau-Brunswick et l'Ontario.	39

1. Préambule

En janvier 2010, le Vérificateur général du Québec recommandait au ministère des Transports du Québec de procéder à une analyse comparative des coûts de construction de projets routiers¹. L'analyse devait traiter de deux aspects. Elle devait établir des parallèles, d'une part, entre les données du Québec et celles d'autres organisations routières canadiennes et, d'autre part, entre les données propres à chaque région du Québec.

En réponse à la première demande, le ministère des Transports du Québec (MTQ) a contacté et mis à contribution des représentants des ministères des Transports de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick qui ont bien voulu collaborer à cet exercice délicat et complexe. Le Ministère tenait à comparer des éléments correspondants afin que l'analyse comporte le moins de biais possible. Chacune des composantes a donc fait l'objet d'un examen et d'une définition stricte pour permettre d'établir des comparaisons fiables. Puisque les matériaux présentent des caractéristiques différentes dans leur appellation et leur classification d'une province à l'autre, les ingénieurs ont été dans l'obligation d'établir des équivalences afin de s'assurer que les produits utilisés étaient les plus similaires possible. Le MTQ tient à saluer la disponibilité et la grande ouverture de ses collègues sans qui cette étude n'aurait pas été possible.

Quant à la seconde recommandation, soit d'établir des parallèles entre les régions du Québec, elle fera l'objet d'une autre publication.

L'analyse des coûts a été réalisée à partir de la comparaison de la valeur des différentes composantes d'une chaussée type. La conception de la chaussée comprend la sélection des matériaux et le calcul des épaisseurs des différentes couches utilisées. Cette conception est donc québécoise et correspond à une situation réelle et non théorique. Toutes les opérations de la construction de structure de la chaussée, y compris le concassage des granulats jusqu'à la pose des matériaux granulaires et du revêtement bitumineux, ont donc été prises en compte.

Pour comparer les coûts entre les trois organisations routières, deux analyses de cas ont été réalisées à partir de projets réels.

La première analyse réfère à des travaux de **construction** d'une chaussée d'autoroute en milieu rural, soit le projet de prolongement de l'autoroute 20 est dans le Bas-Saint-Laurent. Les caractéristiques du projet sont connues : le type de matériaux utilisé, l'épaisseur des différentes couches, les quantités des différents matériaux requis et les coûts.

Le choix d'une autoroute en milieu rural s'est imposé naturellement, ces conditions se trouvant remplies tant au Nouveau-Brunswick qu'en Ontario. Le choix d'une construction neuve en milieu urbain n'aurait pas permis une comparaison fiable puisque la situation torontoise est unique au pays. Des similitudes auraient pu être établies avec la région de Montréal, mais elles n'auraient pu être retrouvées à Saint-Jean au Nouveau-Brunswick.

La deuxième analyse de cas vise à comparer des projets de **réfection** de chaussées équivalentes situées dans un rayon de 50 km de part et d'autre des limites géogra-

1. *Rapport du Vérificateur général du Québec à l'Assemblée nationale pour l'année 2009-2010, tome II, chapitre 4.*

phiques des provinces (Nouveau-Brunswick/Québec et Québec/Ontario). Il s'agit de travaux fréquents et largement répandus qui visent à corriger le profil de la route et à recouvrir la surface ainsi aplanie d'une couche de revêtement bitumineux. Il s'agit donc de travaux de correction du profil et de la pose d'une couche d'usure en enrobé bitumineux.

Dans chacun des cas, la méthode par composante a été utilisée. Chaque composante des travaux a été isolée et une valeur lui a été attribuée. La somme de ces valeurs donne le coût de la construction ou de la réfection. Il sera possible par la suite d'établir la valeur d'autres composantes non étudiées dans cette analyse afin de recomposer la valeur d'un projet en particulier. Cette option n'est actuellement pas possible puisque aucune base de données canadienne n'existe en ce moment. Le Conseil des ingénieurs en chef du Canada se penche actuellement sur cette question et sur l'intérêt que susciterait une telle base de données. Toute étude comparative doit donc être réalisée actuellement sur une base *ad hoc*.

L'objectif étant d'établir des comparaisons justes et fiables, celles-ci concernent uniquement les composantes d'une structure de chaussée souple qui intègrent toutes les opérations de construction, de l'approvisionnement en granulats à la mise en œuvre du revêtement.

1.1 Portée de l'étude

La présente étude vise essentiellement à établir dans quelle mesure il existe des écarts de coûts pour des composantes équivalentes entre l'Ontario, le Québec et le Nouveau-Brunswick. La somme des coûts des composantes détermine le coût total d'un ouvrage donné.

Par ailleurs, un projet routier se compose de plusieurs éléments qui, combinés, influencent la valeur finale de l'ouvrage. Ces paramètres étant très distinctifs d'une province à l'autre, toute tentative de comparaison de la valeur finale s'avère hasardeuse comme le confirme une étude de Transports Canada². Les éléments qui influencent la valeur finale d'un ouvrage se regroupent en cinq catégories :

- méthodes de conception et critères utilisés ;
- exigences environnementales ;
- disponibilité des matériaux ;
- environnement social ;
- marché local.

1.1.1 Méthodes de conception et critères utilisés

Au Canada, la plupart des provinces utilisent la méthode de dimensionnement des chaussées, dérivée de l'American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Les critères de dimensionnement à utiliser apparaissent donc dans des documents de référence. Ils couvrent des éléments dont les concepteurs doivent tenir compte dans le calcul des structures de chaussées. Ces éléments sont typiques des caractéristiques du territoire, de l'usage prévu et du niveau de service souhaité.

2. Transports Canada, *Estimations de la totalité des coûts du transport au Canada*, rapport de synthèse, août 2008.

1.1.1.1 Caractéristiques du territoire

- **Sols**

Au Québec, l'argile contenue dans les sols des basses-terres du Saint-Laurent doit impérativement être prise en compte dans le dimensionnement de tout ouvrage de génie civil. Lorsque ces argiles sont « gélives », donc sensibles au gel, elles gonflent de manière importante lors du gel des chaussées et perdent énormément de leur capacité de support en situation de dégel. Les chaussées se déforment donc et perdent de leur capacité portante. D'autres caractéristiques géologiques influencent les choix des concepteurs. Par exemple, sur la Côte-Nord, la présence de tourbières requiert des dimensionnements différents et des méthodes de construction distinctives. Chaque province canadienne présente des particularités géologiques qui leur sont propres et qui influencent la conception des chaussées.

Figure 1 Limites des dépôts marins dans la vallée du Saint-Laurent

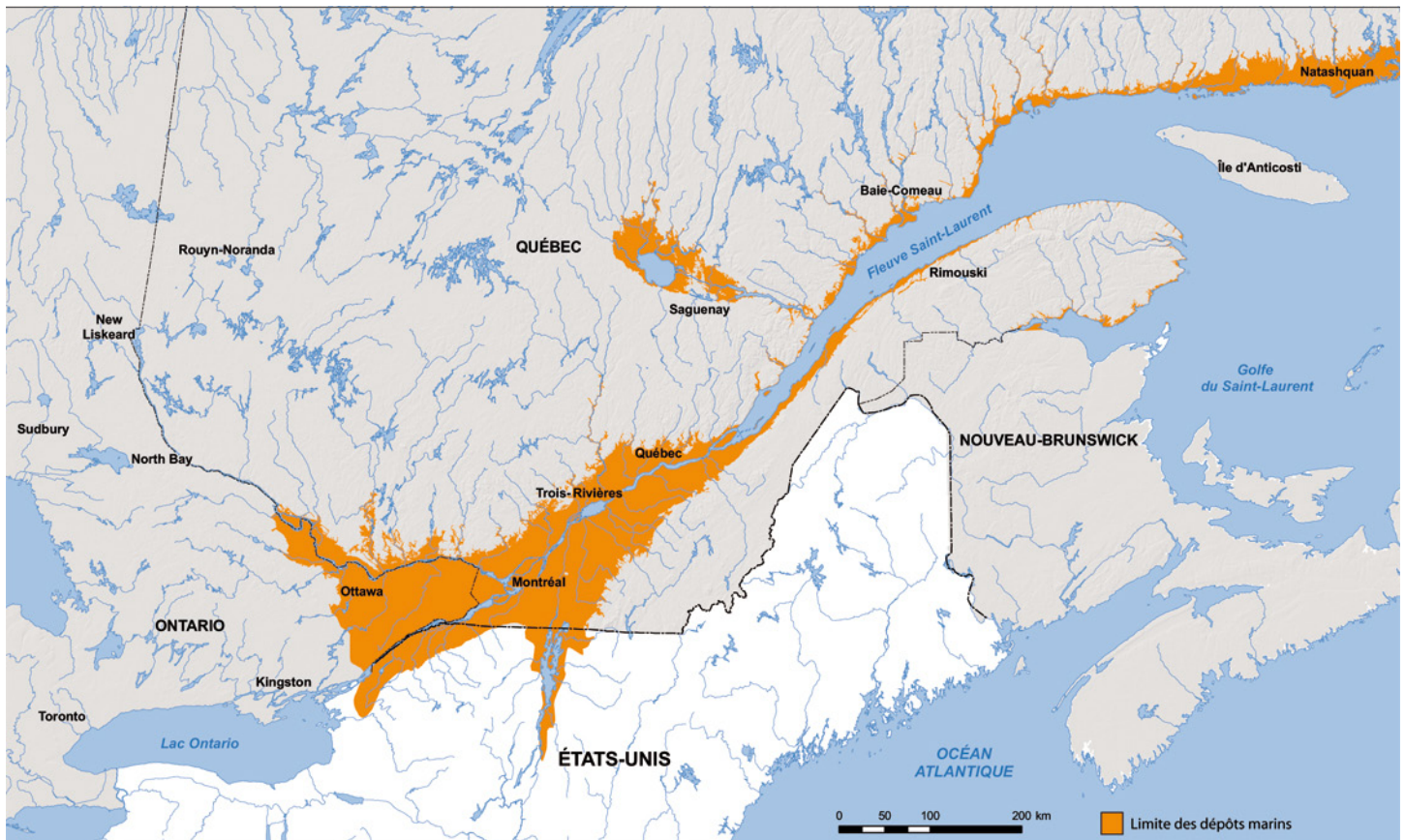


Figure 2 Lentilles de glace dans un sol gélif



- **Nappe phréatique**

Dans certains milieux, des résurgences nécessitent des aménagements particuliers en matière de drainage et requièrent des méthodes de construction adaptées.

