

**REVUE DE LITTÉRATURE ET RECENSEMENT AUPRÈS
DES ADMINISTRATIONS VOISINES SUR L'EXISTENCE
D'UNE PROBLÉMATIQUE DE RÉTRORÉFLEXION ET
SUR LES MOYENS MIS EN PLACE POUR ASSURER
UNE RÉTRORÉFLEXION D'UNE DURÉE SUPÉRIEURE À
UNE ANNÉE**

PROJET R687.1

Nicolas Saunier, Ph.D., ing. jr

Marilyne Brosseau, ing. jr

Ana Carrasquilla

École Polytechnique de Montréal

Réalisé pour le compte du ministère des Transports du Québec

Avril 2012

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports du Québec et a été financée par le Service de l'exploitation, Direction du soutien aux opérations.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports du Québec.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Marie Beauchemin, ing., et Michel Tremblay, ing., pour leur aide dans ce projet, ainsi que toutes les personnes qui ont participé à notre enquête.

SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Ce projet a consisté en une revue de littérature et une enquête auprès des juridictions avec un climat similaire au Québec pour comprendre les problèmes de durabilité et surtout de rétroréflexion rencontrés récemment au Québec. Il existe de nombreux travaux sur le sujet et de nombreux auteurs et agences de par le monde ont des préoccupations similaires, en particulier avec la proposition de normes minimales de rétroréflexion sur certaines routes aux États-Unis. Les causes recensées dans la littérature tombent dans trois grandes catégories : la chaussée (type, âge, état), la circulation (composition, vitesse) et l'environnement (entretien hivernal).

Outre les peintures à base d'eau ou à base de solvants, de nombreux produits de marquage sont maintenant disponibles sur le marché. Ces nouveaux produits comme le méthacrylate de méthyle (MMA) et les thermoplastiques proposent en particulier des performances supérieures en termes de durabilité et de rétroréflexion, à un coût cependant plus élevé d'application. Le choix d'un produit devrait donc prendre en compte le coût et la durée de vie attendue du marquage.

Des méthodes complémentaires ont été identifiées dans la littérature pour améliorer la durabilité et la rétroréflexion. La méthode la plus couramment utilisée est d'incruster le marquage dans la chaussée de quelques millimètres, que ce soit dans des rainures continues ou des bandes rugueuses. Le marquage est ainsi protégé des versoirs des chasse-neiges. Il est aussi possible d'ajouter des délinéateurs dont certains sont spécifiquement conçus pour résister aux opérations de déneigement, afin d'assurer la rétroréflexion même quand le marquage devient déficient. Enfin, certaines agences utilisent maintenant des déneigeuses avec des versoirs en uréthane ou en caoutchouc, qui se sont avérés moins dommageables pour le marquage que les versoirs classiques en carbone ou en acier. Certaines agences ont de plus ajouté des roues à leurs versoirs afin d'appliquer moins de force sur le marquage au moment de déneiger la chaussée.

La revue de littérature a mené à l'ajout de plusieurs questions complémentaires à une première enquête effectuée aux États-Unis (Garvey et al. 2008). Les réponses au nouveau questionnaire confirment que les problèmes rencontrés au Québec sont courants dans toutes les juridictions qui ont répondu et en particulier dans les régions froides. Elles permettent de dresser un portrait des pratiques dans les choix et l'application du marquage au sol. Les durées de vie des marquages rapportées sont dans l'ensemble similaires entre agences. Le Québec se distingue par un coût plus élevé d'application de l'époxy, produit dont la durée de vie de la rétroréflexion a diminué ces dernières années, et par la faible utilisation d'autres produits connus pour leurs bonnes performances dans les régions froides. Il est cependant probable que certaines juridictions rapportent des coûts d'application sous-estimés pour certains produits en ayant interprété différemment cette question.

L'enquête indique que le produit avec la meilleure durée de vie est le MMA, mais que ce sont les produits suivants qui ont un meilleur rapport coût – durée de vie : la peinture à base d'eau, l'époxy, le polyurea, le polyester et le thermoplastique préformé ou projeté.

Comme le MTQ, une majorité des agences ayant répondu ont constaté une diminution de la durabilité ou de la rétroréflexion du marquage dans la dernière décennie, attribuée au déneigement, ainsi qu'aux changements de compositions de certains produits (en particulier les peintures alkydes). Quelques États américains ont constaté un lien avec l'augmentation de la taille des agrégats utilisés pour la chaussée, qui peut demander une application plus épaisse de marquage.

Les informations détaillées sur les pratiques hivernales sont difficiles à obtenir et les réponses obtenues ne contiennent pas de surprises. Les solutions mises en œuvre pour améliorer la durabilité de marquage sont les mêmes que celles identifiées dans la littérature, en premier lieu l'incrustation des marquages, ainsi que l'utilisation de versoirs plus souples en caoutchouc.

Nos recommandations pour le Québec sont donc d'évaluer les solutions les plus prometteuses pour améliorer la durabilité et la rétroréflexion du marquage dans les régions froides :

- faire des bancs d'essai avec les produits plus performants comme le MMA, le polyurea, le polyester et le thermoplastique
- tester systématiquement l'incrustation de ces produits (dans des rainures ou sur des bandes rugueuses) en plus de leur installation typique à la surface de la route
- tester de nouveaux matériaux pour les versoirs des déneigeuses (uréthane, caoutchouc)
- tester des délinéateurs réfléchissants résistants au déneigement, en conjonction avec les nouveaux matériaux pour les versoirs

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	3
Synthèse des conclusions et recommandations	4
Introduction.....	13
Problématique	15
Méthodologie	17
Revue de littérature	19
Principaux facteurs d'usure	19
La rétroréflexion et le rôle des microbilles de verre	19
Impact du marquage et de la rétroréflexion sur la sécurité routière	22
Les caractéristiques des matériaux de marquage au sol	23
Impact du type de chaussée sur la durabilité du marquage	28
Pratiques hivernales dans les régions froides et influence sur le marquage	29
Solutions complémentaires au type de produit de marquage pour les régions froides	30
Délinéateurs surélevés (« Raised Reflective Pavement Marker », RRPM)	30
Changement des matériaux des versoirs des chasse-neiges	32
Marquage incrusté et marquage sur bandes rugueuses	32
Conclusions de la revue de littérature	39
Enquête auprès des agences de transport à propos des pratiques et des produits utilisés pour le marquage au sol.....	41
Contexte.....	41
Résultats de l'enquête.....	45
Première partie	45
Seconde partie	66
Conclusion de l'enquête	70
Conclusion.....	72
Perspectives	73
Références	75
Annexe A.....	80
Annexe B.....	90

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 - SEUILS MINIMAUX DE RÉTRORÉFLEXION DU FHWA (MCD/LX/M ²)	15
TABLEAU 2 - TENEUR EN BILLES DE VERRE ET VALEURS DE RÉTRORÉFLEXION (R _L) EN MCD/LX/M ² POUR DES MARQUAGES EN PEINTURE	21
TABLEAU 3 - MATÉRIAUX RECOMMANDÉS EN FONCTION DU DJMA ET DE LA DURÉE DE VIE DE LA CHAUSSÉE	25
TABLEAU 4 - TAUX DE CHANGE UTILISÉ	45
TABLEAU 5 - COÛTS QUI NE POUVAIENT PAS ÊTRE NORMALISÉS	46
TABLEAU 6 - COÛT MOYEN D'APPLICATION DES PRODUITS DE MARQUAGE ...	46
TABLEAU 7 - POURCENTAGE DU MARQUAGE EFFECTUÉ PAR DES ENTREPRENEURS	52
TABLEAU 8 - FRÉQUENCE D'UTILISATION DES PRODUITS DE MARQUAGE	53
TABLEAU 9 - FRÉQUENCE D'UTILISATION DES PRODUITS DE MARQUAGE AU QUÉBEC	54
TABLEAU 10 - DURÉE DE VIE MOYENNE DES PRODUITS DE MARQUAGE	54
TABLEAU 11 - MÉTHODES D'INSPECTION DE RÉTRORÉFLEXION UTILISÉES ...	63
TABLEAU 12 - APPAREILS DE MESURE UTILISÉS	63
TABLEAU 13 - CRITÈRES DE SÉLECTION DE MARQUAGE	66
TABLEAU 14 - TRAITEMENTS DES BILLES DE VERRES UTILISÉS	68
TABLEAU 15 - COÛT MOYEN D'APPLICATION PAR ANNÉE	70

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 - PRINCIPE DE LA RÉTRORÉFLEXION 13

FIGURE 2 - PROBABILITÉ RELATIVE D'ACCIDENT EN FONCTION DE LA
RÉTRORÉFLEXION 23

FIGURE 3 - COURBE ILLUSTRATIVE DE DÉGRADATION DE LA
RÉTRORÉFLEXION EN FONCTION DU TEMPS POUR LES
THERMOPLASTIQUES..... 30

FIGURE 4 - TYPES DE MARQUAGE INCRUSTÉ: A) RAINURE LISSE, B) BANDE
RUGUEUSE C) BANDE RUGUEUSE EN RAINURE 32

FIGURE 5 - DÉTAIL DES BANDES RUGUEUSES UTILISÉES DANS L'EXPÉRIENCE
DE L'INDIANA 38

FIGURE 6 - MAUVAISE ADHÉRENCE DE LA PEINTURE AUX BANDES
RUGUEUSES..... 38

FIGURE 7 - COÛTS D'APPLICATION DE LA PEINTURE À BASE D'EAU..... 47

FIGURE 8 - COÛTS D'APPLICATION DE LA PEINTURE À BASE DE SOLVANT 48

FIGURE 9 - COÛTS D'APPLICATION DE L'ÉPOXY 48

FIGURE 10 - COÛTS D'APPLICATION DU POLYUREA..... 49

FIGURE 11 - COÛTS D'APPLICATION DU THERMOPLASTIQUE PRÉFABRIQUÉ.. 49

FIGURE 12 - COÛTS D'APPLICATION DU THERMOPLASTIQUE PROJETÉ..... 49

FIGURE 13 - COÛTS D'APPLICATION DU POLYESTER..... 50

FIGURE 14 - COÛTS D'APPLICATION DES BANDES PRÉFABRIQUÉES 50

FIGURE 15 - COÛTS D'APPLICATION DU THERMOPLASTIQUE INSTALLÉ À
CHAUD..... 51

FIGURE 16 - COÛTS D'APPLICATION DU MMA PROJETÉ..... 51

FIGURE 17 - COÛTS D'APPLICATION DU MMA MANUEL..... 51

FIGURE 18 - DURÉE DE VIE DE LA PEINTURE À BASE D'EAU 56

FIGURE 19 - DURÉE DE VIE DE LA PEINTURE À BASE DE SOLVANT 57

FIGURE 20 - DURÉE DE VIE DU POLYUREA..... 57

FIGURE 21 - DURÉE DE VIE DE L'ÉPOXY (L'INTERVALLE RAPPORTÉ POUR LE
BÉTON AU QUÉBEC CONCERNE DU MARQUAGE INCRUSTÉ) 58

FIGURE 22 - DURÉE DE VIE DU POLYESTER..... 58

FIGURE 23 - DURÉE DE VIE DU THERMOPLASTIQUE PRÉFABRIQUÉ..... 59

FIGURE 24 - DURÉE DE VIE DU THERMOPLASTIQUE PROJETÉ..... 59

FIGURE 25 - DURÉE DE VIE DES BANDES PRÉFABRIQUÉES 60

FIGURE 26 - DURÉE DE VIE DU MMA MANUEL..... 60

FIGURE 27 - DURÉE DE VIE DU THERMOPLASTIQUE INSTALLÉ À CHAUD 61

FIGURE 28 - DURÉE DE VIE DU MMA PROJETÉ..... 61

FIGURE 29 - NORMES DE RÉTRORÉFLEXION EN TEMPS SEC 64

GLOSSAIRE

DJMA : Débit journalier moyen annuel

FHWA : Federal Highway Administration

MMA : Méthacrylate de méthyle

mcd/lx/m² : Millicandelas par lux et mètre carré

NTPEP : « National Transportation Product Evaluation Program », banc de test de produits de marquage aux États-Unis

RRPM : « Raised Reflective Pavement Marker », délinéateurs réfléchifs surélevés

SRPM : « Snowplowable Reflective Pavement Marker », délinéateurs réfléchifs résistants au déneigement

INTRODUCTION

La signalisation routière est une composante essentielle du réseau routier. Elle peut servir à assurer la sécurité des usagers, à les guider ou encore à assurer une bonne gestion du réseau routier. Son but ultime est de permettre à un usager non habitué d'avoir une conduite aussi sécuritaire qu'un usager habitué. Il existe plusieurs types de signalisation, dont le marquage horizontal. Celui-ci est surtout utilisé dans le but de guider les usagers, en leur précisant l'alignement de la route ainsi que certaines restrictions, par exemple le droit de dépasser. Ce type de marquage est une composante essentielle de la signalisation routière (Baass 2006). Plusieurs études ont démontré l'importance du marquage dans la prévention des accidents de la route.

La signalisation routière doit être visible de jour comme de nuit. La nuit, les phares des véhicules sont souvent la seule source de lumière. Il est important que cette source soit suffisante pour assurer la visibilité du marquage. Certains matériaux réfléchissent une partie de la lumière reçue vers la source, ce qui est appelé rétroréflexion. (Baass 2011). Dans le cas du marquage routier, la rétroréflexion est souvent assurée à l'aide de billes de verres intégrées au marquage. La Figure 1 illustre le phénomène de la rétroréflexion obtenue avec des billes de verre.