- **Gel et cycles de gel-dégel**

Le gel influe directement sur le comportement des ouvrages et sur le choix des matériaux. Il est reconnu dans tous les documents de conception que les **conditions climatiques** auxquelles est soumis un territoire donné influencent directement le choix des concepteurs puisqu'ils sont des sources majeures d'endommagement des ouvrages. Au Québec, cet élément est effectivement stratégique. À ce chapitre, le critère qui dicte le choix des épaisseurs des matériaux lors du dimensionnement d'une chaussée est bien la protection contre le gel, prévenant ainsi les déformations et les endommagements qui y sont associés.

La période de dégel est critique car :

- les routes perdent 40 % de leur capacité portante ;
- le même essieu cause de 5 à 8 fois plus de dommages qu'à un autre moment de l'année ;
- de 55 à 70 % des dommages causés à la chaussée surviennent durant cette période.

- **Climat**

Le contexte climatique québécois est particulier du fait de la rigueur de ses hivers et de l'importance de ses précipitations. Les conditions météorologiques varient de façon importante dans la vallée du Saint-Laurent ainsi que dans les régions situées plus au nord. À titre indicatif, la moyenne annuelle de précipitations sous forme de pluie est de 764 mm à Montréal, de 924 mm à Québec et de 710 mm à Toronto. La moyenne annuelle de précipitations sous forme de neige est de 218 cm à Montréal, de 316 cm à Québec et de 133 cm à Toronto³. De plus, en hiver, la profondeur de pénétration du gel dans les chaussées varie de 0,88 m à 3,85 m au Québec (annexe 1), tandis qu'en Ontario elle est généralement inférieure à 1,0 m, mais peut atteindre 2,6 m pour les régions de cette province situées le plus au nord. Également, la période annuelle favorable aux travaux de construction et particulièrement à la pose d'enrobé est plus courte au Québec qu'en Ontario. Par exemple, elle est de 209 jours pour la ville de Québec et de 240 jours pour la ville de Toronto⁴. Pour ce qui est de Fredericton, cette période est d'environ 236 jours.

- **Trafic**

Une chaussée doit être conçue pour résister, durant un certain nombre d'années, à un trafic sur caractéristiques données : outre les véhicules légers dont le passage « use la surface de roulement », l'importance du trafic et sa composition, la proportion de véhicules lourds et l'agressivité des chargements doivent être considérées lors du dimensionnement. Or, les volumes de trafic sont très différents d'une région à l'autre. Par exemple, la région de Toronto se compare difficilement à la région de Québec ou à celle de Fredericton.

1.1.1.2

Choix des administrations routières

- **Période de conception**

La période de conception est un élément déterminé par chaque administration routière. Celle-ci représente la durée de vie utile de la structure de chaussée telle qu'elle est fixée par le concepteur. Elle correspond à la période entre la mise en service initiale et l'atteinte des seuils de dégradation (fissuration, orniérage, confort de roulement) définissant la « rupture » de l'ouvrage, soit le moment où la chaussée nécessiterait une première intervention de réhabilitation visant à rétablir sa capacité structurale. Le nombre d'années ainsi que les seuils de rupture et les risques statistiques sont généralement fixés par l'administration. Au Québec, à la suite de l'évolution des technologies et de la qualité des matériaux, la période de conception est passée de 20 à 30 ans pour les chaussées souples. Les fréquences d'intervention ultérieures sont donc réduites et la durabilité de l'ouvrage est prolongée. Il est à noter que, pour les débits journaliers moyens annuels (DJMA) inférieurs à 5 000 véhicules, la période passe plutôt de 15 à 25 ans.

3. Archives nationales d'information et de données climatologiques d'Environnement Canada.

4. *Ibidem*.

1.1.2 Exigences environnementales

Au Canada, chaque province a édicté des lois et des règlements en matière de protection environnementale. L'ensemble des lois et des règlements adoptés par le Québec dans ce domaine nécessite une adaptation des caractéristiques de conception des infrastructures de transport et des méthodes de construction.

1.1.3 Disponibilité des matériaux

Les infrastructures routières sont principalement composées de matériaux granulaires possédant des caractéristiques propres sélectionnées en fonction de leur usage. Ainsi, un matériau granulaire utilisé en fondation ne présente pas les mêmes propriétés qu'un granulats pour un enrobé utilisé en surface. Le Québec dispose d'un nombre important de sources de granulats de bonne qualité, ce qui limite beaucoup les distances de transport entre les sources de granulats, les centrales d'enrobage et le chantier. Par ailleurs, toutes les régions du Québec ne sont pas également pourvues de matériaux d'égale qualité. Par exemple, dans la région de Montréal, les granulats pour enrobés de surface proviennent de sources plus éloignées (Laurentides et Montérégie), ce qui se traduit par une plus longue distance de transport.

Les coûts d'exploitation des carrières et des sablières peuvent également varier en fonction de la nature des massifs exploités, de la dureté des matériaux et des exigences environnementales particulières au site d'exploitation.

Par ailleurs, les sites d'entreposage de bitume pour enrobé sont localisés dans la région de Montréal, donc facilement accessibles, alors que la distance de transport est plus longue pour alimenter les centrales de la Gaspésie ou de l'Abitibi.

Finalement, le prix de certaines composantes est largement influencé par les marchés internationaux comme le prix du pétrole brut (le bitume en est un résidu), par exemple.

1.1.4 Environnement social

Au Québec, plusieurs conventions collectives fixant les salaires et les taux horaires des travailleurs requis pour construire des infrastructures de transport doivent être appliquées. Cet environnement social diffère largement d'une province à l'autre.

1.1.5 Marché local

Finalement, le marché local, la disponibilité de la main-d'œuvre et des entreprises compétentes viennent influencer les coûts des travaux.

Ce marché dépend évidemment de la demande, donc du volume des travaux, mais également du moment dans l'année où les travaux sont annoncés et où la réalisation est exigée. Au Québec, cette saisonnalité est importante. Une planification efficace des appels d'offres par les différents donneurs d'ouvrages facilite la prévision des marchés par les entreprises qui sont alors en mesure de s'y préparer, en investissant dans les équipements et en retenant de la main-d'œuvre qualifiée.

En résumé, la portée de l'étude doit tenir compte de tous les éléments qui influencent le coût d'un ouvrage. Ces particularités ont de réelles répercussions sur les pratiques de conception et de construction des chaussées ainsi que sur les coûts et les échéan-

ciers des travaux. Des précautions supplémentaires sont par conséquent nécessaires et les méthodes de travail doivent être adaptées à chaque ouvrage.

La comparaison des coûts, abordée sous l'angle « les Québécois en ont-ils pour leur argent ? », doit donc tenir compte de ces éléments et l'analyse doit tenter d'isoler les coûts réels en vue de leur comparaison juste et fiable. Si les exigences québécoises sont différentes, les coûts seront différents. Mais qu'en est-il pour le même objet, la même chaussée ? Les Québécois payent-ils le juste prix ? C'est à cette question que la présente étude tente de répondre en comparant la valeur des différentes composantes.

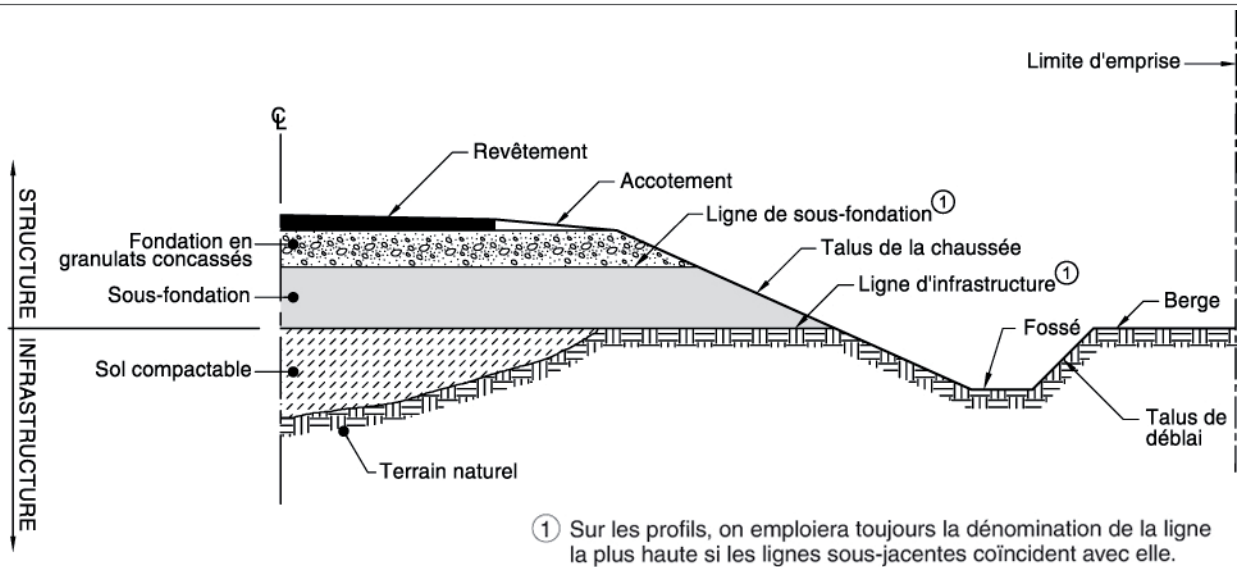
1.2 Établissement des composantes

Une structure de chaussée se compose d'une superposition de matériaux granulaires (sous-fondation, fondation) ayant des caractéristiques propres, selon leur position dans la structure de chaussée. Cet assemblage de matériaux granulaires est ensuite recouvert d'une surface de roulement généralement en enrobé (béton bitumineux). L'enrobé est constitué de granulats sélectionnés en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques (associées à la géologie, qui ne peuvent être modifiées) et de fabrication (ajustables par le mode de fabrication) ainsi que de leurs différentes grosseurs. Ces granulats sont liés entre eux par un bitume (résidu de distillation du pétrole) sélectionné en fonction de son comportement à basse et à haute température en vue d'assurer la durabilité du revêtement.

Le dimensionnement, ou la détermination de l'épaisseur des couches, doit être fait en tenant compte de la protection du sol contre les effets du gel, du volume et de la composition du trafic. Au Québec, le facteur déterminant quant aux épaisseurs de matériaux granulaires utilisés est la protection du sol contre les effets du gel. Dans les zones canadiennes à climat plus chaud, le volume de trafic devient le facteur principal qui détermine l'épaisseur de structure de chaussée requise pour supporter, sans se déformer, un volume de circulation donné.

La terminologie associée à une chaussée est présentée sur la section type de la figure 3.

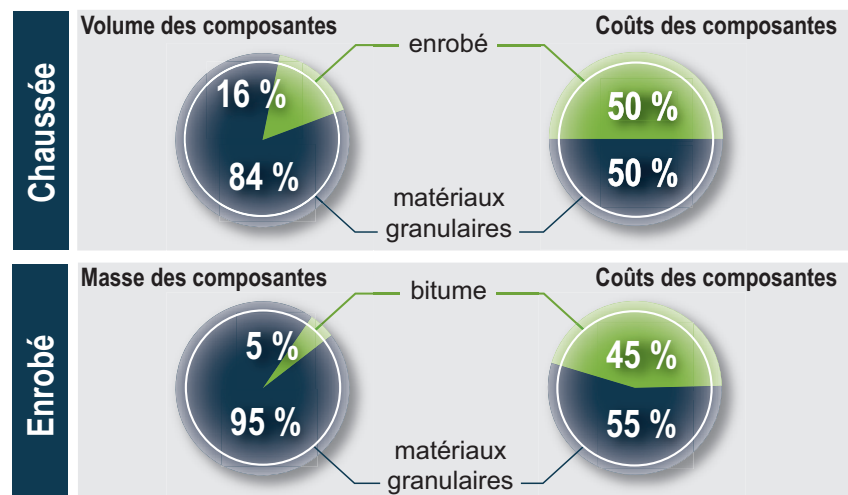
Figure 3 Terminologie relative aux chaussées (*Tome II – Construction routière*, normes du ministère des Transports)



Dans une structure de chaussée type, chacune des couches a une épaisseur prédéterminée, conséquemment, les matériaux occupent des volumes différents. Le coût de ces matériaux est également différent. La structure d'une chaussée est généralement composée, en volume, de 16 % de revêtement bitumineux (enrobé) et de 84 % de matériaux granulaires (figure 4). Bien que ces deux composantes d'une chaussée aient des volumes différents, leur coût respectif est équivalent.

Aussi, l'enrobé est constitué, en masse, de 5 % de bitume et de 95 % de granulats. Or, 45 % du coût total de l'enrobé est attribuable au bitume, soit 22,5 % du coût total de la structure de chaussée.

Figure 4 Proportions des composantes d'une chaussée souple et d'un enrobé bitumineux

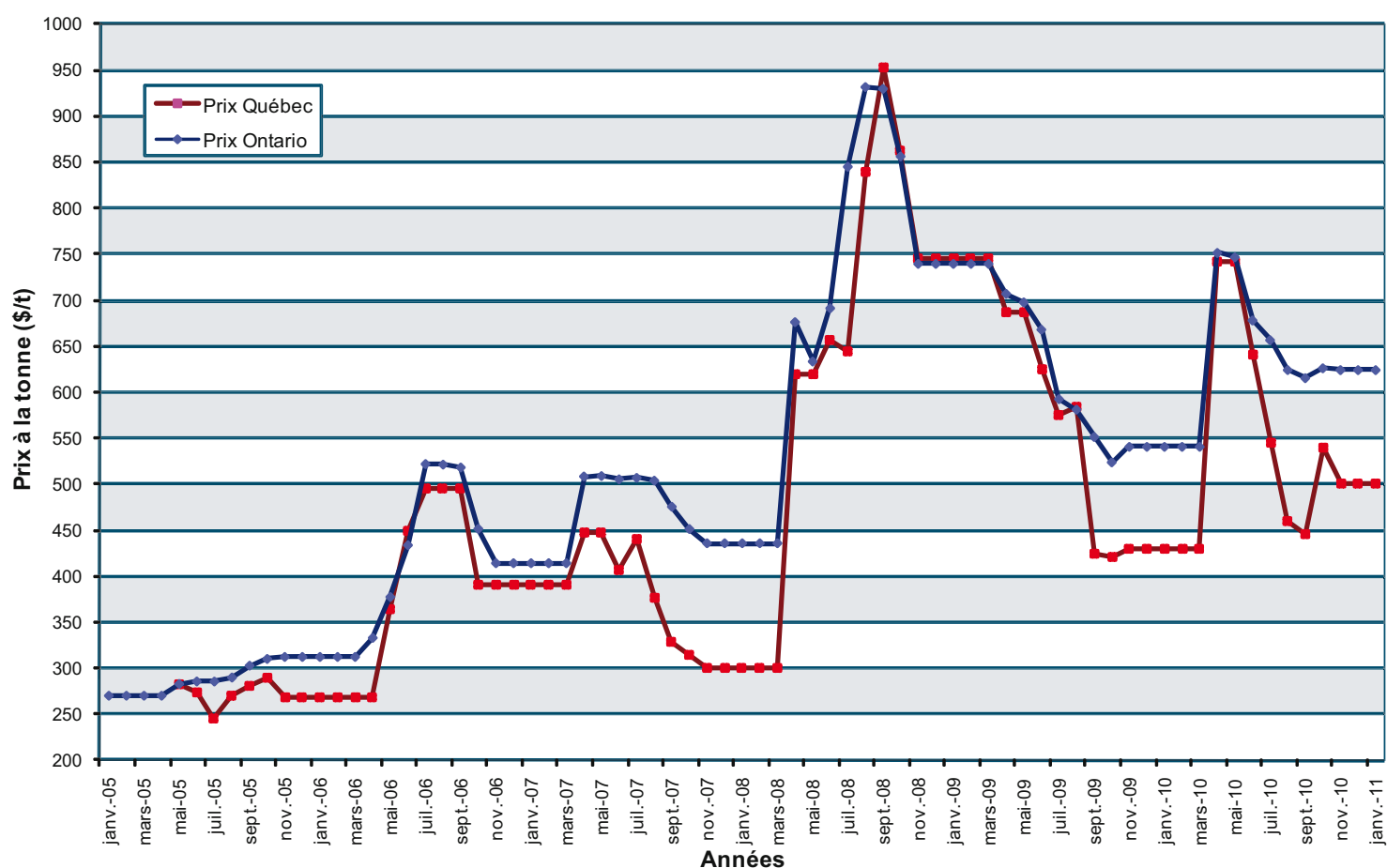


Le prix du bitume a donc une grande influence sur le coût total d'une chaussée souple. Le Ministère, tout comme les autres administrations routières, suit de près l'évolution du coût du pétrole brut dont le bitume est un dérivé. On peut trouver ce suivi dans l'Ontario Hot Mix Producers Association (OHMPA), pour l'Ontario, ou dans le Système électronique d'appel d'offres (SEAO), pour les commandes d'approvisionnement en bitume du Québec.

Il existe pourtant d'autres éléments qui peuvent influencer la valeur d'une composante. Mentionnons la disponibilité et les caractéristiques des matériaux granulaires, les caractéristiques des enrobés choisis, la distance de transport des matériaux, le type de bitume, etc.

Ces derniers éléments ont été pris en compte dans le cadre de cette étude comparative.

Figure 5 Évolution du prix du bitume (PG 58-28) pour le Québec et l'Ontario de février 2005 à janvier 2011



2. Analyse comparative des coûts de construction d'une chaussée

La première analyse de cas consiste à comparer les coûts de construction d'une chaussée neuve construite au Québec. L'objectif est de répondre à la question suivante : « Quelle serait la valeur d'une telle chaussée si elle avait été construite au Nouveau-Brunswick ou en Ontario ? »

Le projet retenu pour cette comparaison devait avoir été récemment réalisé au Québec et porter sur une construction assez standard et simple d'une nouvelle chaussée souple. Le contexte de réalisation devait également se retrouver dans chacune des provinces afin d'assurer le maximum de comparabilité des résultats. Les particularités du projet, les coûts et les quantités étant connus, les coûts réels du projet réalisé au Québec ont été comparés avec les coûts estimés pour la construction de la même chaussée au Nouveau-Brunswick et en Ontario.

Le projet était relativement simple de sorte que des éléments externes ou des exigences particulières n'ont que très peu influencé les coûts.