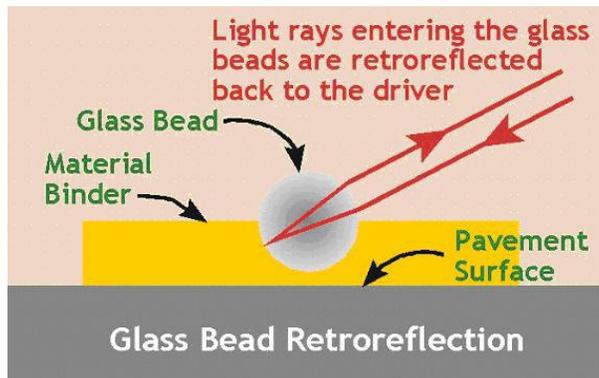


Figure 1 - Principe de la rétroréflexion

Source : Texas Department of Transportation, Pavement Marking Handbook

Le marquage au sol a en général six composantes : un liant ou enduit (« binder »), des microbilles de verre (réflectrices), une couleur (pigment), un solvant, des additifs et une matière de charge (Tremblay 2008). Les matériaux de marquage sont en général catégorisés selon le liant. Il existe plusieurs couleurs utilisées pour le marquage au sol, mais les deux plus communes au Québec sont le blanc, utilisé pour délimiter les voies de même sens de circulation, et le jaune, utilisé pour délimiter les sens de circulation opposés. Les microbilles de verres sont une composante essentielle des produits de marquage pour assurer la rétroréflexion des marquages, et donc leur visibilité la nuit par les conducteurs. Les microbilles peuvent être intégrées au marquage de plusieurs façons. Il est possible d'ajouter les billes au marquage

fraichement appliqué en les déposants sur celui-ci (application par gravité) ou à l'aide d'un pistolet à bille (application pressurisée). Pour des produits comme le thermoplastique et le MMA, il est aussi possible d'inclure les microbilles au moment de la fabrication du marquage.

La durabilité du marquage est une notion en partie subjective, puisque chaque étude peut la définir en fonction de facteurs différents, comme l'inspection visuelle par des observateurs. Dans ce rapport, la durabilité d'un marquage est définie par sa durée de vie afin de respecter les normes de présence (quantité de marquage restant) et de rétroréflexion.

De nombreux produits de marquage existent sur le marché, avec différents avantages et inconvénients qui seront abordés dans la revue de la littérature. Les peintures à base d'eau (latex) ou à base de solvant (alkydes) sont parmi les produits les plus utilisés étant donné leur prix peu élevé et leur facilité d'application. Il s'agit par contre des produits les moins durables. Pour cette raison, elles ont commencé à être remplacées par des produits de marquage plus durables, surtout dans les régions froides où le déneigement est fréquent. Les produits plus récents et plus durables qui seront pris en compte dans ce rapport sont les suivants : l'époxy, le thermoplastique, les bandes préfabriquées, le méthacrylate de méthyle (MMA), le polyester et le polyurea.

PROBLÉMATIQUE

L'objectif de ce travail de recherche est d'identifier les causes et solutions à un nouveau problème de perte de rétroréflexion des marquages au sol après un an sur plusieurs tronçons de route quel que soit le type de produits (époxy, eau ou alkyde). Les marquages à l'époxy ont en effet été testés dans les années 1990 au ministère des Transports du Québec (MTQ) avant leur adoption, et il avait alors été établi que ces marquages avaient une rétention de rétroréflexion de 2 à 4 ans dans les conditions du Québec, ce qui n'est plus le cas aujourd'hui (Tremblay et Boily 2011).

Le problème récent de rétention de la rétroréflexion observé au Québec s'inscrit dans le contexte nord-américain et en particulier le développement de normes proposées par l'agence « Federal Highway Administration » (FHWA) aux États-Unis. Ces nouvelles normes proposent un seuil minimal de rétroréflexion sur certaines routes (FHWA 2010). La FHWA identifie trois classes de routes selon les normes de rétroréflexion :

- pas de rétroréflexion nécessaire : routes utilisées le jour seulement, par exemple une route dans un parc
- rétroréflexion nécessaire, sans seuil minimal : traverse piétonne, mots et symboles sur la chaussée, etc.
- rétroréflexion nécessaire, avec seuil minimal : lignes longitudinales, etc.

Les seuils minimaux, en millicandelas par lux et mètre carré (mcd/lx/m^2), imposés à la dernière catégorie sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 - Seuils minimaux de rétroréflexion du FHWA (mcd/lx/m^2)

	Vitesse affichée		
	≤30 mph (48 km/h)	entre 30 et 50 mph (48 et 80 km/h)	≥55 mph (80 km/h)
Routes de 2 voies avec délimitation centrale par marquage	n/a	100	250
Autres routes	n/a	50	100

Source : FHWA 2010

Les routes peuvent être exemptées de ces conditions si leur rétroréflexion est assurée par des délinéateurs surélevés (« Raised Reflective Pavement Marker », RRPM), ou si elles sont suffisamment éclairées.

La FHWA propose aussi d'élaborer une méthode d'évaluation afin d'assurer la rétroréflexion sur les routes devant respecter un seuil minimum de rétroréflexion. Celle-ci peut consister en :

- une inspection nocturne visuelle par un inspecteur qui est capable d'identifier visuellement un marquage déficient
- une inspection nocturne visuelle par un inspecteur de 60 ans et plus
- une mesure de la rétroréflexion avec un rétroréflexomètre

- un entretien selon la durée de vie d'un groupe de marquage similaire
- un remplacement périodique
- autre

MÉTHODOLOGIE

Ce projet repose sur une revue de la littérature et une enquête auprès des administrations voisines à propos des pratiques et des produits utilisés pour le marquage au sol. Cette enquête prolonge un premier sondage effectué par le ministère des Transports de la Pennsylvanie sur la problématique de la rétroréflexion en 2008 (Garvey et al. 2008), ainsi que les réponses de provinces canadiennes auxquelles le MTQ a fait suivre le sondage.

Ce projet permettra de déterminer si des administrations dont le territoire a un climat similaire à celui du Québec font face à un problème similaire et d'identifier les solutions mises en œuvre pour assurer une rétroréflexion supérieure à une année.

REVUE DE LITTÉRATURE

Une revue de littérature a été effectuée afin de recenser et mieux comprendre les caractéristiques des produits de marquage, en particulier l'époxy, les facteurs qui affectent leur durabilité et les solutions testées et adoptées dans d'autres juridictions.

La revue de littérature couvre plusieurs aspects : le lien entre la rétroréflexion et les microbilles de verre; la relation entre la rétroréflexion et la sécurité; les avantages, inconvénients et durées de vie des différents matériaux de marquage; des solutions d'amélioration de la durabilité et de la rétroréflexion; et finalement une synthèse des solutions envisageables.

Principaux facteurs d'usure

Plusieurs études ont tenté de déterminer quels facteurs influencent la rapidité d'usure du marquage routier. Le département de transport du Texas (TxDOT) identifie dans son manuel de marquage routier (2004) trois groupes de facteurs ayant un impact sur l'usure du marquage : le type de chaussée, la circulation et l'environnement.

Avec les années, plusieurs modèles ont été créés afin de prédire l'usure du marquage routier. Un de ces modèles, développé à l'Université Concordia (Shahata et al. 2007b), a identifié les facteurs suivants comme ayant un impact sur l'usure du marquage :

- le type de marquage (matériau)
- l'emplacement du marquage sur la chaussée
- la composition du trafic
- le type de route (autoroute, artère, rue locale, etc.)
- la qualité de la construction
- la vitesse de la route
- l'âge de la chaussée
- le débit journalier moyen annuel (DJMA)
- les conditions climatiques
- le type de revêtement de chaussée
- l'état de la chaussée
- les opérations de déneigement

La rétroréflexion et le rôle des microbilles de verre

La nuit, les conducteurs perdent un grand nombre d'informations visuelles puisque la vue fournit la très large majorité des informations nécessaires à la conduite. Les marquages au sol sont très difficiles à distinguer si ceux-ci n'intègrent pas des billes de verre qui rétroréfléchissent la lumière des phares du véhicule. La rétroréflexion désigne la quantité de lumière renvoyée vers la source de lumière par le marquage appliqué sur la chaussée, exprimée en millicandelas par lux et mètre carré (mcd/lx/m²).

Les billes de verre jouent un rôle important parmi les produits constituant les marquages routiers, non seulement en matière de rétroréflexion, mais aussi en améliorant leur durée de vie. Les billes de verre doivent dépasser de la surface du marquage pour remplir efficacement leur fonction. Le degré d'enfoncement optimal dans le liant est de 60 % pour réfléchir au mieux les rayons des phares (TxDOT 2004). Le MTQ considère un intervalle plus large pour le degré d'enfoncement optimal, soit entre 40 et 60 % (courriel avec Michel Tremblay, 20 mars 2012). Les microbilles peuvent aussi être pré-mélangées au liant, par exemple dans le cas des thermoplastiques, afin d'assurer une rétroréflexion durable lors de l'usure du marquage (Potters 2007). Ces billes se substituent progressivement aux microbilles en surface au fur et à mesure que celles-ci sont arrachées par le trafic. Elles permettent donc d'assurer la rétroréflexion à long terme. La quantité et le type de billes de pré-mélange améliorent aussi la résistance du système aux contraintes de la route (Sovitec 2011).

Quelle que soit la procédure d'application, le fabricant Potters recommande de respecter les points suivants (Potters 2007):

- Les billes doivent être saupoudrées sur les liants immédiatement après leur application. Ceci est particulièrement important en cas d'utilisation de liant thermoplastique, car les billes de verre ne peuvent pénétrer dans une résine refroidie.
- Les billes de verre doivent être saupoudrées de façon uniforme sur la surface à couvrir.
- L'enfoncement des billes doit être de 60 % environ pour obtenir un résultat optimal en termes de rétroréflexion, c'est-à-dire un bon compromis entre performance immédiate et durabilité.

La perte de rétroréflexion n'est pas seulement causée par l'enlèvement du produit de marquage, mais aussi par la perte des microbilles qui sont enfoncées dans ce produit (Migletz et Graham 2002). Face à ce problème, les solutions suivantes ont été identifiées pour augmenter la rétroréflexion (Garvey et al. 2008) :

- l'utilisation des billes de verre plus grosses (de type II dans la norme AASHTO M247-09)
- la double application des billes de verre, en combinant les grands et les petits diamètres
- l'augmentation de la teneur en billes de verre

D'après l'étude de Donnell et al. (2006) rapportée par (Garvey et al. 2008), la double application des billes de verres est mise en place par plusieurs États américains, même si un entrepreneur interrogé dans le cadre de cette étude a indiqué que les billes de verres plus grosses peuvent être cisailées par les lames des déneigeuses. Ce phénomène a aussi été observé au Québec (courriel avec Michel Tremblay, 20 mars 2012)

Pour mettre en œuvre la troisième solution, plusieurs études ont essayé de calculer la teneur d'un marquage en billes de verre pour déterminer son influence sur la rétroréflexion. L'étude menée par Rich et al. (2002), reprise par Zhang et al. (2010), a montré que le pourcentage de surface de billes de verre et la rétroréflexion sont corrélés. L'objectif d'une étude plus récente et approfondie sur les microbilles de type I (standard) était de collecter des valeurs de rétroréflexion d'un marquage en peinture, et en même temps, d'analyser sa teneur en billes de verre à l'aide d'un appareil photo numérique spécialisé (Zhang et al. 2010). Les densités (teneurs) observées étaient dans l'intervalle 9 % – 24 %, très proche des densités de 8 %, 18 % et 20 % trouvées dans l'étude de Rich et al. (2002) à trois sites. Zhang et al. (2010) ont mesuré la densité en microbilles à l'aide de méthodes de traitement d'image semi-automatiques pour obtenir par régression deux formules linéaires exprimant la rétroréflexion en fonction de la densité en microbille pour les marquages en blanc et en jaune respectivement. Les valeurs des teneurs en billes de verre et leurs valeurs de rétroréflexion correspondantes sont explicitées dans le Tableau 2.

Tableau 2 - Teneur en billes de verre et valeurs de rétroréflexion (R_L) en mcd/lx/m^2 pour des marquages en peinture

Teneur (%)	R_L ligne blanche de bord	R_L ligne jaune centrale
<9	<175	<107
9-15	175-232	107-144
15-20	232-280	144-174
20-25	280-327	174-205
>25	>327	>205

Source : Zhang et al. 2010

Les marquages avec une teneur inférieure à 9 % sont considérés pauvres en billes de verre et incapables d'assurer une rétroréflexion acceptable. D'autre part, pour répondre aux seuils minimaux de rétroréflexion proposée par la FHWA, il faudrait des pourcentages d'environ 18 % (valeur de 250 mcd/lx/m^2) pour les routes de 2 voies de vitesse supérieure à 80 km/h. Il faut souligner que le produit de marquage utilisé dans cette étude était la peinture : pour dépasser le seuil de 250 mcd/lx/m^2 avec un marquage en peinture jaune, il faudrait viser une densité supérieure à 25 %, ce qui est difficile et pourrait nécessiter un autre matériau.

Un projet très récent (Gibbons et al. 2011), mené par le ministère des Transports de la Virginie, a étudié l'impact de la rétroréflexion sur le comportement des conducteurs selon leur sexe et leur âge pour connaître leurs besoins en matière de visibilité et distance de détection. Dans cette étude, plusieurs matériaux de marquage (bandes préfabriquées, peintures et polyurea) avec différents niveaux de rétroréflexion ont été utilisés, et les expériences ont été réalisées sous diverses conditions météorologiques : temps sec, pluie et récupération (période après la fin de la pluie).

Comme attendu, les marquages en conditions sèches ont donné des distances de détection significativement supérieures aux marquages en conditions humides. En cas de pluie, la mince couche d'eau sur la route peut faire dévier les rayons lumineux et ainsi réduire de façon considérable la rétroréflexion. Les distances de détection diminuent d'environ 40 % en temps de pluie, étant donnée la baisse de rétroréflexion des marquages. Les marquages qui ont obtenu des distances de détection plus importantes dans toutes les conditions sont les bandes préfabriquées blanches. Ce produit avait une rétroréflexion de 670 mcd/lx/m² en temps sec et 529 mcd/lx/m² en temps de pluie.