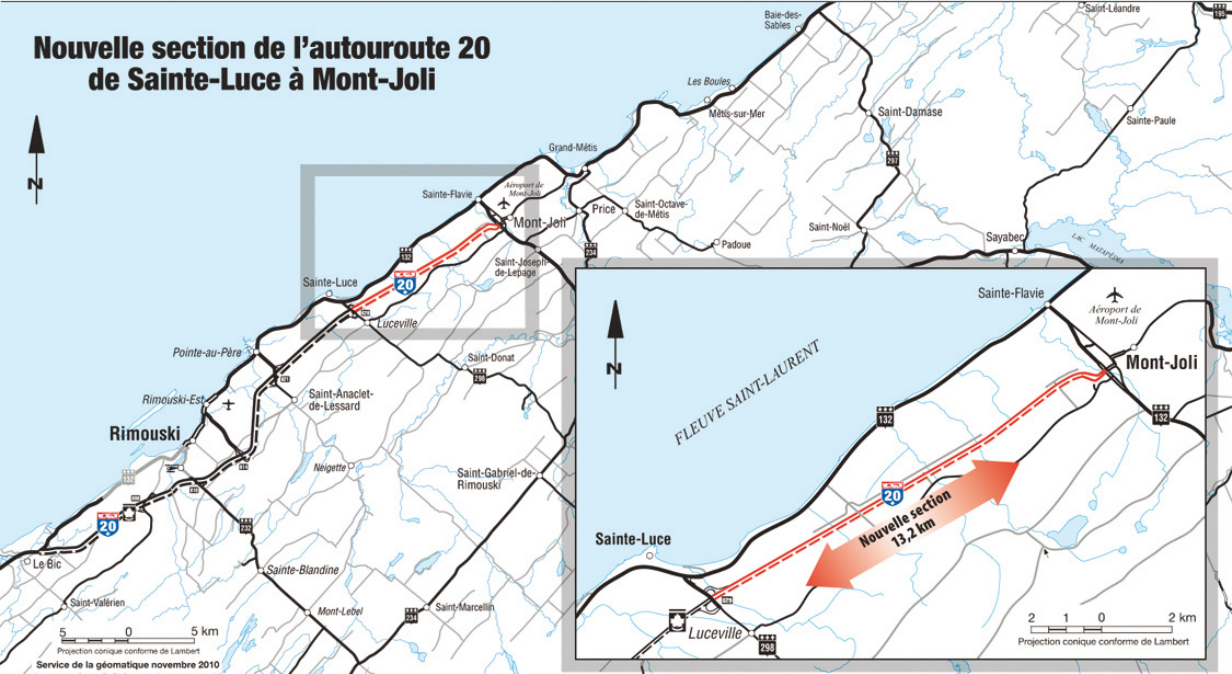
2.1 Description du projet

Le projet retenu, à titre de projet de référence, est celui du prolongement de l'autoroute 20 est dans la municipalité de Sainte-Luce, dans la région du Bas-Saint-Laurent. Ce nouveau segment autoroutier (figures 6 et 7), d'une longueur d'environ 14 km, est situé en milieu rural et a été construit en 2007 et en 2008. Ce projet présente des caractéristiques pouvant être transposées dans les provinces du Nouveau-Brunswick et de l'Ontario.

Figure 6 Prolongement de l'autoroute 20 est à Sainte-Luce (2009)



Figure 7 Plan de localisation du projet



Le dimensionnement de la structure de chaussée a été réalisé par les ingénieurs du ministère des Transports du Québec, selon les méthodes et les normes en vigueur au Québec.

Les épaisseurs des matériaux composant la structure de chaussée sont présentées dans le tableau 1 et la section type de la chaussée est présentée à l'annexe 2. La terminologie employée pour les matériaux granulaires est celle de la norme NQ 2560-114, tandis que celle pour les enrobés à chaud correspond à la norme 4202 du MTQ (*Tome VII – Matériaux*, chapitre 4 « Liants et enrobés »). Le tableau présenté à l'annexe 3 présente quelques termes.

Tableau 1 Structure type de la chaussée du nouveau segment de l'autoroute 20 est

Type de matériau		Épaisseur (mm)	Taux de pose (kg/m ²)
Revêtement en enrobé	Couche de roulement (ESG-10)	50	120
	Couche intermédiaire (ESG-14)	52	125
	Couche de base (GB-20)	75	180
Matériaux granulaires	Fondation supérieure (MG 20)	150	
	Fondation inférieure (MG 56)	200	
	Sous-fondation (MG 112)	600	
Épaisseur totale		1 127	

Aussi, un rechargement granulaire a été effectué sur les accotements avec un matériau granulaire de type MG 20. Le recouvrement des talus a été fait avec un matériau granulaire de type MG 56 sur une épaisseur de 150 mm.

2.2 Méthodologie

Les organisations routières du Nouveau-Brunswick et de l'Ontario devaient, à partir des caractéristiques du projet de référence, estimer les coûts de construction de la chaussée neuve comme si elle avait été réalisée dans leur province à partir de matériaux équivalents.

Pour comparer correctement les coûts estimés en 2010 par les deux provinces aux coûts réels du projet (2007-2008), le Ministère a actualisé les prix unitaires obtenus lors des appels d'offres afin de tenir compte de l'évolution des coûts enregistrés de 2007 à 2009. De plus, le prix du bitume a été rajusté pour tenir compte de la fluctuation du prix du pétrole brut et du marché du bitume au moment de la pose du revêtement. Les prix du bitume utilisés pour les estimations de chaque organisation routière sont ceux qui étaient en vigueur à la même période, soit en novembre 2009. Les données peuvent donc être comparées.

De plus, le coût des travaux pour les trois provinces, les quantités et les coûts réels des matériaux composant la structure de chaussée ont été calculés par kilomètre de chaussée. Cette façon de faire permet de comparer la valeur moyenne d'un kilomètre de chaussée, bien que le projet s'étende sur environ 14 km et que des économies d'échelle aient pu influencer les prix.

Les organisations routières ayant des méthodes de travail qui leur sont propres, les résultats ont été analysés et traités afin d'obtenir une comparaison fiable. Par exemple, des matériaux équivalents ont été considérés lorsque les appellations des matériaux étaient différentes. Un tableau des équivalences des matériaux est présenté à l'annexe 3.

Également, les comparaisons des coûts sont basées sur les matériaux composant la section type de la chaussée, y compris la fabrication (concassage des granulats), le chargement, le transport et la pose des matériaux granulaires et du revêtement bitumineux. Les distances de transport des matériaux utilisés pour les estimations du Nouveau-Brunswick et de l'Ontario ont été fixées en fonction des distances réelles du projet québécois : la distance moyenne entre les sources de matériaux granulaires et le chantier est de 5 km et la distance moyenne entre la centrale d'enrobage et le chantier est de 8 km.

2.3 Grille de comparaison des coûts des travaux

Le tableau 2 présente les coûts réels au Québec (actualisés aux coûts de 2009) et ceux estimés au Nouveau-Brunswick et en Ontario (coûts de 2009).

À des fins de comparaison, les quantités et les coûts réels par kilomètre ont été utilisés et représentent des valeurs moyennes pour l'ensemble du projet.

Tableau 2 Coûts moyens des travaux de construction de la structure de chaussée type au Québec, au Nouveau-Brunswick et en Ontario

Type de matériau		Quantité par km	Coût (\$/km)		
			Québec	Nouveau-Brunswick	Ontario
Revêtement en enrobé	Couche de roulement (ESG-10)	1 608 t	144 865	160 800	138 400
	Couche intermédiaire (ESG-14)	1 050 t	96 674	99 750	101 598
	Couche de base (GB-20)	1 512 t	116 726	136 080	136 276
Matériaux granulaires	Fondation supérieure (MG 20)	2 553 m³	86 012	61 910	71 586
	Fondation inférieure (MG 56)	3 831 m³	107 729	80 068	90 028
	Sous-fondation (MG 112)	14 314 m³	116 528	193 239	336 379
	Rechargement des accotements (MG 20)	2 515 t	130 123	59 102	43 459
	Recouvrement des talus (MG 56)	11 714 m²	49 954	32 213	53 884
Total (\$/km)			848 611	823 162	971 610

2.4 Résultats

L'analyse des coûts des travaux présentés dans le tableau 2 permet d'effectuer les constatations suivantes :

- le coût total des travaux de chaussée au Québec est similaire à celui du Nouveau-Brunswick et de 14,5 % inférieur à celui de l'Ontario ;
- le plus grand écart concerne l'élément sous-fondation (MG 112). Le coût pour cet élément au Québec est de 65 % inférieur à celui au Nouveau-Brunswick et de 188 % inférieur à celui en Ontario. La grande disponibilité des matériaux de type MG 112 pour le projet visé pourrait expliquer le coût unitaire moins élevé pour cet élément. En effet, les coûts unitaires des matériaux composant une chaussée varient de façon notable selon leur disponibilité et le contexte géographique du lieu. De plus, le Québec compte de 8 000 à 10 000 sites d'extraction de ressources granulaires, comparativement à 6 240 en Ontario ;
- le coût total des enrobés est de 10 % moins élevé au Québec qu'au Nouveau-Brunswick et de 5 % moins élevé au Québec qu'en Ontario ;
- le prix du bitume au Québec est en moyenne 9 % inférieur à celui de l'Ontario. La moyenne de février 2005 à janvier 2011 est de 475,96 \$ pour le Québec et 522,34 \$ pour l'Ontario.

Rappelons que les écarts de coûts de la composante « bitume » influencent la valeur totale de l'ouvrage. Le bitume représente 22,5 % de la valeur totale de la chaussée. Compte tenu du volume de granulats utilisé, l'effet d'une petite variation du prix unitaire de cette composante peut aussi s'avérer important quant à la valeur totale de l'ouvrage.

3. Projets de réfection

La deuxième analyse de cas consiste à comparer les coûts de projets similaires pour des travaux de **réfection** de chaussée flexible réalisés dans un rayon de 50 km de part et d'autre de la limite géographique qui sépare le Québec de ses deux provinces voisines.

Cette approche présente l'intérêt de comparer les coûts réels de travaux réalisés dans des contextes similaires sur le plan de la géographie et de la disponibilité des ressources. Cependant, l'exercice a révélé des différences majeures entre les solutions privilégiées par les administrations routières quant à leurs choix et leurs séquences d'intervention et aux autres règles qui régissent les différentes interventions.

3.1 Méthodologie

Les deux organisations routières partenaires devaient proposer des projets de réfection de chaussée flexible réalisés dans un rayon de 50 km de la limite géographique avec le Québec. De même, le MTQ devait cibler des projets de même nature dans cette même zone. Aucun rajustement des coûts n'a été fait puisque les travaux ont été effectués durant la même année.

3.2 Projets de réfection : Comparaison Québec-Nouveau-Brunswick

3.2.1 Description du projet au Québec

Le projet retenu au Québec est situé sur la route 132, dans la municipalité d'Escuminac, en Gaspésie. Sur la longueur totale du projet de 4,82 km, cette route nationale compte deux voies contiguës de 3,7 m de largeur et des accotements revêtus de 3,0 m de largeur. Dans le secteur des travaux, le débit journalier moyen annuel est de 2 700 véhicules et le pourcentage de véhicules lourds est de 15 %.

Les travaux ont été effectués en juillet 2009, en milieu rural et urbain. L'intervention réalisée a consisté à corriger le profil de la route par planage du revêtement sur 35 mm d'épaisseur ainsi qu'à poser une couche d'enrobé de 43 mm d'épaisseur (taux de pose de 100 kg/m²).

Dans la zone urbaine, le planage s'est fait sur toute la plate-forme, tandis que, dans le secteur rural, il a été fait en encaissement afin de conserver les accotements préalablement aménagés. L'enrobé utilisé pour le recouvrement contenait 6,2 % de bitume (PG 64-34). La distance entre la centrale d'enrobage et le chantier était de 64 km.

3.2.2 Description du projet au Nouveau-Brunswick

Le projet similaire qui a été choisi par l'organisation routière du Nouveau-Brunswick est situé sur la route 11, dans la municipalité de Campbellton. La longueur du projet est de 5,00 km. Cette route nationale possède deux voies contiguës de 3,7 m de largeur et des accotements revêtus de 3,0 m de largeur. Dans le secteur des travaux, le DJMA est de 5 200 véhicules et le pourcentage de véhicules lourds est de 10 %.

Les travaux ont été réalisés en août 2009, dans un secteur rural. L'intervention effectuée a consisté à corriger le profil de la chaussée avec un enrobé ainsi qu'à poser une couche d'enrobé de surface. La couche d'enrobé de correction de 50 mm d'épaisseur (taux de pose de 120 kg/m²) contenait 4,8 % de bitume (PG 58-28). La couche d'enrobé de surface sur les voies de roulement et les accotements était de 38 mm d'épaisseur (taux de pose de 90 kg/m²) et son contenu en bitume était de 5,0 % (PG 58-28). La distance entre la centrale d'enrobage et le chantier était de 10 km.

3.2.3 Comparaison des coûts des projets similaires entre le Québec et le Nouveau-Brunswick

Les coûts associés aux travaux de revêtement bitumineux au Québec et au Nouveau-Brunswick sont présentés dans le tableau 3. Puisque la distance entre la centrale d'enrobage et le chantier est différente pour les deux projets, soit 64 km pour le Québec et 10 km pour le Nouveau-Brunswick, les coûts ont été évalués pour une même distance de transport de 10 km.

De même, pour le projet sur la route 132 au Québec, les coûts incluent certains travaux connexes comme le transport des résidus, l'utilisation d'un véhicule de transfert des matériaux (VTM) lors de la pose de l'enrobé, le liant d'accrochage et la signalisation sur l'ensemble du projet. Pour le projet sur la route 11 au Nouveau-Brunswick, les travaux connexes incluent, entre autres, les matériaux granulaires pour le rechargement des accotements, la signalisation, le liant d'accrochage et l'ensemencement des talus.

Tableau 3 Comparaison des coûts de projets similaires entre le Québec et le Nouveau-Brunswick

Intervention	Québec			Nouveau-Brunswick		
	t/km	\$/t	\$/km	t/km	\$/t	\$/km
Planage			36 500			
Couche de correction (enrobé)				1 230	95	116 850
Couche de roulement sur toute la plate-forme (enrobé)	1 119	100	111 900	1 810	105	190 050
Travaux connexes			20 215			67 200
TOTAL			168 615			374 100

La principale différence entre les deux projets concerne l'intervention choisie pour préparer le profil de la route avant la pose de la couche de roulement. Un planage a été effectué au Québec, tandis qu'une couche de correction a été posée au Nouveau-Brunswick. L'approche adoptée par le Nouveau-Brunswick se traduit par une augmentation importante de la capacité de support de la chaussée, ce qui n'était pas le cas pour l'intervention choisie pour le projet au Québec. Il est à noter que cette méthode de renforcement des chaussées est appliquée au Québec lorsque l'état de la chaussée le requiert.

3.3 Comparaison des projets similaires entre le Québec et l'Ontario

3.3.1 Description du projet au Québec

Le projet retenu au Québec est situé sur la route 148, dans la municipalité de Clarendon, en Outaouais. La longueur du projet est de 4,62 km. Cette route nationale possède deux voies contiguës de 3,3 m de largeur et des accotements revêtus sur une largeur de 0,2 m. Les intérieurs de courbes sont également revêtus sur une surlargeur de 1,5 m. Le secteur des travaux est situé dans un milieu rural avec un DJMA de 3 000 véhicules et un pourcentage de véhicules lourds de 10 %.

Les travaux ont été réalisés en août 2008. L'intervention effectuée correspond à la pose d'une couche de correction et d'une couche de surface ainsi qu'au rechargement granulaire des accotements sur 1,5 m de largeur. La couche de correction est de 40 mm d'épaisseur (taux de pose de 100 kg/m²) avec un enrobé de type ESG-10 contenant 5,4 % de bitume (PG 58-34 HRD). La couche de surface est de 45 mm d'épaisseur (taux de pose de 110 kg/m²) avec un enrobé de type ESG-10 contenant 5,4 % de bitume (PG 58-34 HRD). La distance entre la centrale d'enrobage et le chantier était de 33 km.

3.3.2 Description du projet en Ontario

Le projet choisi en Ontario est situé sur l'autoroute 17, dans la municipalité de Renfrew. Cette route nationale est à deux voies contiguës de 3,65 m de largeur avec des accotements revêtus sur 0,5 m de largeur. Les travaux ont été réalisés en août 2008 dans un milieu rural. La longueur du projet est de 4,71 km. Dans ce secteur, le DJMA est de 11 700 véhicules et le pourcentage de véhicules lourds est de 14 %.

Les travaux réalisés consistaient à recycler à froid le revêtement en place et à poser un enrobé de surface. L'épaisseur de celui-ci est de 50 mm (taux de pose de 116,7 kg/m²) et il contenait 5 % de bitume (PG 64-34). La distance entre la centrale d'enrobage et le chantier était de 72 km. L'intervention réalisée comprenait également le rechargement granulaire des accotements à un taux moyen de 389 kg/m².

3.3.3 Comparaison des coûts des projets similaires entre le Québec et l'Ontario

Les coûts associés aux travaux de revêtement bitumineux au Québec et en Ontario sont présentés dans le tableau 4. Puisque la distance entre la centrale d'enrobage et le chantier est différente pour les deux projets, soit 33 km pour le Québec et 72 km pour l'Ontario, les coûts ont été évalués pour une même distance de transport de 72 km.

Pour le projet sur la route 148 au Québec, les coûts des travaux connexes incluent le planage, la signalisation et le marquage. Les coûts pour le projet sur l'autoroute 17 en Ontario n'incluent pas de travaux connexes.

Tableau 4 Comparaison des coûts de projets similaires entre le Québec et l'Ontario

Intervention	Québec			Ontario		
	t/km	\$/t	\$/km	t/km	\$/t	\$/km
Recyclage à froid						220 636
Couche de correction (enrobé)	640	120	76 800			
Couche de roulement sur toute la plate-forme (enrobé)	770	122	93 940	1 341	128	171 648
Matériaux granulaires sur accotements		14	13 818		25	38 184
Travaux connexes			28 124			
TOTAL			212 682			430 468
Total sans les travaux connexes et le recyclage à froid			184 558			209 832

Les travaux considérés pour les deux provinces diffèrent en ce qui a trait à la nature des travaux pour la préparation de la surface avant la pose de la couche de roulement.

L'approche utilisée en Ontario pour la correction du profil implique le recyclage à froid de l'enrobé en place. Pour le projet au Québec, cette étape a consisté à poser une couche de correction en enrobé.

3.4 Constatations

Le choix d'une intervention à effectuer sur une structure de chaussée est fortement influencé, entre autres, par l'état de la chaussée actuelle. Les solutions possibles pour la réalisation de travaux de revêtement bitumineux sont multiples et doivent être adaptées à chaque lieu.

3.4.1 Projets similaires entre le Québec et le Nouveau-Brunswick

- Le coût total des travaux varie de façon notable, selon la méthode utilisée pour corriger le profil de la chaussée avant son recouvrement. L'approche par planage est moins onéreuse que la pose d'une couche de correction en enrobé. Il en résulte que, pour deux projets de resurfage, les coûts sont très différents, variant du simple au double.

- Par contre, le projet du Nouveau-Brunswick vise un renforcement de la structure de chaussée, alors que celui du Québec s'attache à maintenir la capacité de la chaussée dans son état actuel. L'état de la chaussée et le diagnostic d'endommagement expliquent ces différences dans le choix des interventions.
- En ne considérant que les travaux de pose d'enrobé pour la couche de roulement sur toute la plate-forme, les coûts des travaux, pour le projet réalisé au Québec, demeurent inférieurs à ceux du Nouveau-Brunswick de 41 %. Cette différence est liée à la quantité d'enrobé utilisée pour recouvrir les accotements plutôt qu'au coût unitaire de l'enrobé. D'ailleurs, les coûts unitaires des enrobés des deux provinces sont très semblables. Pour les mêmes distances de transport (10 km), le coût unitaire des enrobés au Québec est de 5 % inférieur à celui du Nouveau-Brunswick.