Logiquement, les conducteurs jeunes ont obtenu des distances de détection supérieures (181 pieds [55,2 m] en moyenne) pour toutes les conditions météorologiques en comparaison avec les conducteurs plus âgés (141 pieds [43,0 m] en moyenne).

Il a été conclu dans cette étude que l'augmentation de la rétroréflexion d'un marquage au-dessus de 250 mcd/lx/m² ne donne pas une meilleure performance en termes de distance de détection. De plus, il a été déterminé que des seuils de rétroréflexion de 150 mcd/lx/m² en temps sec sur des routes de vitesse maximale 55 mph (80 km/h) et en temps de pluie sur des routes de vitesse maximale 40 mph (64 km/h) étaient adéquats pour assurer une bonne visibilité. Le département de transport de la Virginie recommande donc un seuil de 150 mcd/lx/m² en tout temps¹.

Impact du marquage et de la rétroréflexion sur la sécurité routière

L'étude de Bahar et al. (2006) a exploré le lien de la rétroréflexion avec la sécurité routière. Dans cette étude, les accidents de nuit potentiellement associés à une mauvaise visibilité du marquage en Californie ont été étudiés en fonction de la rétroréflexion du marquage au lieu d'accident. Bahar et al. (2006) considéraient qu'un accident était causé par la visibilité du marquage quand il n'y avait pas d'autres causes à l'accident (par exemple, un impact avec un animal, l'alcool au volant, etc.). Cette étude a conclu à l'absence de lien évident entre la rétroréflexion et la sécurité. Leur hypothèse principale pour expliquer ce résultat est que les conducteurs diminuent leur vitesse quand la visibilité est moins bonne, réduisant ainsi le nombre d'accidents.

Selon le site web de la FHWA (2011), alors que seulement 25 % des voyages se produisent la nuit, les accidents de nuit représentent 50 % des accidents mortels. La mauvaise visibilité est un facteur contributif dans les accidents de nuit. Les phares et l'éclairage routier contribuent à guider le conducteur sur la chaussée, mais ne sont souvent pas suffisants pour répondre aux besoins de la conduite nocturne.

Une étude réalisée par Harkey et al. en 1993, citée dans l'étude de Rumar et al. (1998), avait déjà exposé le changement de comportement des

¹ De telles valeurs de rétroréflexion semblent difficiles à atteindre en pratique par temps de pluie : les seuils minimaux par exemple en Suède sont beaucoup plus faibles à seulement 35 mcd/lx/m².

conducteurs selon les caractéristiques du marquage. Les conclusions de cette étude sont les suivantes :

- La vitesse de circulation diminue quand la largeur de la ligne centrale diminue.
- Les conducteurs se positionnent plus près du centre de la voie lorsque la largeur de la ligne augmente.
- La variabilité de la position du véhicule sur la voie augmente quand la largeur de la ligne diminue.
- Le nombre d’empiètements augmente lorsque la longueur continue d’une ligne pointillée diminue.

Smadi (2008) a aussi montré que la présence de lignes longitudinales augmente considérablement la performance en matière de sécurité routière. Quand on n’analyse que les données avec basse rétroréflexion ($<200 \text{ mcd/lx/m}^2$), on trouve une corrélation négative très significative entre rétroréflexion et le nombre d’accidents (Smadi et al. 2008). En effet, cette étude a montré, à l’aide d’un modèle obtenu par régression logistique, qu’une diminution de la rétroréflexion de 200 mcd/lx/m^2 à 50 mcd/lx/m^2 représente une augmentation de 35 % dans la probabilité d’accident sur les autoroutes et de 37 % sur les routes à deux voies. La Figure 2 reflète les résultats obtenus par cette étude sur des autoroutes avec différents débits de circulation. Les valeurs de rétroréflexion correspondent au marquage en blanc.

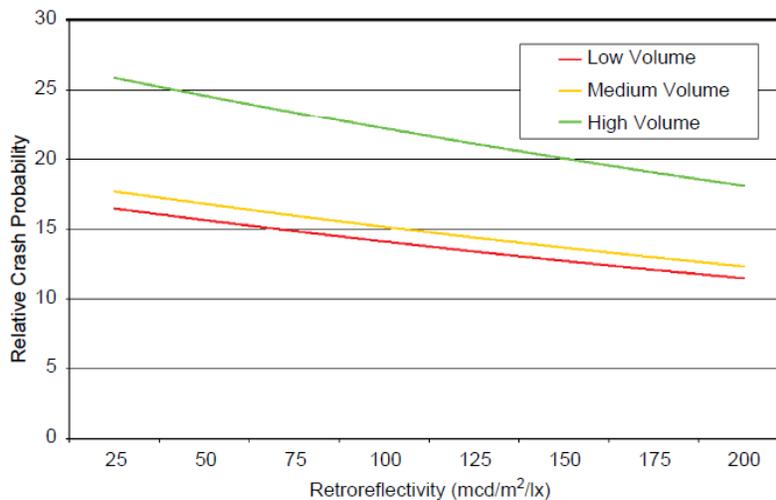


Figure 2 - Probabilité relative d'accident en fonction de la rétroréflexion

Source : Smadi et al. (2008)

Les caractéristiques des matériaux de marquage au sol

Les peintures

Les peintures à base d'eau (latex) ou à base de solvant (alkydes) sont les types de marquage les moins coûteux et les moins résistants. Dans une étude

effectuée pour le ministère des Transports de l'Alaska, ce type de marquage s'est classé en dernière place (après les MMA, les thermoplastiques et les bandes préfabriquées) en ce qui concernait la performance du produit (Lu 1995).

Le ministère des Transports du Kansas a conclu en 2002 que les peintures sont à utiliser dans le cas de marquages de courte durée (moins d'un an) quand le débit journalier moyen annuel (DJMA) est inférieur à 5000 véh/jour (KDOT 2002). L'étude effectuée par Migletz (2001) donne un résultat similaire en attribuant une durée de vie moyenne des peintures d'à peine 10,4 mois sur les autoroutes. Il s'agit donc d'un marquage à utiliser dans des situations de marquage temporaire, ou lorsque le marquage est refait chaque année. Plusieurs produits plus durables ont ainsi commencé à remplacer les peintures.

Il faut noter que les peintures à base de solvant sont de moins en moins utilisées pour des raisons environnementales. Elles sont interdites au Québec (Tremblay 2004).

L'époxy

L'époxy est un matériau, qui, avec le polyester, fait partie des produits appelés thermosets. Les thermosets requièrent des équipements spécialisés d'application et un de leurs inconvénients est le temps important de séchage.

Il y a un certain désaccord sur la durabilité de l'époxy. D'une part, sa durabilité théorique serait entre 2 et 4 ans, ce qui a été confirmé dans des tests effectués au Québec (Tremblay 2004, TxDOT 2004). D'autre part, plusieurs études et tests montrent que ces durées de vie sont atteintes seulement sous certaines conditions. Le marquage perd sa couleur avec le temps, surtout à cause des rayons ultraviolets, ce qui peut provoquer une baisse de la durabilité (Gates et al. 2003, Jiang 2008).

Au Québec, l'époxy est parfois jumelé à d'autres produits de marquage. L'époxy est appliqué sur la chaussée neuve. Par la suite, au moment de rafraîchir le marquage, de la peinture à base d'eau est appliquée sur la couche d'époxy déjà en place (Rencontre avec Michel Tremblay, 30 mars 2012).

Sur la base de critères de rétroréflexion, ce produit a une vie de service d'environ une année quand il est employé sur des autoroutes (Migletz et al. 2001). Les durées de vie de service théoriques seraient atteintes seulement sur des routes peu fréquentées (Gates et al. 2003, Sadid et al. 2010). L'étude de Migletz et al. (2001) estime par ailleurs une durée de vie de trois ans pour l'époxy quand il est utilisé sur le réseau non autoroutier.

Tableau 3 - Matériaux recommandés en fonction du DJMA et de la durée de vie de la chaussée

DJMA (véh/jour)	Durée de vie restante de la chaussée			
	≤ 1an	1-2 ans	3-4 ans	≥ 5 ans
≤ 5 000	Peintures	Époxy	Époxy	Thermo
5 000- 50 000	Époxy	Époxy	Thermo	Thermo
≥ 50 000	Thermo	Thermo	Thermo	Thermo

Source : KDOT 2002

L'étude réalisée par le ministère des Transports du Kansas (KDOT 2002) corrobore ces informations et recommande l'époxy pour les chaussées de courte durée de vie, des débits moyens (moins de 50 000 véh/jour) ou une combinaison de ces deux facteurs. Le Tableau 3 illustre les produits recommandés par cette étude. Le produit recommandé est celui qui avait obtenu le meilleur « Brightness Benefit Factor » (BFF). Ce facteur représente les effets combinés de la rétroréflexion, de la durabilité, du coût d'installation, de la durée de vie de service et de la durée du projet; il est calculé comme le produit de la rétroréflexion moyenne prévue et de la durée de vie du projet, divisé par le coût par unité de longueur (mcd-an par dollar-mètre).

Un inconvénient de l'époxy est qu'il a besoin d'un temps important pour sécher correctement (jusqu'à 60 minutes) (Sadid et al. 2010), ce qui implique d'utiliser des cônes et de la signalisation temporaire lors de son application. Cependant, ces temps de séchage importants ne réduisent pas la durée de vie du produit (Montebello et Schroeder 2000). Un autre inconvénient de l'époxy est qu'il peut être facilement endommagé par le déneigement. De plus, la surface de la chaussée doit être correctement nettoyée et préparée avant l'installation du produit (Gates et al. 2003).

Une étude du Nevada confirme que l'époxy peut avoir une durabilité plus basse que prévu (durée de vie de trois mois) pour les raisons suivantes (Maurer et al. 2005) :

- le non-respect de la température d'application recommandée et/ou du temps de séchage.
- des problèmes d'installation : surface d'application (qui doit être complètement sèche), mélange du produit et expérience du personnel.
- les dommages causés par les activités de déneigement.

Au Québec, des problèmes de durabilité de l'époxy ont été observés lorsque celui-ci était appliqué au dessus d'anciennes couches du même produit. La nouvelle couche augmente les tensions entre le pavage et le marquage qui peut être enlevé par plaques entières, par exemple, lors du déneigement de la route.

Lors de l'étude réalisée par Wang (2010) en Utah, la durabilité sur bitume de l'époxy est la plus basse de tous les matériaux testés. Le marquage avait presque complètement disparu un an après l'application. En effet, comme les

modèles développés dans cette étude le confirment, l'époxy obtient de meilleurs résultats sur des surfaces en béton et sa durabilité est affectée par les activités de déneigement.

Le méthacrylate de méthyle (MMA)

Le méthacrylate de méthyle (MMA) est un produit qui a été conçu initialement pour les zones avec une circulation importante et avec des conditions climatiques extrêmes (Jiang et al. 2008). De ce fait, les régions telles que l'Ontario, l'Alberta, l'Alaska, l'Oregon et la Californie utilisent ce matériau couramment avec de bons résultats (Jiang et al. 2008). Son espérance de vie varie typiquement entre deux et quatre ans, jusqu'à huit ans selon les conditions. On peut distinguer deux types de MMA : le MMA projeté (« Spray MMA ») et le MMA manuel (« Screed MMA »).

Une étude approfondie sur le MMA, menée par le ministère des Transports de l'Alaska (Lu, 1995), qui incluait un sondage pour les régions froides (Alaska, Idaho, Oregon, Washington...), a conclu que ce matériau est le plus durable dans des conditions météorologiques froides (résultant dans des durées de vie de trois à huit ans), avec une très bonne visibilité tant le jour que la nuit. Son coût est considéré « raisonnable » en considérant le cycle de vie du marquage (sept ans dans l'étude), malgré un coût initial assez élevé. Par contre, au Québec, la visibilité de nuit des MMA n'a pas donné des résultats satisfaisants (courriel avec Michel Tremblay, 20 mars 2012).

Un avantage du MMA est qu'il peut être appliqué dans des environnements froids, avec des températures très basses (jusqu'à -1°C pour le MMA projeté, -5°C pour le MMA manuel) et sur des routes avec une circulation très importante.

Une étude très récente du ministère des Transports de l'Alaska (Carlson et al. 2011) permet de constater que, 16 ans plus tard, cet État continue à utiliser le MMA comme produit de marquage principal avec de bons résultats. Dans le cadre de l'étude, une vérification des marquages a eu lieu afin de savoir si les valeurs de rétroréflexion respectaient les seuils à l'étude par la FHWA (nouveaux standards du MUTCD (FHWA 2010)). Tous les marquages d'Alaska réalisés avec du MMA, tant en surface qu'en rainure, respectaient cette norme. Il faut aussi se rappeler que les normes de rétroréflexion de la FHWA varient en fonction de la vitesse affichée et du débit. Certains marquages vieux de quatre à sept ans n'avaient pas conservé une rétroréflexion très élevée, mais respectaient quand même la norme pour leur catégorie de route ou étaient exemptés du seuil minimal. En effet, s'il y a un éclairage ambiant suffisant ou la présence de délinéateurs surélevés (RRPM), il n'est pas nécessaire qu'un marquage se conforme au seuil minimal de sa catégorie. En ce qui concerne les marquages non exemptés des seuils minimaux, tous possédaient une rétroréflexion supérieure à 100 mcd/lx/m², avec des valeurs allant jusqu'à 260 et 296 mcd/lx/m². Il faut ajouter que ces marquages avaient été installés en été et avaient donc supporté les activités de maintenance hivernale.