3.4.2 Projets similaires entre le Québec et l'Ontario

- Le coût total des travaux varie de façon importante, selon la méthode utilisée pour corriger le profil par rapport à l'état de dégradation de la chaussée avant son recouvrement. La technique de recyclage à froid utilisée en Ontario s'avère plus coûteuse et explique en majeure partie la différence de coûts.
- En excluant le recyclage à froid et les travaux connexes, les coûts sont de 14 % plus élevés en Ontario qu'au Québec, et ce, en considérant la même distance de transport entre le lieu des travaux et la centrale d'enrobage. Cette différence s'explique, en partie, du fait que le coût des matériaux granulaires ainsi que celui de l'enrobé sont plus élevés en Ontario. Toutefois, cet écart est réduit partiellement par l'épaisseur de la couche d'enrobé et la quantité supérieure d'enrobé posée au Québec dans le cadre d'un projet similaire.
- Le coût unitaire de l'enrobé pour la couche de surface est de 5 % inférieur pour le projet au Québec par rapport à celui de l'Ontario.

3.4.3 Constatations générales relatives aux projets similaires

- Les coûts des enrobés légèrement plus faibles au Québec peuvent s'expliquer, entre autres, par le fait qu'il y a plusieurs centrales d'enrobage en fonction au Québec, soit 173, comparativement à 127 en Ontario⁵. Cette différence de coût des enrobés a d'autant plus d'importance que le MTQ effectue beaucoup de travaux de revêtement bitumineux. Par exemple, 81,5 % de la longueur totale des travaux réalisés au Québec en 2009 concernait presque exclusivement des travaux de revêtement bitumineux. Par contre, l'envergure des travaux de pose d'enrobés est moindre au Québec qu'en Ontario. En effet, le tonnage moyen d'un contrat est d'environ 10 500 t (14 km de voie) pour le MTQ, alors qu'en Ontario il est de 26 370 t (35 km de voie)⁶.

5. Ontario Hot Mix Producers Association.

6. Ministère des Transports de l'Ontario.

- Toutefois, la démarche suivie pour cette deuxième analyse de cas met en évidence la problématique consistant à retenir des projets similaires. Plusieurs particularités des projets ont des répercussions directes sur les coûts, et ce, selon le choix de l'intervention, le déroulement des travaux, le type et la disponibilité des matériaux nécessaires. D'autres éléments ont aussi des effets sur les coûts comme la proportion de travaux en milieu urbain, la largeur des accotements, la pose d'enrobés sur les accotements ou leur rechargement avec des matériaux granulaires, la méthode de correction du profil avant recouvrement, etc.

4. Conclusion

Une étude comparative des coûts de construction routière entre le Québec, le Nouveau-Brunswick et l'Ontario a été réalisée par le ministère des Transports du Québec. Cette étude tente de répondre à une recommandation du Vérificateur général du Québec.

Dans le cadre de cette étude, deux analyses de cas ont été effectuées, soit un projet de **construction** d'une chaussée neuve et un projet de **réfection** de chaussée.

Pour établir la comparaison entre les projets de construction, les coûts réels actualisés de ce projet ont été comparés à des estimations faites par les provinces du Nouveau-Brunswick et de l'Ontario.

Pour établir la comparaison entre les projets de réfection, des projets récents de correction de profil et de revêtement bitumineux, réalisés dans des zones limitrophes du Québec, ont été sélectionnés.

L'analyse du premier cas concernant la construction d'un segment de l'autoroute 20 est dans la région du Bas-Saint-Laurent a permis d'estimer que le coût de construction de cette chaussée serait similaire au Nouveau-Brunswick et supérieur en Ontario. Cette analyse a permis de constater que les coûts des enrobés sont moins élevés au Québec par rapport à ceux de l'Ontario et du Nouveau-Brunswick.

L'analyse du deuxième cas a permis de comparer des projets similaires entre le Québec et le Nouveau-Brunswick et entre le Québec et l'Ontario. Ces comparaisons ont permis de constater que le coût unitaire des enrobés est plus faible au Québec que dans les deux provinces limitrophes.

Enfin, les paramètres établis ont permis de faire des comparaisons valables en ce qui a trait aux coûts de construction des chaussées et se limitent au domaine des chaussées.

Tableau 5 Moyenne des profondeurs maximales de gel au Québec depuis les 9 dernières années (données du MTQ)

Municipalité	N° tube	Moyenne sur 9 ans de la profondeur maximale de gel (cm)
Amos	a05	255
Arntfield	a17	237
Baie-Comeau	d02	297
Barford	l04	166
Bonaventure	e02	198
Cadillac	a07	226
Campbell's Bay	f08	146
Cap-aux-Meules	n06	102
Cap-Santé	i10	189
Chambord	k01	212
Champlain	m03	185
Chapais	s10	263
Charlesbourg	i01	188
Charlesbourg	i02	187
Chelsea	s12	142
Deauville	l02	162
Delisle	k09	210
Denault	a13	254
Dolbeau-Mistassini	k03	238
Douay	a12	298
Drummondville	l01	142
Duhamel-Ouest	f05	188
Eaton	l03	167
Entremont	f09	201
Étang-du-Nord	n05	119
Fermont	d06	385
Gagnonville	d10	360
Gaspé	e03	257

Municipalité	N° tube	Moyenne sur 9 ans de la profondeur maximale de gel (cm)
Gauvin	a14	274
Godmanchester	j02	177
Grand-Remous	f02	174
Havre-aux-Maisons	n04	101
Havre-Saint-Pierre	d04	193
Hébertville km 84	k06	216
Hull	f07	154
Kazabazua	f06	208
La Doré	k08	248
La Malbaie	i09	173
La Pocatière	b04	185
Lac-au-Saumon	e05	213
Lac-Bouchette	k02	234
Lachute	g02	197
Lac-Jacques-Cartier	S03	277
Lacolle	S11	88
Lafontaine	g05	151
Le Domaine	f01	247
Lebel-sur-Quévillon	a04	257
L'Étape	i04	285
Lévis	S05	188
Louvicourt	a11	239
Macamic	a16	184
Matagami	a09	255
Mont-Laurier	f03	258
Montmagny	c07	262
Nantes	c03	180
New Richmond	e04	239
Normétal	a10	249
Notre-Dame-des-Pins	c04	211
Notre-Dame-du-Lac	b02	265

Municipalité	N° tube	Moyenne sur 9 ans de la profondeur maximale de gel (cm)
Nouvelle	e06	223
Petite-Rivière-Saint-François	S04	242
Rigaud	j01	178
Rivière-du-Loup	b01	213
Rosemère	g03	146
Saint-Augustin	i06	204
Saint-Augustin-de-Desmaures	S02	198
Saint-Bernard-de-Lacolle	j03	145
Sainte-Agathe-Nord	g01	199
Sainte-Anne-des-Monts	e01	256
Sainte-Rose-de-Watford	c08	260
Saint-Félix-d'Otis	k07	224
Saint-Georges	m02	172
Saint-Gilles	c05	190
Saint-Joseph-de-Lepage	b03	233
Saint-Louis-de-France	m01	184
Saint-Nicolas	c01	210
Saint-Patrice-de-Sherrington	j05	146
Saint-Rédempteur	c02	188
Scott	c06	326
Senneterre	a02	244
Sept-Îles	d03	199
Shefford	j08	158
Stoneham	i03	223
Tadoussac	tg08	232
TNS	d09	338
TNS km 84	d08	262
Trois-Rives	m04	205
Val-d'Or	a06	257
Valleyfield	j04	154
Villejoin	tg07	307

Un contexte particulier

Le ministère des Transports du Québec a la responsabilité de l'entretien de quelque 30 300 km d'infrastructures routières composée d'autoroutes, de routes nationales, régionales et collectrices. Ce réseau routier, évalué à plusieurs dizaines de milliards de dollars, connecte entre elles toutes les régions du Québec, donnant ainsi accès aux marchés et aux ressources, d'où toute son importance en matière de soutien de l'économie du Québec.

La route est en effet le moyen privilégié par la population pour se déplacer en toute sécurité et pour le transport des marchandises vers les marchés québécois, canadiens et américains. L'évolution du parc automobile et du nombre de permis de conduire témoigne de la capacité de mobilité des Québécois. Par contre, l'augmentation des milliards de kilomètres parcourus sur les routes du Québec révèle toute l'importance stratégique de ce mode de transport dans la vie quotidienne des citoyens et des entreprises. Les déplacements sont donc plus nombreux et se répartissent différemment sur le territoire, dans le temps et avec les saisons.

Évolution de la demande

Au Québec, entre 1987 et 2007 :

- la population a augmenté de 13 %;
- le nombre de véhicules a augmenté de 52 %;
- le nombre de permis de conduire a augmenté de 30 %;
- le nombre de kilomètres parcourus a augmenté de 60 %;
- le nombre de kilomètres parcourus par les véhicules lourds a augmenté de 79 %.

Au cours de cette même période, la longueur du réseau routier a peu changé. Des améliorations notoires ont été réalisées sur le réseau existant, notamment par l'aménagement de voies lentes, la réfection de carrefours ou l'élargissement de certaines voies. Il reste que les usagers de la route circulent sur les mêmes chaussées et suivent les mêmes itinéraires qu'il y a 30 ou 40 ans.

Évidemment, au moment de la conception de ces chaussées, une telle évolution de la demande ne pouvait être anticipée. Les méthodes de dimensionnement, les matériaux, les techniques de construction, les contrôles de qualité, les modes de gestion des infrastructures sont autant de domaines où l'état des connaissances a fait un bon spectaculaire. La compréhension des phénomènes qui modifient le comportement des ouvrages est primordiale pour faire face à une croissance de la demande telle que nous la connaissons aujourd'hui.