Le thermoplastique

Le thermoplastique est un des matériaux les plus performants dans lequel les microbilles sont ajoutées à la fabrication. Il y a trois types de thermoplastiques : le thermoplastique projeté (« Spray Thermoplastic »), le thermoplastique préfabriqué (« Preformed Thermoplastic ») et finalement le thermoplastique installé à chaud (« Screed / Extruded Hot Thermoplastic »). Le thermoplastique a démontré une longue durabilité sur les routes à tous les niveaux de débit de circulation. Il peut aussi être installé quelles que soient les conditions météorologiques (Montebello et Schroeder 2000). Le thermoplastique a une très bonne adhésion aux surfaces de bitume, plus que sur le béton (Gates et al. 2003). Ce matériau a une durée de vie basée sur la rétroréflexion estimée de 22,6 mois sur autoroutes (Migletz et al. 2001). Pour toutes ces raisons, il s'agit d'un produit recommandé pour les chaussées de longues durées de vie et pour de hauts débits journaliers (> 50.000 véh/jour) (KDOT 2002).

Selon l'étude menée par le ministère des Transports de l'Alaska (Lu, 1995) le thermoplastique est le deuxième matériau le plus souhaitable pour les régions froides, après le MMA. Le thermoplastique a été le seul matériau qui n'a pas été endommagé par les lames de déneigeuses dans l'étude de Cottrell (1995) réalisée en Virginie.

Les bandes préfabriquées

Les bandes préfabriquées (« Preformed Tape ») font partie des matériaux les plus durables et possèdent les indices de rétroréflexion les plus hauts. Elles sont particulièrement durables lorsqu'elles sont enfoncées (elles sont posées alors que le pavage est encore chaud, avant la finition et compaction par le rouleau) (Rencontre avec Michel Tremblay, 30 mars 2012). En contrepartie, ils sont aussi les produits les plus chers. L'espérance de vie varie entre quatre et huit ans, bien que leur utilisation sur des routes mal entretenues ne soit pas recommandée. Leur rétroréflexion initiale est entre quatre et six fois plus élevée que celle des peintures conventionnelles (Gates et al. 2003). Ces valeurs initiales peuvent aller jusqu'à 1100 mcd/lx/m² pour le marquage blanc et 800 mcd/lx/m² pour le marquage jaune (Cuelho et al. 2003).

D'après l'étude de Wang (2010), les bandes préfabriquées sont les produits qui ont obtenu les meilleurs résultats, même dans les régions avec un déneigement important (Pennsylvanie, Wisconsin et Utah). Elles ont obtenu les indices de rétroréflexion plus élevés et ont été classées comme les produits les plus durables, avec une durabilité de 8-9 sur 10, sur l'échelle établie par les auteurs (où la valeur 1 fait référence à un marquage très dégradé et 10 à un marquage en parfait état). Elles ont été aussi classées comme le troisième produit le plus souhaitable en régions froides, après le MMA et le thermoplastique, selon le sondage réalisé par le ministère des Transports de l'Alaska (Lu 1995).

Selon l'étude de Cottrell et al. (2001), les bandes commencent à être rentables quand on considère des projets de longue durée de vie. Les auteurs ont

déterminé que les bandes sont les produits les plus rentables pour les routes comptant au moins six voies de circulation et avec de hauts débits de circulation. Dans l'étude de Gates et al. (2003), les 19 états des États-Unis consultés ont accordé que les bandes sont les produits les plus durables et qu'elles résistaient bien au déneigement qu'elles soient installées en surface ou incrustées.

Au Québec, ce type de marquage n'est utilisé que sur des pavages neufs. Il est alors enfoncé dans la chaussée lors de la compaction. Ce type de marquage est systématiquement incrusté, car, en surface, il ne résistait pas au passage des déneigeuses (courriel avec Michel Tremblay, 20 mars 2012).

Le polyester

Le polyester n'est pas un type de marquage très commun. La recherche effectuée sur ce produit est donc très limitée. Par contre, ce type de marquage est inclus dans l'enquête présentée plus bas puisqu'il se trouvait dans l'enquête originale de la Pennsylvanie (Garvey et al. 2008). Dans cette enquête, seulement deux États américains enquêtés se servent du polyester. Il fut aussi testé au Québec lors des années 90 (courriel avec Marie Beauchemin, 20 mars 2012).

Le polyurea

Comme le polyester, le polyurea n'est pas très commun. Dans l'enquête de la Pennsylvanie (Garvey et al. 2008), seulement sept états américains ont déclaré s'en servir. Le polyurea a été testé dans le cadre des bancs de tests américains effectués par le « National Transportation Product Evaluation Program » (NTPEP 2011). Ces bancs de tests ont permis de déterminer qu'après trois ans, le polyurea appliqué aux endroits moins sollicités (« wheel ») respectait encore les normes de rétroréflexion de la FHWA. Par contre, les tests aux endroits plus sollicités (« skip ») ne respectaient plus les normes (Wang 2010).

Au Québec, certains tests ont été effectués avec du Polyurea. Par contre, il y a eu des problèmes au moment du mélange du produit, ce qui fait en sorte que les tests n'ont pas été concluants (Rencontre avec Michel Tremblay, 30 mars 2012).

Impact du type de chaussée sur la durabilité du marquage

Le type de chaussée a une influence considérable sur la performance du marquage. Plusieurs études ont des recommandations différentes si la chaussée est en béton ou en enrobés bitumineux. Par exemple, une étude en Oregon (Lynde 2006) a conclu que le thermoplastique est un produit de marquage efficace pour les chaussées en enrobés bitumineux, mais pas pour les chaussées en béton.

Même pour un type de chaussée donné, des différences de type de granulats par exemple, peuvent avoir un impact sur la durabilité du marquage. Dans le manuel de marquage du Texas (TxDOT 2004), il est mentionné que la rugosité

de la chaussée contribuera à la dégradation du marquage. Plus une chaussée est rugueuse, plus la durabilité du marquage sera réduite. Une étude effectuée à Téhéran en Iran (Zahedi et al. 2011) a déterminé que les peintures à base d'eau adhéraient mieux à la chaussée quand la teneur en silice était élevée.

Pratiques hivernales dans les régions froides et influence sur le marquage

De nombreuses études ont établi que les activités de maintenance hivernale sont liées à une usure et une perte de rétroréflexion des marquages routiers. D'après les études de Cottrell (1995) et de Wang (2010), les états ayant des activités de déneigement constatent des pertes de rétroréflexion après l'hiver, et ces pertes ont été estimées entre 15 % et 40 % des valeurs de rétroréflexion initiales.

En effet, les produits utilisés pour l'élimination et le retrait de la neige, tels que les fondants et les abrasifs, provoquent un grand frottement sur la surface des routes et par conséquent détériorent les marquages de manière significative. Dans la seule ville de Montréal, 137 000 tonnes de fondants et abrasifs en moyenne sont utilisées par hiver dans l'étape d'épandage, et 1 000 appareils sont utilisés pour le déblaiement de la chaussée (Ville de Montréal, 2011). Ces produits et ces appareils, plus particulièrement les chasse-neiges, sont les facteurs qui ont l'impact le plus important dans la dégradation du marquage.

D'après l'étude de Mull (2011) chaque passage de chasse-neige sur un marquage en peinture produit une perte de rétroréflexion de $3,22 \text{ mcd/lx/m}^2$, ce qui représente plus d'un mois de vie de service. En considérant qu'à Montréal, il y a en moyenne 65 interventions par hiver (Le Flambeau 2011), cela correspondrait à une perte totale de rétroréflexion d'environ 200 mcd/lx/m^2 .

Plusieurs auteurs ont essayé d'élaborer des modèles de dégradation de la rétroréflexion, en considérant les activités de déneigement comme facteur. Dans cette démarche, il faut souligner une étude réalisée au Canada (Shahata et al. 2007b). Les auteurs ont déterminé l'état des marquages à l'aide d'un indicateur, calculé sur une échelle de 1 (marquage parfait ou en très bon état) à 5 (marquage presque disparu), qui prend en compte les tonnes (t/km) de sels et abrasifs utilisées par année, ainsi que le nombre de passages de déneigeuses effectués par année sur la route en question. Ces modèles ont été évalués avec des taux moyens de validité entre 87 % et 99 %.

Des modèles ont été développés afin de prédire une valeur de rétroréflexion et non seulement un indicateur en présence ou absence d'activités de déneigement. Une hausse de la rétroréflexion a ainsi été observée pour les thermoplastiques l'année suivant l'application du marquage (Monfette 2011). La Figure 3 illustre cette hausse : la

dégradation du marquage est presque linéaire en fonction du temps à partir de la deuxième année.

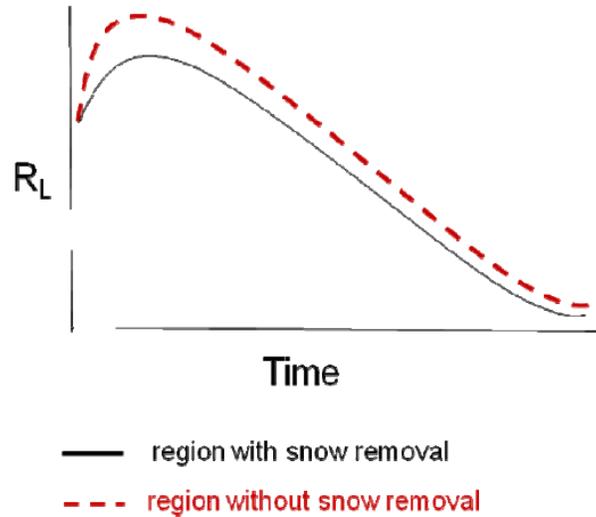


Figure 3 - Courbe illustrative de dégradation de la rétroreflexion en fonction du temps pour les thermoplastiques

Source: Monfette 2011

Solutions complémentaires au type de produit de marquage pour les régions froides

Délinéateurs surélevés (« Raised Reflective Pavement Marker », RRPM)

Les RRPM sont des dispositifs très durables qui contribuent à la visibilité du marquage des routes tant le jour que la nuit (voir la Photo 1). Ils sont très efficaces en conditions météorologiques avec visibilité limitée, comme la pluie et le brouillard. Ces délinéateurs permettent d'augmenter la rétroreflexion du marquage et pour cette raison, les routes qui possèdent ce type de dispositif sont exemptes des seuils minimaux de rétroreflexion proposées par la FHWA. Ils peuvent aussi être utilisés comme substitut au marquage traditionnel.

Plusieurs études ont démontré une baisse du taux d'accidents grâce à l'installation des RRPM, d'environ 10 % en conditions normales et jusqu'à 20 % pendant la nuit en cas de pluie (Pigman et al. 1981).



Photo 1 - Délinéateurs surélevés réfléchifs

Source: M9 Motorway in Co. Carlow, Ireland, 2011 (Wikipedia
http://en.wikipedia.org/wiki/File:M9_motorway_Carlow_Ireland_catseyes.jpg)

Certains types de RRPM s'enfoncent sous le poids des véhicules et certains sont présentés comme résistants au déneigement (« Snow-plowable Reflective Pavement Markers», SRPM). Ils sont utilisés pour augmenter la rétroréflexion par la majorité des agences des États-Unis, tels que l'Ohio, le Missouri ou le Kentucky.

Une étude plus récente sur les SRPM réalisée par l'état du Kentucky (Agent et al. 2009) a corroboré ces résultats et a mis en évidence les conclusions suivantes :

- Les SRPM possèdent une très bonne durabilité même quand la route est en mauvais état. Sur les 3 345 miles (5383 km) inspectés, le pourcentage moyen de SRPM manquants, peu importe leur moment d'installation ou l'état de la chaussée, était de 4.5 %.
- Le pourcentage de SRPM manquants est plus bas quand la chaussée est neuve ou en bon état, soit entre 0.4 % et 1.0 %. L'âge des SRPM n'était pas directement évalué, mais comme ceux-ci sont habituellement installés au moment de la construction de la chaussée, leur âge était estimé à l'aide de l'âge de la chaussée.
- Les routes qui possèdent des SRPM ont un taux d'accidents plus bas que les routes où ces dispositifs ne sont pas installés.

Ces SRPM utilisés au Kentucky ont été installés dans des rainures dans la chaussée comme complément au marquage existant.

Une étude effectuée en 2005 au Missouri, citée dans l'étude du Kentucky (Agent et al. 2009), a identifié les facteurs influençant l'arrachement des SRPM. Les facteurs identifiés étaient l'état de la chaussée, une mauvaise installation, la forme du SRPM (qui influence la résistance aux impacts avec

les versoirs des déneigeuses) et la fréquence du déneigement. L'arrachement des délinéateurs réfléchissants ne doit pas être pris à la légère puisqu'ils peuvent devenir des projectiles au passage de véhicules. Huit accidents ont été répertoriés au Missouri et l'État a même commencé en 2009 à retirer les RRPM de ses routes (Jordan 2011). Il n'est pas mentionné si un type de RRPM en particulier était dangereux ou s'il s'agissait d'un problème généralisé.

Changement des matériaux des versoirs des chasse-neiges

D'après une étude réalisée en Virginie (Roosevelt 1995), les versoirs en uréthane causeraient moins de dommages au marquage des chaussées. En effet, cet état avait constaté une dégradation très importante dans le marquage des routes et plus spécialement sur celles où il y avait des bandes préfabriquées installées. Il n'est pas mentionné si ces bandes avaient été installées en surface ou incrustées dans la chaussée.

Les tests effectués montrent que l'uréthane nettoie la neige beaucoup mieux que le caoutchouc, et que l'utilisation des roues, pour éviter que le poids de la déneigeuse tombe sur le versoir, diminue la friction avec la surface de la chaussée. De cette façon, la durée de vie des versoirs augmente et le marquage se voit moins affecté par le passage des déneigeuses. Les conclusions étaient néanmoins incertaines puisque l'utilisation des nouveaux versoirs était restreinte aux aéroports.

Après la réalisation de cette étude, l'état de la Virginie montrait son intérêt pour changer les versoirs en caoutchouc par des versoirs en uréthane et pour ajouter des roues à tous ses équipements de déneigement. Malheureusement, il n'existe pas à notre connaissance d'étude ultérieure publiée sur les résultats de cette mesure.

Marquage incrusté et marquage sur bandes rugueuses

Dans la littérature, une des recommandations récurrentes afin d'améliorer la durabilité du marquage dans des régions qui doivent déneiger les routes est d'incruster le marquage dans la chaussée, à l'intérieur de rainures. Ces rainures peuvent être lisses ou composées de bandes rugueuses. Dans cette section, les résultats et expériences de quelques agences qui ont étudié cette solution sont présentés. La Figure 4 permet d'illustrer ces différents concepts.

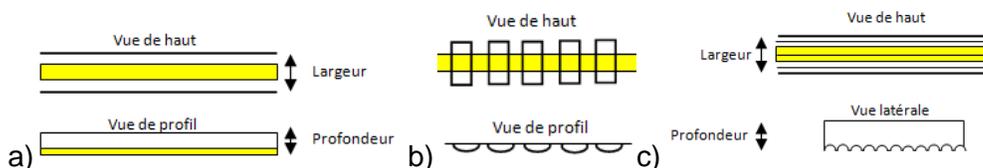


Figure 4 - Types de marquage incrusté: a) rainure lisse, b) bande rugueuse c) bande rugueuse en rainure

Source: M. Brosseau

Expérience sur des rainures lisses

Rhode Island

L'étude réalisée par Lee et al. (1999) affirme que les dommages causés par les versoirs des déneigeuses au marquage à base de thermoplastique peuvent être réduits grâce à l'incrustation dans la chaussée. Les dimensions de l'incrustation utilisée et sa méthode de fabrication ne sont pas spécifiées.

Après la période de maintenance hivernale, le marquage incrusté avait souffert une perte de rétroréflexion de 27 %, et le marquage non incrusté de 45 %. Le marquage incrusté maintenait une rétroréflexion de 302 mcd/lx/m² après une année, et de 125 mcd/lx/m² après trois années.

Les résultats obtenus montrent qu'il s'agit d'une solution moins coûteuse que les marquages non incrustés, étant donné qu'ils nécessitent moins d'opérations de remplacement. En effet, le marquage incrusté doit être remplacé trois fois en 20 ans, et le marquage non incrusté six fois. Sur ce cycle de vie, le marquage incrusté aurait un coût de 14 926 \$ pour une mille (8.96 \$/m) d'autoroute de quatre voies. Le marquage non incrusté aurait un coût de 18 982 \$ par mille (11.39 \$/m).

Oregon

Trois produits de marquage durables, le MMA, le thermoplastique et les bandes préfabriquées, ont été comparés dans une zone avec des chutes de neige importantes (Lynde 2006). Tous les trois ont été mis en place dans une rainure de 102 mm de largeur et 3 à 6 mm de profondeur, illustrée à la Photo 2.



Photo 2 - Rainure d'application du marquage incrusté

Source: Lynde 2006

Après chaque période de maintenance hivernale, plusieurs tests de durabilité et de rétroréflexion ont été réalisés. L'installation des marquages a eu lieu en août 2003 et les tests en mai 2004 et juin 2005.

Les résultats après une période de maintenance hivernale sont illustrés à la Photo 3. Le thermoplastique s'est beaucoup mieux comporté sur les surfaces en bitume que sur celles en béton. Le MMA et les bandes préfabriquées ont montré de bons résultats sur les deux types de surface. Les peintures à base d'eau blanches n'étaient plus visibles après une période de maintenance hivernale.



Photo 3 - Photos du thermoplastique (à gauche) et du MMA (à droite) appliqués sur du bitume après la première période de maintenance hivernale

Source: Lynde 2006

Les résultats après deux périodes de maintenance hivernale sont illustrés dans la Photo 4. La performance du thermoplastique sur le béton continue à être faible et s'est dégradée par rapport à la première période sur la surface en bitume. Le MMA et les bandes préfabriquées sont restés en très bon état sur les deux surfaces après la deuxième période de maintenance. Les bandes sont restées aussi dans un très bon état. Si les peintures blanches à base d'eau n'ont pas été durables, les lignes jaunes en peinture à base d'eau étaient encore présentes après deux périodes de maintenance².

² Ce type d'effet différent pour le même produit selon la couleur ne peut s'expliquer que par un autre facteur comme une moins bonne installation du marquage blanc.



Photo 4 - Photos du MMA appliqué sur du béton (à gauche) et du bitume (à droite) après la deuxième période de maintenance hivernale

Source: Lynde 2006

Par ailleurs, c'était la première fois que le thermoplastique était utilisé en Oregon, et il y a eu quelques problèmes avec le mélange du produit (création de bulles). Cela a provoqué l'apparition de vides qui ont causé la rupture du matériau et la formation de fissures. Selon les auteurs, avec de bonnes conditions d'application, ce matériau peut donner de bons résultats sur le bitume. Mais il n'est pas recommandé pour le béton.

Colorado

Trois produits de marquage, le thermoplastique, les bandes préfabriquées et l'époxy, ont été comparés sur des surfaces en béton dans une étude réalisée par le ministère des Transports du Colorado (Outcalt 2004). Le thermoplastique ne présente pas de problèmes liés à la circulation ou le déneigement, mais il y a eu des problèmes d'adhésion à la surface en béton (voir la Photo 5). Cependant, en dépit de ces problèmes, le marquage avait une très bonne rétroréflexion : 299-378 mcd/lx/m² pour le marquage en blanc, et 154-209 mcd/lx/m² pour le jaune.



Photo 5 - Manque d'adhésion du thermoplastique sur le béton

Source: Outcalt 2004

Les bandes se maintenaient en excellentes conditions (voir Photo 6) avec une très haute rétroreflexion, entre 479 mcd/lx/m^2 et 514 mcd/lx/m^2 après trois hivers. Tous les marquages effectués à l'aide de bandes étaient au-dessus des seuils de rétroreflexion pour l'époxy, établis en 2004 par le ministère des Transports du Colorado (non disponibles).



Photo 6 - Bandes préfabriquées après trois hivers

Source: Outcalt 2004

L'époxy a été appliqué seulement sur les voies réservées pour des virages et les voies d'accélération/décélération, c'est-à-dire, dans des endroits où le marquage est soumis à une circulation moindre. Une comparaison entre l'époxy appliqué normalement en surface et l'époxy appliqué en rainures a montré des niveaux de rétroreflexion similaires très bas dans les deux cas, soit entre 69 et 98 mcd/lx/m^2 pour le marquage en blanc et entre 64 et 75 mcd/lx/m^2 pour le jaune. Il y avait quelques zones où l'époxy en surface

avait été enlevé par les déneigeuses, mais il s'est maintenu en bon état dans la rainure, même si la rétroréflexion était basse (voir la Photo 7, qui semble indiquer des problèmes lors de l'application du produit).



Photo 7 - époxy en rainure à gauche, en surface à droite

Source: Outcalt 2004

Expérience sur des bandes rugueuses

Indiana

Une alternative à l'incrustation du marquage est de l'appliquer sur des bandes rugueuses. Plusieurs études ont été effectuées à cet effet et la plupart donnent des résultats très favorables à ce type de marquage. Une expérience effectuée en 2010 en Indiana (Mitkey et al. 2011) montre que le marquage sur bandes rugueuses résiste mieux au passage des déneigeuses, mais améliore aussi la visibilité du marquage en cas de pluie ou de chaussée mouillée, puisqu'une partie du marquage n'est pas sur une surface horizontale. Le détail des bandes rugueuses utilisées pour cette étude est présenté à la Figure 5.

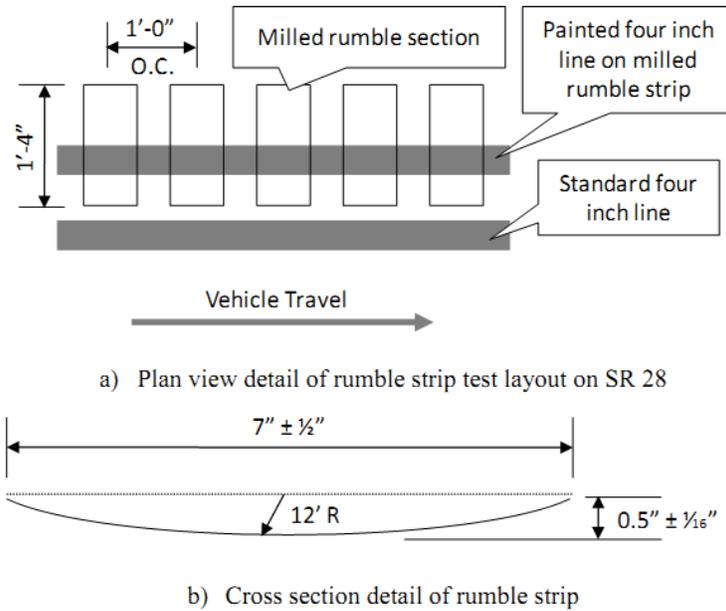


Figure 5 - détail des bandes rugueuses utilisées dans l'expérience de l'Indiana

Source : Mitkey et al. 2011

Japon

Au Japon, des tests de marquage sur des bandes rugueuses incrustées ont été effectués en 2010 (Hirasawa 2010). Le but de cette étude était de combiner les bandes rugueuses avec l'incrustation. Il s'agit du type de bande représenté dans la Figure 4c. Les bandes rugueuses étaient enfoncées de quelques millimètres dans la chaussée afin de les protéger des versoirs des déneigeuses. Deux types de marquage ont été testés dans le cadre de cette étude, soit la peinture à base d'eau et les thermoplastiques projetés.

Il a été déterminé que le marquage sur bande rugueuse n'est pas avantageux pour les peintures à base d'eau. En effet, la peinture appliquée directement sur la chaussée a mieux résisté que celle appliquée sur des bandes rugueuses renfoncées. Ce phénomène a été attribué à la fluidité de la peinture. Celle-ci s'insère entre toutes les bandes rugueuses et devient ainsi plus fragile. La Figure 6 illustre cette explication.

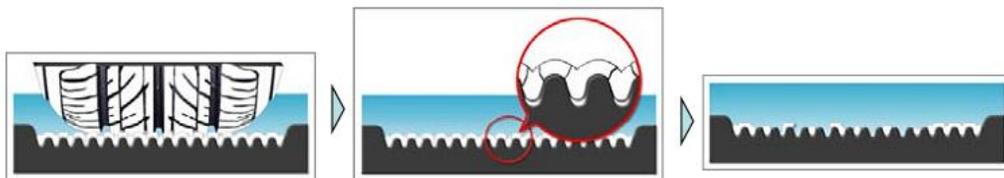


Figure 6 - mauvaise adhérence de la peinture aux bandes rugueuses

Source : Hirasawa 2010

Par contre, le marquage effectué avec des thermoplastiques a très bien résisté au passage des déneigeuses. La Photo 8 montre les résultats obtenus après un an.

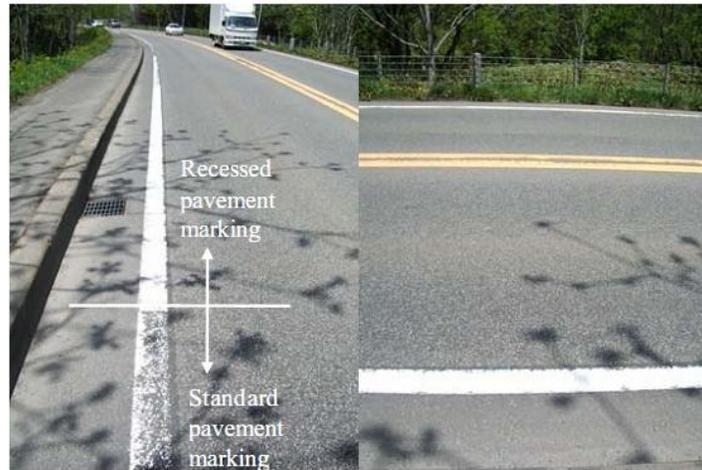


Photo 8 - Résultat du test avec du marquage thermoplastique

Source : Hirasawa 2010

Conclusions de la revue de littérature

Après cette revue de la littérature sur les différentes techniques de marquage et leur évaluation, nous pouvons conclure que les matériaux de marquage se sont beaucoup développés ces dernières années. Il existe maintenant une vaste gamme de produits adaptés aux différents besoins. Plusieurs agences, comme le Québec, ont donc redéfini leurs politiques de marquage ou ont envisagé récemment des changements dans les produits et techniques utilisés.

Le MTQ a observé une baisse importante de la rétroréflexion de l'époxy au cours de la dernière décennie et cherche à savoir s'il est souhaitable de continuer à utiliser ce produit de marquage. Les données présentes dans la littérature indiquent que la perte de rétroréflexion constatée après une année avec l'époxy est aussi constatée ailleurs dans les autres administrations.

D'autres produits comme le thermoplastique et le MMA semblent être préférés par la majorité des juridictions en particulier dans les régions froides. En revanche, l'option d'utiliser des produits moins performants et moins chers, mais de refaire les marquages annuellement reste toujours à considérer. Pour cela, il faut évaluer le coût de chaque produit sur son cycle de vie complet.

D'autres solutions ont été testées par plusieurs juridictions pour améliorer la rétroréflexion ou la durée de vie des matériaux. Une solution qui semble avoir fait ses preuves est le fait d'incruster le marquage dans la chaussée. Les résultats obtenus au Colorado, en Oregon et au Japon démontrent que, même en présence d'activités de déneigement, des durées de vie de deux, voire trois

ans, peuvent être atteintes avec des produits comme le thermoplastique, les bandes et le MMA.