Outre les volumes de circulation des véhicules légers et les modes de chargement des chaussées des poids lourds, un certain nombre de facteurs viennent influencer sur les choix de conception, de matériaux et de gestion de chaussées.

Parmi ceux-ci, plusieurs sont imposés par les particularités mêmes du Québec. Par exemple, les conditions climatiques québécoises sont particulièrement rigoureuses. Les températures froides de l'hiver et chaudes de l'été créent des écarts de l'ordre de 60 °C. Également nocifs pour les chaussées, les écarts de températures peuvent atteindre 25 °C en quelques heures. Un refroidissement brusque durant la période

hivernale ou printanière peut provoquer des détériorations prématurées des chaussées et des surfaces de roulement. Pendant plus de quatre mois, le sol gèle à des profondeurs variant de 1,2 à 3,0 m. Après avoir résisté aux effets de déformation attribuables au gel profond, les routes doivent continuer de supporter des charges importantes en période de dégel, alors que la chaussée, gorgée d'eau, est affaiblie de 40 %.

L'immensité du territoire québécois, la faible densité de la population, le climat d'une rigueur extrême, les sols capricieux et le trafic intense font du Québec l'un des endroits au monde où assurer la qualité des déplacements de la population par la conservation et la gestion efficace d'un réseau routier fiable reste un défi permanent!

Tableau 6 Réseau routier géré par l'État

	Québec	Ontario	New York	France
Longueur (km)	30 300	21 100	24 100	20 000
Nombre d'habitants (millions)	7,9	13,2	19,5	64,7
Précipitations annuelles moyennes (mm)	1 000	500 à 900	750	800
Durée de la période de gel (jour/an)	147 à 218	100 à 200	10 à 100	0 à 90
Profondeur de gel (m)	1,2 à 3	1 à 3,2	Moins de 1,4	0 à 0,8
Charge maximale Essieux simples (tonnes)	10	10	9	France : 13,1 Union européenne : 11,5

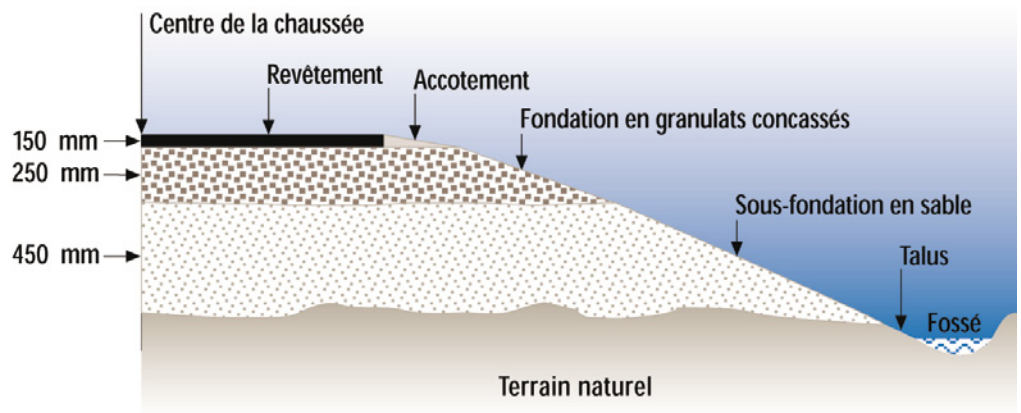
Les chaussées québécoises

Les routes sont des structures qui, bien qu'elles soient très simples de prime abord, couvrent de vastes étendues et ont un comportement fort complexe dont la compréhension et l'analyse est l'un des grands défis du génie civil.

Les chaussées

Selon le type de revêtement utilisé, on distingue deux principales familles de chaussées : les chaussées à revêtement souple en enrobé bitumineux (asphalte), que l'on trouve sur près de 90 % du réseau routier, et les chaussées à revêtement rigide en béton de ciment qui couvrent 3 % du réseau. La figure 8 présente une coupe de chaussée pouvant convenir aux deux types de structures. Le choix de la structure la plus appropriée ainsi que sa conception dépendent de divers facteurs tels que l'intensité du trafic prévu, les types de sols, le climat, les coûts et la disponibilité locale des matériaux de construction.

Figure 8 Exemple de coupe type d'une chaussée



Des ouvrages qui travaillent

La durée de vie d'une chaussée souple est habituellement de 15 à 20 ans, alors que celle d'une chaussée rigide varie de 20 à 30 ans. La durée de vie d'une nouvelle couche de revêtement souple est de l'ordre de 9 à 12 ans.

On évalue l'état d'une chaussée en fonction de certains défauts qui, avec le temps et l'usage, s'accroissent. On décrit habituellement les trois aspects suivants :

1. Les ornières qui se forment en raison de l'affaissement de la surface dans les pistes de roues.



2. La fissuration et les autres dommages visibles en surface.



3. Les ondes (creux et bosses) affectant le confort au roulement ou l'uni de la surface.



Chaque chaussée se comporte différemment selon, entre autres, la nature des sols, la position de la nappe phréatique, l'épaisseur des couches, le climat, le type de chaussée, sa géométrie, les caractéristiques des matériaux de construction, le trafic. Il faut donc considérer tous ces paramètres pour diagnostiquer adéquatement les causes de détérioration.

La compréhension des phénomènes de détérioration des chaussées permet de trouver des solutions pour mieux les contrer.

Dans une contrée nordique

Le Québec connaît des écarts de température de 60 à 70°C. En effet, le mercure peut descendre jusqu'à -30°C l'hiver et atteindre 30°C en été. En hiver, le sol gèle à une profondeur allant de 1,2 à 3,0 m, ce qui est nettement plus que les structures de chaussées qui atteignent en moyenne une épaisseur de 0,9 m.

Le tableau 7 compare le contexte québécois avec celui de l'Ontario, de l'État de New York et de la France. Deux aspects importants ressortent de cette comparaison : l'intensité du froid et la quantité de précipitations. De plus, les routes du Québec sont en majorité construites sur des sols capricieux, notamment ceux de la vallée du fleuve Saint-Laurent.

Tableau 7 Contexte de différentes administrations

	Québec	Ontario	New York	France
Longueur du réseau routier (km)	130 600	122 400	184 200	1 036 200
Nombre d'habitants (millions)	7,9	13,2	19,5	64,7
Précipitation annuelle moyenne (mm)	1 000	850	750	800
Durée de la période de gel (jour/an)	147 à 218	100 à 200	10 à 100	0 à 90
Profondeur de gel (m)	1,2 à 3,0	1,0 à 2,6	Moins de 1,4	0 à 0,5

Les hauts et les bas d'une chaussée souple

Les chaussées subissent les assauts combinés du climat et du trafic. Sous l'effet du froid, la pénétration du gel s'effectue graduellement dans les sols en partant du haut vers le bas (voir figure 9). Ce gel endommage la structure. Dans certaines conditions défavorables, l'eau contenue dans les sols non gelés peut être aspirée vers la zone de gel. Ce pompage de l'eau de la nappe phréatique engendre alors la formation de lentilles de glace qui se traduit par un soulèvement de la chaussée (voir figure 10).

Figure 9 Gonflement attribuable au gel

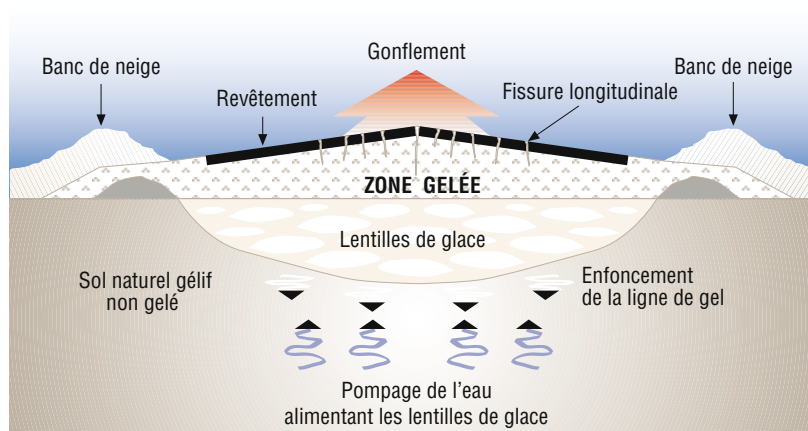


Figure 10 Lentilles de glace



En raison de leur taille, ces lentilles peuvent soulever la chaussée jusqu'à 20 cm. Les soulèvements sont souvent inégaux, ce qui explique les creux et les bosses qui sont plus importants à la fin de l'hiver quand la profondeur du gel est au maximum.

Figure 11 Chaussée présentant un soulèvement de 20 cm



Ils ont aussi pour effet de faire plier le revêtement, provoquant l'apparition de fissures de gel plus ou moins longitudinales, que l'on appelle lézardes.

Figure 12 Chaussée présentant une lézarde causée par le gel



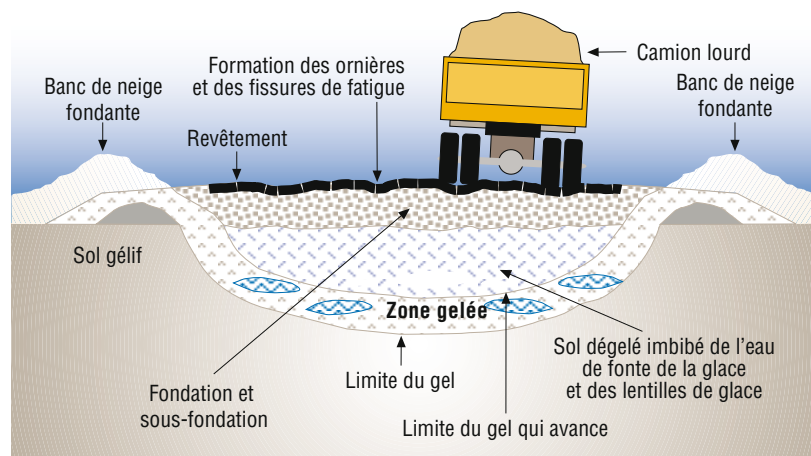
De plus, comme tout autre matériau, l'enrobé bitumineux durcit, se fragilise et se contracte sous l'effet du froid. En rétrécissant sur de grandes longueurs, le revêtement est alors soumis à des efforts de tension qui vont le faire casser, produisant ainsi des fissures transversales (voir figure 13).