Le MTQ a déjà effectué des tests non satisfaisants de marquage sur bandes rugueuses semblables à celles illustrées à la Figure 4b. En effet, la partie incrustée du marquage résistait aux passages des déneigeuses, mais la partie en surface était arrachée (conversation avec Michel Tremblay, 12 mai 2011). Ce type de méthode de marquage semble avoir bien fonctionné dans d'autres cas, par exemple en Indiana, mais si les mêmes résultats ne sont pas observables au Québec, il pourrait être intéressant de refaire ces bancs d'essai en incrustant complètement le marquage ou en utilisant des bandes rugueuses incrustées.

Certaines juridictions ont opté pour l'ajout de délinéateurs surélevés (« Raised Reflective Pavement Marker », RRPM), dont certains modèles sont conçus pour résister au déneigement. Ces délinéateurs permettent d'assurer une rétroréflexion plus durable puisqu'il n'est plus nécessaire que le marquage au sol respecte les normes de rétroréflexion.

Une deuxième série de tests sur les RRPM est en cours au MTQ. Une première série de tests avait été effectuée il y a quelques années, mais le cataphote du réflecteur ne résistait pas à l'entretien hivernal, malgré l'utilisation de SRPM. La nouvelle série de tests est en cours avec cette fois des cataphotes incrustés (courriel de Michel Tremblay, 17 mai 2011). Les résultats de ces tests permettront de mieux comprendre si cette solution est adaptée aux routes du Québec.

Finalement, il pourrait être intéressant de tester des versoires faits de différents matériaux. Certaines études ont démontré que des versoires en uréthane ou en caoutchouc seraient moins dommageables pour le marquage. Certaines agences ont aussi ajouté des roues à leurs versoires, afin réduire la force appliquée sur le marquage.

ENQUÊTE AUPRÈS DES AGENCES DE TRANSPORT À PROPOS DES PRATIQUES ET DES PRODUITS UTILISÉS POUR LE MARQUAGE AU SOL

Contexte

En 2008, une enquête a été réalisée pour le ministère des Transports de la Pennsylvanie afin de connaître les pratiques de marquage des états voisins. Cette enquête était très intéressante pour notre projet, puisqu'elle ciblait plusieurs questions sur la rétroréflexion et sa durabilité. Dix-neuf états ont répondu à ce sondage, soit :

- Alaska
- Californie
- Colorado
- Connecticut
- Illinois
- Massachusetts
- Michigan
- Minnesota
- Montana
- Nebraska
- New Hampshire
- New York
- Dakota du Nord
- Ohio
- Oregon
- Virginie
- Washington
- Virginie occidentale
- Wyoming

Cependant, le questionnaire contenait peu d'information sur les pratiques hivernales des administrations enquêtées. De plus, les États enquêtés avaient des climats similaires à celui de la Pennsylvanie qui est différent du climat québécois. À la demande du MTQ, cette enquête a été reprise avec quelques simplifications (la première question a été supprimée et des réponses trop détaillées simplifiées) et en ajoutant une série de questions sur les pratiques hivernales. Notre enquête a été adressée à un plus grand nombre de juridictions. Le formulaire complet de l'enquête est disponible en annexe. La nouvelle série de questions a été envoyée aux états ayant répondu au sondage de 2008, afin de compléter l'information recueillie alors. Dans le cas des agences qui n'avaient pas été contactées lors de l'enquête de 2008, le questionnaire complet, composé des questions de 2008 de la Pennsylvanie et de la nouvelle section sur les pratiques hivernales, leur fut envoyé. Au total, 59

agences furent contactées dans le monde entier. Ces agences ont été ciblées soit pour leur climat, soit parce qu'elles avaient répondu au sondage de 2008. Voici la liste des agences contactées :

- Canada
 - Alberta
 - Colombie-Britannique
 - Manitoba
 - Nouveau-Brunswick
 - Nouvelle-Écosse
 - Ontario
 - Saskatchewan
 - Terre-Neuve et Labrador
- États-Unis
 - Alaska
 - Arizona
 - Colorado
 - Connecticut
 - Dakota du Nord
 - Dakota du Sud
 - Delaware
 - Idaho
 - Illinois
 - Indiana
 - Iowa
 - Kentucky
 - Maine
 - Massachusetts
 - Michigan
 - Minnesota
 - Missouri
 - Montana
 - Nebraska
 - Nevada
 - New Hampshire
 - New Jersey
 - New York
 - Ohio
 - Oregon
 - Pennsylvanie
 - Rhode Island
 - Utah

- Vermont
- Virginie
- Virginie occidentale
- Washington
- Wisconsin
- Wyoming
- Allemagne
- Argentine
- Autriche
- Chili
- Chine
- Danemark
- Finlande
- Islande
- Japon
- Lituanie
- Mongolie
- Nouvelle-Zélande
- Norvège
- Pologne
- Russie
- Suède
- Suisse

Parmi les agences contactées, 27 ont renvoyé un formulaire d'enquête rempli. Comme les résultats de la première section de l'enquête étaient disponibles, un total de 36 agences ont répondu à la première partie de l'enquête. Les agences identifiées avec des astérisques (*) ont complété la première section de l'enquête lors de l'envoi effectué par la Pennsylvanie, en 2008. Voici la liste des agences ayant répondu :

- Canada
 - Alberta
 - Colombie-Britannique
 - Ontario (1^{re} partie seulement)
 - Nouveau-Brunswick (1^{re} partie seulement)
 - Saskatchewan
 - Terre-Neuve et Labrador
- États-Unis
 - Alaska* (1^{re} partie seulement)
 - Californie* (1^{re} partie seulement)
 - Colorado* (1^{re} partie seulement)

- Connecticut*
- Dakota du Nord*
- Delaware* (1^{re} partie seulement)
- Illinois*
- Iowa
- Massachusetts*
- Michigan*
- Minnesota*
- Missouri
- Montana* (1^{re} partie seulement)
- Nebraska*
- New Hampshire* (1^{re} partie seulement)
- New Jersey (2e partie seulement)
- New York*
- Ohio*
- Oregon*
- Utah
- Vermont
- Virginie* (1^{re} partie seulement)
- Virginie occidentale (1^{re} partie seulement)
- Washington* (1^{re} partie seulement)
- Wisconsin
- Wyoming*
- Danemark
- Islande
- Lituanie
- Nouvelle-Zélande
- Suède

Il y a eu deux erreurs au moment de l'envoi des questionnaires. Tout d'abord, le sondage complet a été renvoyé à l'état de l'Ohio, même s'il avait répondu au sondage effectué par la Pennsylvanie en 2008. Les réponses obtenues en 2008 et celles obtenues en 2011 diffèrent un peu, comme on pouvait s'y attendre. Par contre, ce résultat confirme que les pratiques varient très peu en trois ans et que les résultats obtenus lors de l'enquête de 2008 semblent encore utilisables aujourd'hui. Les réponses de l'Ohio collectées en 2011 seront présentées dans cette section, mais les résultats de l'Ohio pour l'étude de Garvey et al. (2008) sont disponibles avec les résultats bruts, en annexe.

La deuxième erreur concerne l'envoi du questionnaire au New Jersey. Le New Jersey n'a pas répondu à l'enquête de 2008, mais lors de l'envoi du questionnaire, seulement les questions supplémentaires leur ont été envoyées. Lorsque l'erreur a été remarquée, la première partie du

questionnaire a été renvoyée au ministère des Transports du New Jersey, mais il ne fut pas complété à temps.

Résultats de l'enquête

L'enquête a été effectuée en anglais, par contre, pour des fins de présentations, la synthèse des résultats sera présentée en français. Les résultats bruts sont présentés en annexe.

Première partie

Question 1 : Quel est le coût estimé d'installation de chaque type de marquage suivant?

Cette question est difficile à traiter, car même s'il était possible de faire l'équivalence entre certaines unités (par exemple \$/km et \$/pied), certaines équivalences étaient impossibles à effectuer. Par exemple, certaines agences ont donné des réponses en \$/gallon pour de la peinture ou encore \$/m². Ces résultats particuliers seront détaillés plus loin. En ce qui concerne les devises étrangères, elles furent converties en dollar canadien avec les taux de change en vigueur le 16 novembre 2011 à la banque du Canada. Le Tableau 4 ci-dessous résume les taux utilisés :

Tableau 4 - Taux de change utilisé

Devise	Taux de change utilisé
USD (dollar américain)	1 USD = 1.02 \$
€ (euro)	1 € = 1.38\$
NZD (dollar néo-zélandais)	1 NZD = 0.78\$
DKK (couronne danoise)	10 DKK = 1.85\$
ISK (couronne islandaise)	100 ISK = 0.87\$

Source : Banque du Canada

(<http://www.banqueducanada.ca/taux/taux-de-change/convertisseur-de-devises-taux-du-jour/>)

Les données exprimées dans des unités impossibles à convertir en coût par unité de distance sont listées dans le Tableau 5. Les réponses du Colorado ont été exprimées en gallon américain ou en pied carré qui ne peuvent être converties en coût par unité de distance, puisqu'aucun détail n'était spécifié sur la quantité utilisée par mesure linéaire. Comme il s'agit de données recueillies lors de l'enquête de 2008, il a été impossible d'obtenir ces précisions. La Lituanie n'a fourni aucun détail sur la largeur de marquage, de sorte que ses réponses n'ont pas pu être converties non plus.

Tableau 5 - Coûts qui ne pouvaient pas être normalisés

Agence	Produit	Coût
Colorado	Peinture à base d'eau	28.67 USD/gallon US
	Peinture à base de solvant	31.00 USD/gallon US
	Époxy	42.00-45.00 USD/gallon US
	Thermoplastique préformé	9.00-10.00 USD/gallon US
	Bandes préfabriquées	10.00-12.00 USD/pied ²
	Thermoplastique chaud	2.00-3.00 USD/gallon US
Lituanie	Peinture à base de solvant	4.00-6.00 €/m ²
	Époxy	20.00-25.00 €/m ²
	Thermoplastique projeté	12.00-16.00 €/m ²
	Thermoplastique chaud	20.00-25.00 €/m ²

Il faut noter que certaines agences n'ont pas répondu pour tous les types de marquage, car ils ne l'utilisaient pas ou l'information n'était pas disponible. Les coûts moyens d'application des produits (excluant les valeurs du Québec) sont résumés dans le Tableau 6 ci-dessous. Par contre, comme le nombre d'agences ayant répondu varie d'un produit à l'autre et que certaines agences ont fourni un intervalle de valeurs possibles, cette représentation donne seulement une idée générale de la situation.

Tableau 6 - Coût moyen d'application des produits de marquage

Produit	Coût moyen d'application (\$/m)		
	Chaussée en enrobé bitumineux		
	Nombre de réponses	Moyenne	Québec
Peinture à base d'eau	29	0.19	0.25-0.30
Peinture à base de solvant	9	0.38	0.25
Époxy	15	0.28	0.75-2.00
Polyurea	6	0.50	-
Polyester	2	0.18	-
Thermoplastique préformé	4	0.86	-
Thermoplastique projeté	8	0.37	-
Thermoplastique chaud	11	2.90	-
Bandes préfabriquées	15	4.23	20
MMA projeté	2	2.49	7
MMA manuel	2	4.18	15

Certains prix, en particulier pour la peinture à base d'eau et l'époxy, très utilisés au Québec, semblent sous-évalués en comparaison des prix typiques d'application de ces produits au Québec.

Afin d'offrir une représentation plus complète de la situation, des figures représentant les intervalles de coûts d'application selon chaque agence ont été générées (Figure 7 à Figure 17). La valeur aberrante mentionnée plus haut a été illustrée à l'aide d'une flèche afin que l'échelle des figures reste lisible. Afin d'en faciliter la lecture, les données ont été regroupées par un code de couleur. Les provinces canadiennes sont présentées en rouge, les états américains en bleu, les agences européennes en vert et celles d'Océanie en orange. Un élément surprenant est le coût d'application de l'époxy au Québec supérieur à celui rapporté par tous les autres répondants.

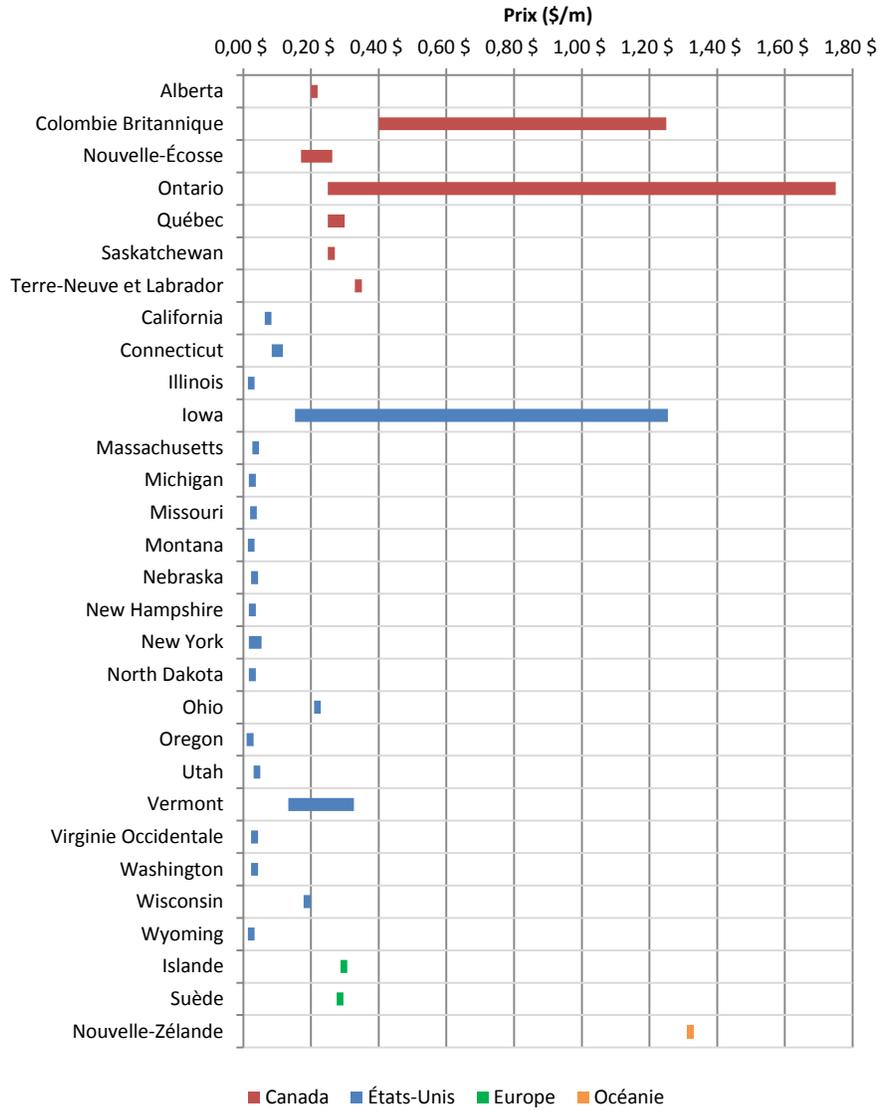


Figure 7 - Coûts d'application de la peinture à base d'eau

Peinture à base de solvant

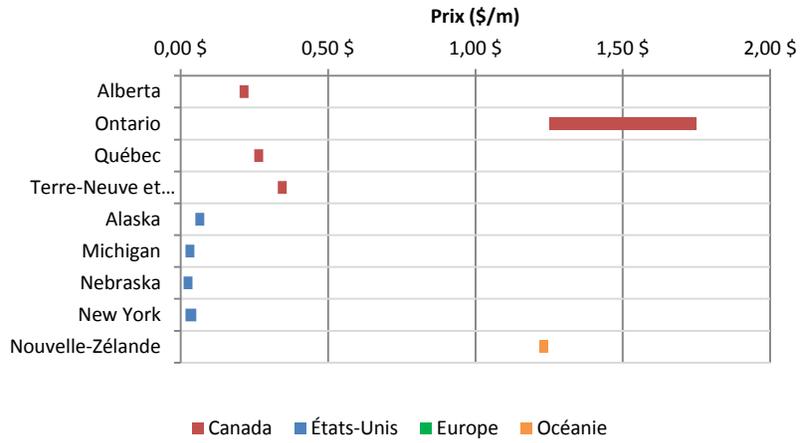


Figure 8 - Coûts d'application de la peinture à base de solvant

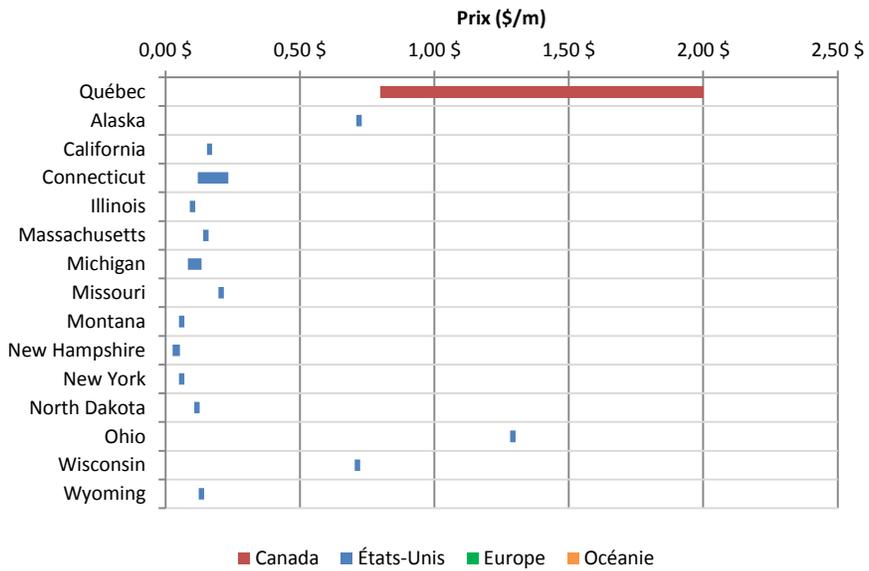


Figure 9 - Coûts d'application de l'époxy

PROBLÉMATIQUE DE RÉTRORÉFLEXION



Figure 10 - Coûts d'application du polyurea

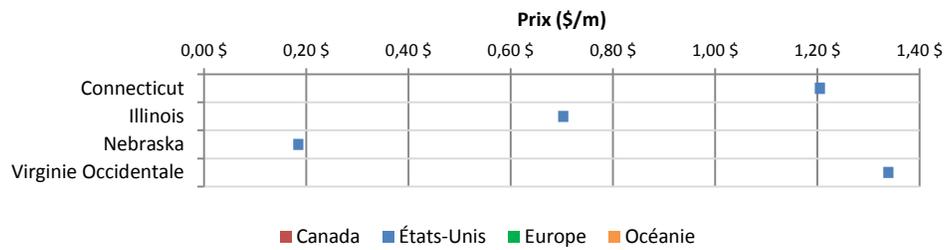


Figure 11 - Coûts d'application du thermoplastique préfabriqué

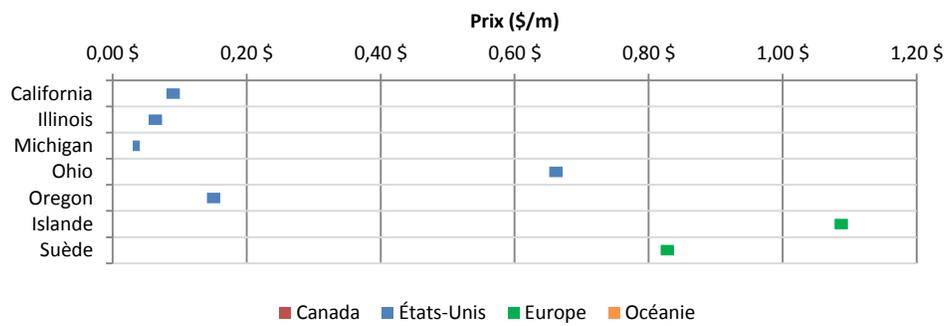


Figure 12 - Coûts d'application du thermoplastique projeté

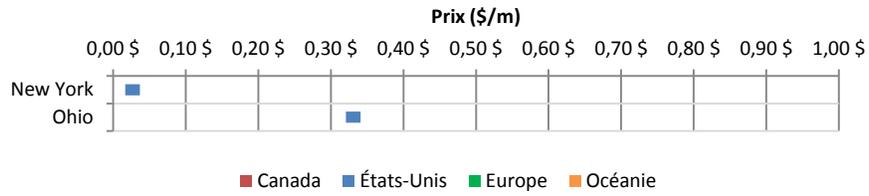


Figure 13 - Coûts d'application du polyester

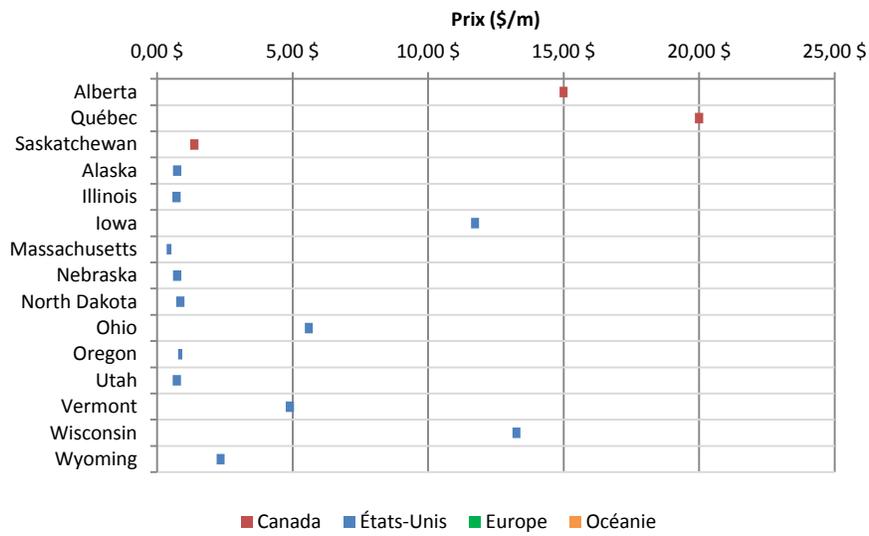


Figure 14 - Coûts d'application des bandes préfabriquées

PROBLÉMATIQUE DE RÉTRORÉFLEXION

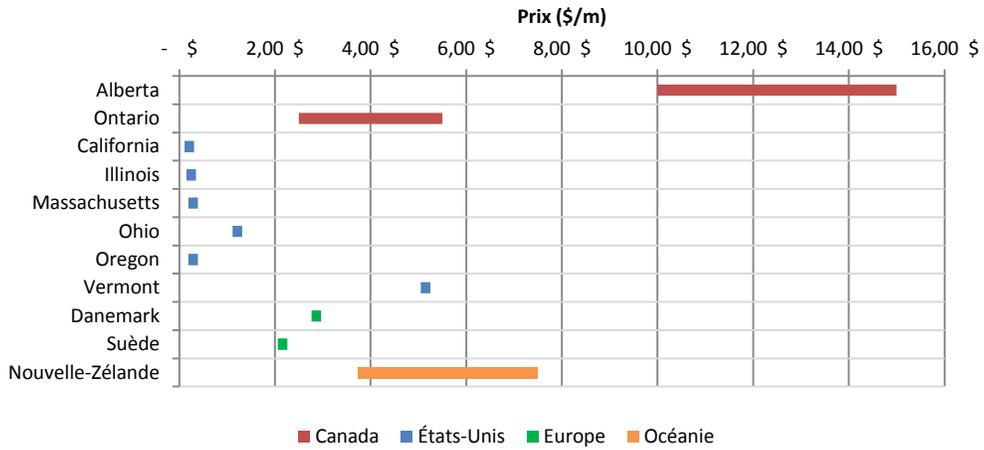


Figure 15 - Coûts d'application du thermoplastique installé à chaud

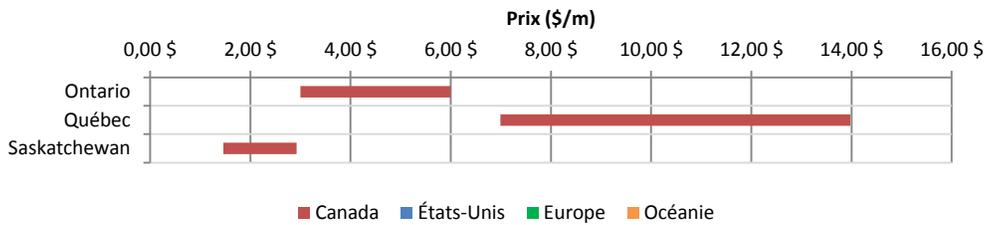


Figure 16 - Coûts d'application du MMA projeté

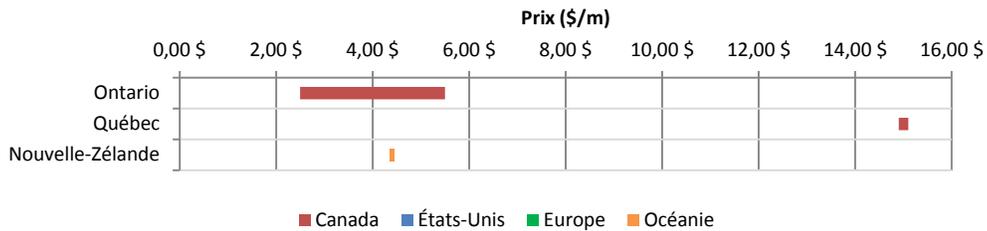


Figure 17 - Coûts d'application du MMA manuel

Question 2 : Quelle est la longueur de votre réseau routier pour chacun de ces types de routes?

Les réponses à cette question varient énormément d'une agence à l'autre, puisque les aires des territoires varient énormément. Elles sont donc présentées en annexe, mais ne seront pas analysées ici.

Question 3 : Quelle est la longueur totale de votre réseau en enrobé bitumineux et en béton? Quel pourcentage de votre marquage est effectué par des entrepreneurs?

Encore une fois, les réponses varient beaucoup d'une agence à l'autre, mais une tendance facilement observable est que la plupart des routes sont en enrobés bitumineux. Certaines agences, comme l'Alaska, le Massachusetts, le New Hampshire, Terre-Neuve et Labrador, la Saskatchewan, la Nouvelle-Zélande et le Danemark n'ont aucune route en béton. L'état ayant le plus de route en béton est la Virginie Occidentale avec 48 %. Le Québec possède 1 % de ses routes en béton, ce qui le met dans une situation similaire à celles de la Lituanie ou du Montana.

La répartition du marquage effectué par les entrepreneurs varie d'un endroit à l'autre. Voici un résumé des résultats qui étaient donnés sous forme numérique:

Tableau 7 - Pourcentage du marquage effectué par des entrepreneurs

Moins de 10 %	10% - 29%	30% - 69%	70% - 89%	90% et plus
Minnesota New Hampshire Wyoming Saskatchewan Missouri	Nebraska Washington Nouvelle-Écosse Iowa Québec	Oregon Wisconsin Montana	Colorado Ohio	Connecticut Massachusetts Michigan New York Dakota du Nord Virginie Occidentale Alberta Ontario Terre-Neuve-et-Labrador Lituanie Nouvelle-Zélande Suède Danemark Colombie-Britannique

Le Vermont a répondu que le marquage était donné entièrement à des entrepreneurs, sauf dans le cas des autoroutes de classes 1 ou 2. Par contre, comme aucun détail n'a été donné sur la proportion du réseau constitué par ce type d'autoroute, il était impossible de comparer ce résultat avec les autres données obtenues. L'Utah, la Virginie, l'Illinois, la Californie et l'Alaska n'ont pas répondu à cette question.

Question 4 : Quelle est la longueur totale de chaque type de route marqué avec ces produits de marquage?