Figure 13 Fissures transversales



La chaussée n'est pas au bout de ses peines, car arrive ensuite le dégel printanier, qui se fait aussi du haut vers le bas. L'eau provenant de la fonte de la neige en surface et de la fonte des lentilles de glace à l'intérieur se retrouve en quantité importante dans la couche de sol dégelé. Cette eau est alors emprisonnée dans le sol à cause de la couche gelée du dessous qui est étanche (voir figure 14).

Figure 14 Affaissement au dégel



La chaussée ne présente alors que de 30 à 70 % de sa résistance normale en été. Durant le dégel, les effets des véhicules lourds sur la chaussée sont amplifiés, accélérant ainsi la formation des ornières, l'apparition des fissures de fatigue et les nids-de-poule. C'est pour cette raison que des restrictions de charges sont imposées aux véhicules lourds afin de limiter les dommages en période de dégel.

Les soulèvements dus au gel se résorbent au dégel. Toutefois, la chaussée ne reprend pas nécessairement sa position initiale. Il y a donc une altération permanente de l'uni, ou du confort au roulement.

La chaussée se draine durant l'été, et les cycles se répètent chaque année, causant davantage de détériorations. Son endommagement s'accélère avec le temps, car l'apparition de petits défauts crée des zones de faiblesses supplémentaires qui laisseront pénétrer plus d'eau, qui s'aggraveront et se propageront plus rapidement d'une fois à l'autre. Ainsi, même pour une chaussée, le Nord n'est pas de tout repos.

Des solutions pour s'adapter au climat

Des bitumes adaptés au climat doivent être utilisés pour éviter que l'enrobé devienne trop cassant durant l'hiver, tout en restant assez rigide l'été.

Les fossés de drainage le long des routes et le rehaussement des chaussées constituent des moyens largement utilisés pour réduire le risque de montée de la nappe phréatique dans la chaussée. Dans certains cas, l'installation de dispositifs spéciaux de drainage, comme de la pierre nette, des membranes synthétiques ou des drains souterrains qui permettent d'évacuer l'eau en dehors de la structure routière, devient nécessaire.

Une autre nécessité typique consiste à protéger les sols susceptibles au gel en les mettant à l'abri du froid. Ainsi, l'épaisseur des couches de sable et de gravier sur les routes nordiques est plus importante que sur les routes des régions chaudes.

À l'occasion, des excavations plus profondes pour enlever le sol problématique et le remplacer par un autre sol moins gélif sont requises. Il arrive aussi que le sol soit stabilisé à l'aide de produits chimiques comme la chaux. Dans certains cas, une couche isolante est insérée dans la chaussée afin de freiner la pénétration du gel. Les couches isolantes peuvent être composées de polystyrènes à haute densité, de bétons isolants ou d'autres produits isolants.

La mise en place de certains dispositifs ou l'utilisation de produits spéciaux engendrent des coûts supplémentaires. On a recours à ces moyens lorsque le gain financier attribuable au prolongement de la durée de vie de la chaussée est avantageux par rapport à l'investissement initial.

Figure 15 Section type de la chaussée du nouveau tronçon de l'autoroute 20 à Sainte-Luce (aucune échelle, dimensions en mm sauf si précisé)

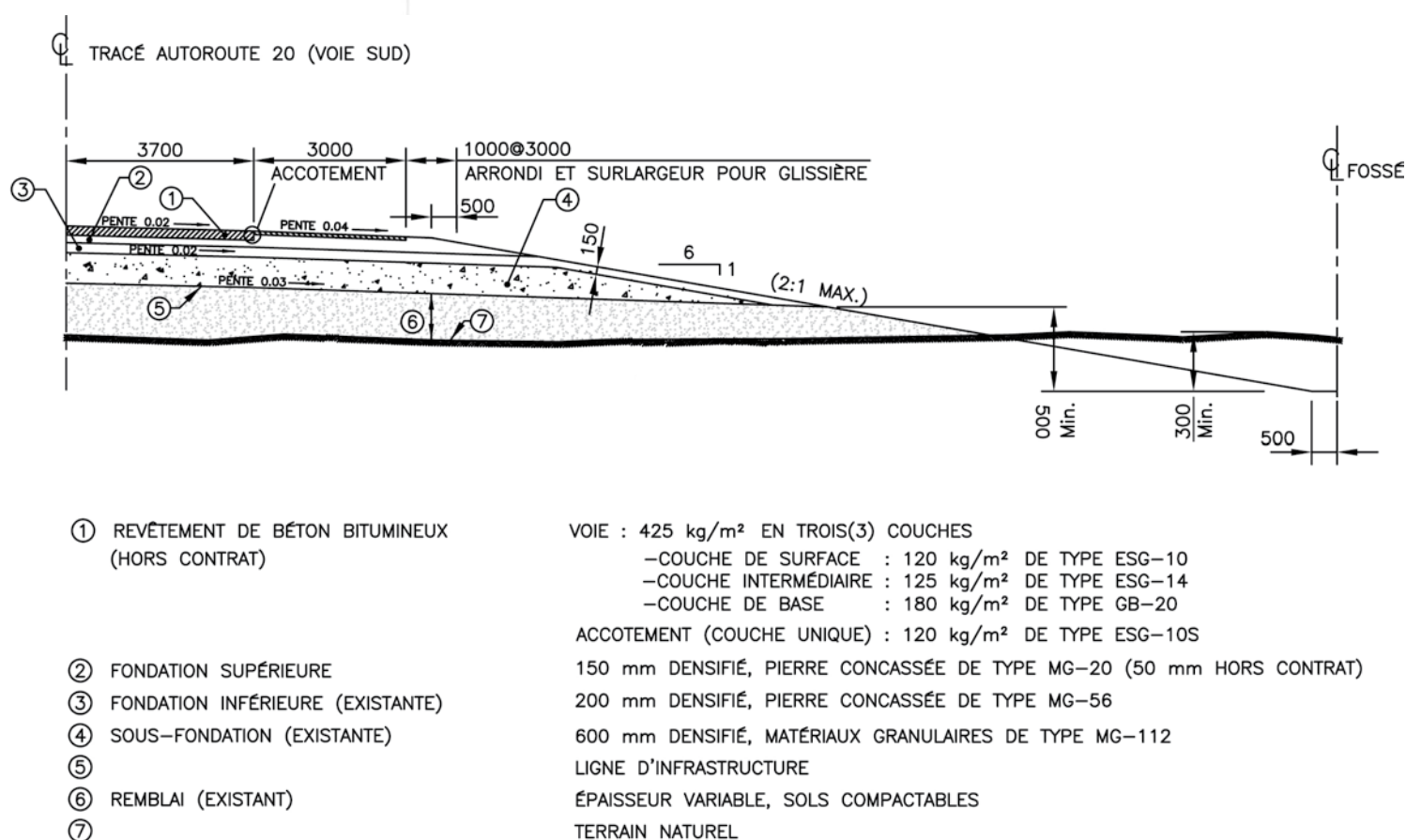


Tableau 8 Terminologie des matériaux constituant une chaussée

Acronyme	Description
GB-20	Enrobé pour couche de base
ESG-14	Enrobé semi-grenu pour couche unique ou couche de surface
ESG-10	Enrobé semi-grenu pour couche de surface
MG 20	Matériaux granulaires dont le diamètre maximal est de 20 mm
MG 56	Matériaux granulaires dont le diamètre maximal est de 56 mm
MG 112	Matériaux granulaires dont le diamètre maximal est de 112 mm

Tableau 9 Équivalence des matériaux entre le Québec, le Nouveau-Brunswick et l'Ontario

Québec	Nouveau-Brunswick	Ontario
GB-20	<i>Hot mixed conventional asphalt concrete base mix – Type B</i>	<i>Superpave 19.0 mix</i>
ESG-14	<i>Hot mixed conventional asphalt concrete base/surface mix – Type C</i>	<i>Superpave 12.5 mix</i>
ESG-10	<i>Hot mixed conventional asphalt concrete surface mix – Type D</i>	<i>Superpave 9.5 mix</i>
MG 20	Selon l'origine, les fuseaux granulométriques varient : 1- Gravier concassé = <i>Crushed Gravel Aggregate Base 31,5 mm</i> 2- Pierre concassée = <i>Crushed Rock Aggregate Base 31,5 mm</i>	<i>Granular A</i>
MG 56	Selon l'origine, les fuseaux granulométriques varient : 1- Gravier concassé = <i>Crushed Gravel Aggregate Subbase 50 mm</i> 2- Pierre concassée = <i>Crushed Rock Aggregate Subbase 50 mm</i>	Aucun équivalent
MG 112	Selon l'origine, les fuseaux granulométriques varient : 1- Tout venant = <i>Pit run gravel Subbase 125 mm</i> 2- Gravier concassé = <i>Crushed Gravel Aggregate Subbase 100 mm</i> 3- Pierre concassée = <i>Crushed Rock Aggregate Subbase 75 mm</i> Grès concassé = <i>Crushed Sandstone Subbase 100 mm</i>	<i>Granular B, Type I (Pit-run material or crushed aggregates)</i> <i>Granular B, Type II (only crushed aggregates)</i>