Les réponses à cette question varient d'une agence à l'autre, puisque les territoires couverts varient énormément. Elles sont donc présentées en annexe, mais ne seront pas analysées ici.

Question 5 : Quelle est la fréquence d'utilisation de chacun de ces types de produits?

Les résultats obtenus ont été compilés dans le Tableau 8 ci-dessous. Il faut noter que sur les 34 agences qui ont répondu, seulement 28 ont des routes en béton, ce qui explique que le total est plus bas pour ce type de chaussé. De plus, les deux types de MMA n'étaient pas présents dans l'envoi original de 2008 et ont été ajoutés dans le nouvel envoi du sondage. Le nombre de résultats obtenus pour ces deux types de marquage est donc plus faible. La Colombie-Britannique n'a répondu que pour deux types de marquage, ce qui explique le total plus élevé de réponses pour la peinture à base d'eau et de solvant.

Tableau 8 - Fréquence d'utilisation des produits de marquage

	Béton			Enrobé bitumineux		
	Souvent	Rarement	Jamais	Souvent	Rarement	Jamais
Peinture à base d'eau	21	4	3	31	3	1
Peinture à base de solvant	1	10	17	5	11	19
Époxy	9	6	13	11	7	16
Polyurea	3	4	21	4	6	24
Thermoplastique préformé	4	4	20	7	9	18
Thermoplastique projeté	3	6	19	6	8	20
Polyester	0	2	26	1	1	32
Bandes préfabriquées	10	8	10	12	10	12
Thermoplastique installé à chaud	4	8	16	10	7	17
MMA projeté	0	1	12	0	3	13
MMA manuel	0	2	11	1	3	12

On peut constater que le produit de marquage le plus utilisé, pour le béton et les enrobés bitumineux, est de loin la peinture à base d'eau. Les bandes préfabriquées sont le deuxième matériel de marquage le plus commun, suivi de l'époxy. Le Québec quant à lui utilise en ce moment les différents types de marquage avec les fréquences indiquées dans le Tableau 9. Il faut remarquer que la fréquence d'utilisation d'un produit pourrait renvoyer à la longueur de marquage effectué avec le produit ou au nombre de routes ou secteurs dans lesquels le produit est utilisé.

Tableau 9 - Fréquence d'utilisation des produits de marquage au Québec

	Béton			Enrobé bitumineux		
	Souvent	Rarement	Jamais	Souvent	Rarement	Jamais
Peinture à base d'eau			X	X		
Peinture à base de solvant			X	X		
Époxy	X			X		
Polyurea			X			X
Thermoplastique préformé			X			X
Thermoplastique projeté			X			X
Polyester			X			X
Bandes préfabriquées			X			X
Thermoplastique installé à chaud			X		X	
MMA projeté			X		X	
MMA manuel			X		X	

Question 6 : Quelle est la durée de vie de ces différents types de marquage?

Les durées de vies moyennes des produits (excluant les valeurs du Québec) sont résumées dans le Tableau 10. Par contre, comme plusieurs agences ont fourni un intervalle de durée de vie, ces moyennes sont approximatives et ont été calculées pour offrir une base de comparaison entre les produits de marquage. De plus, le nombre d'agences ayant fourni une réponse varie d'un produit à l'autre.

Tableau 10 - Durée de vie moyenne des produits de marquage

Produit	Durée de vie moyenne (mois)					
	Chaussée en enrobé bitumineux			Chaussée en béton		
	Nombre de réponses	Moyenne	Québec	Nombre de réponses	Moyenne	Québec
Peinture à base d'eau	29	12	9-12	22	11.3	-
Peinture à base de solvant	16	9.3	6-12	11	8.4	-
Époxy	17	31.4	24-48	15	31.2	48-60
Polyurea	7	42.6	-	5	40.4	-
Polyester	2	25.5	-	1	27	-
Thermoplastique préformé	10	41.1	-	7	40.7	-
Thermoplastique projeté	12	29.2	-	8	25.0	-
Thermoplastique chaud	15	42.9	-	9	36.8	-
Bandes préfabriquées	17	49.9	60-72	13	57.2	-
MMA projeté	4	29.3	24	1	24	-
MMA manuel	4	63.0	48	2	49.5	-

On observe que le Québec a des durées de vie soit dans la moyenne ou supérieures à la moyenne. Les matériaux qui semblent avoir la meilleure durée de vie sont le MMA manuel pour les chaussées en enrobé bitumineux et les bandes préfabriquées pour les chaussées en béton.

Un portrait plus complet de la situation est illustré de la Figure 18 à la Figure 28 ci-dessous. Celles-ci représentent les durées de vie observées par les agences en fonction du type de chaussée en place.

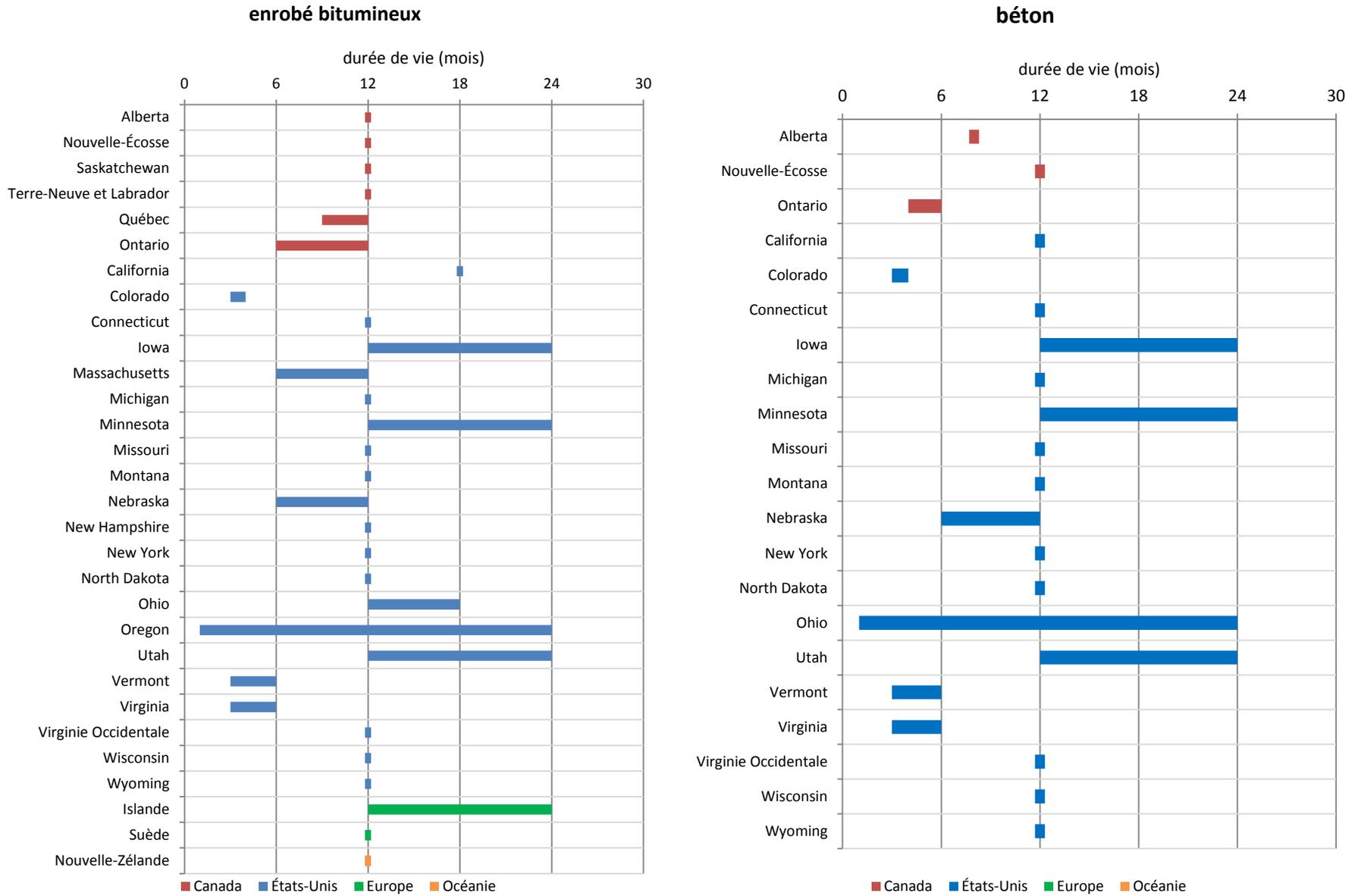


Figure 18 - durée de vie de la peinture à base d'eau

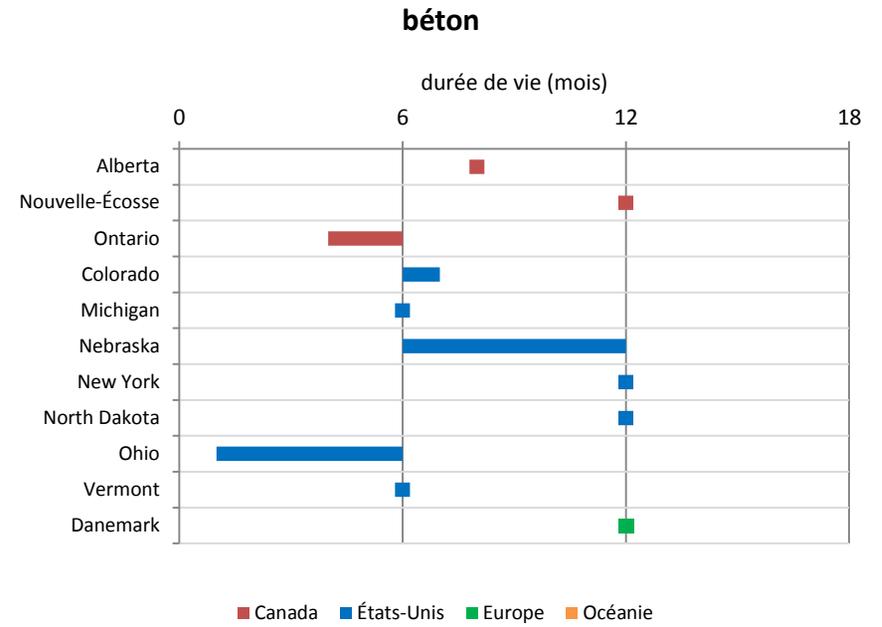
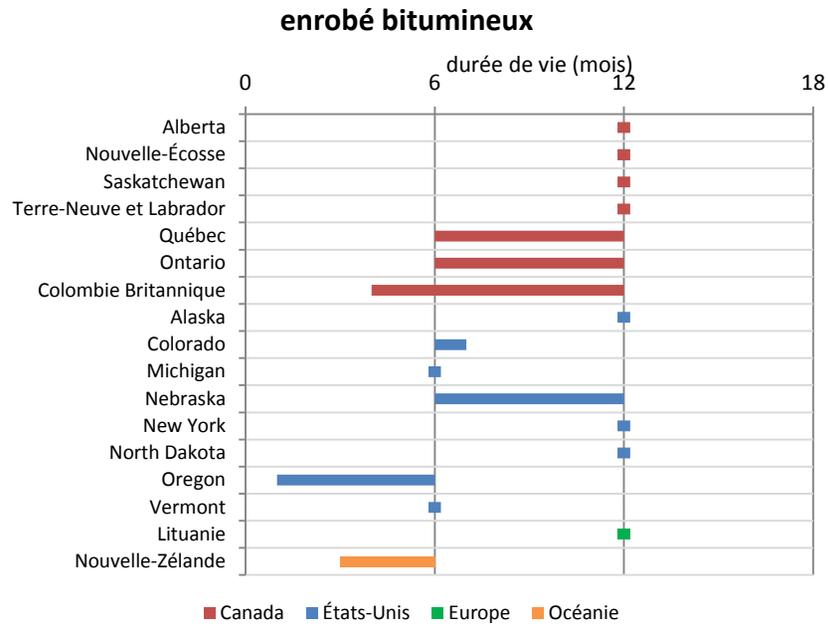


Figure 19 - durée de vie de la peinture à base de solvant

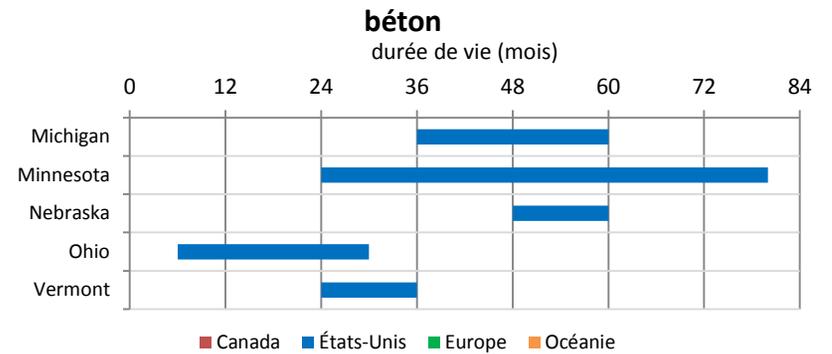
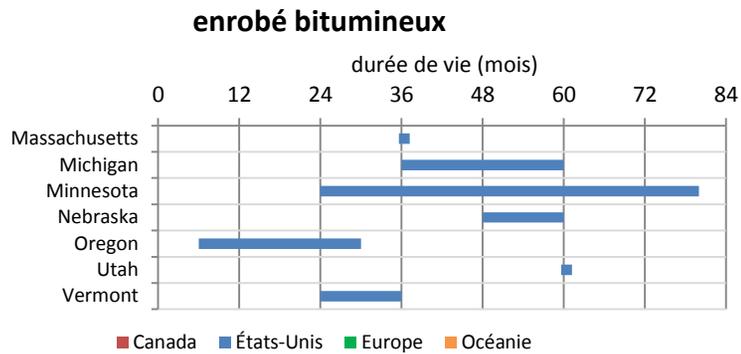


Figure 20 - durée de vie du polyurea

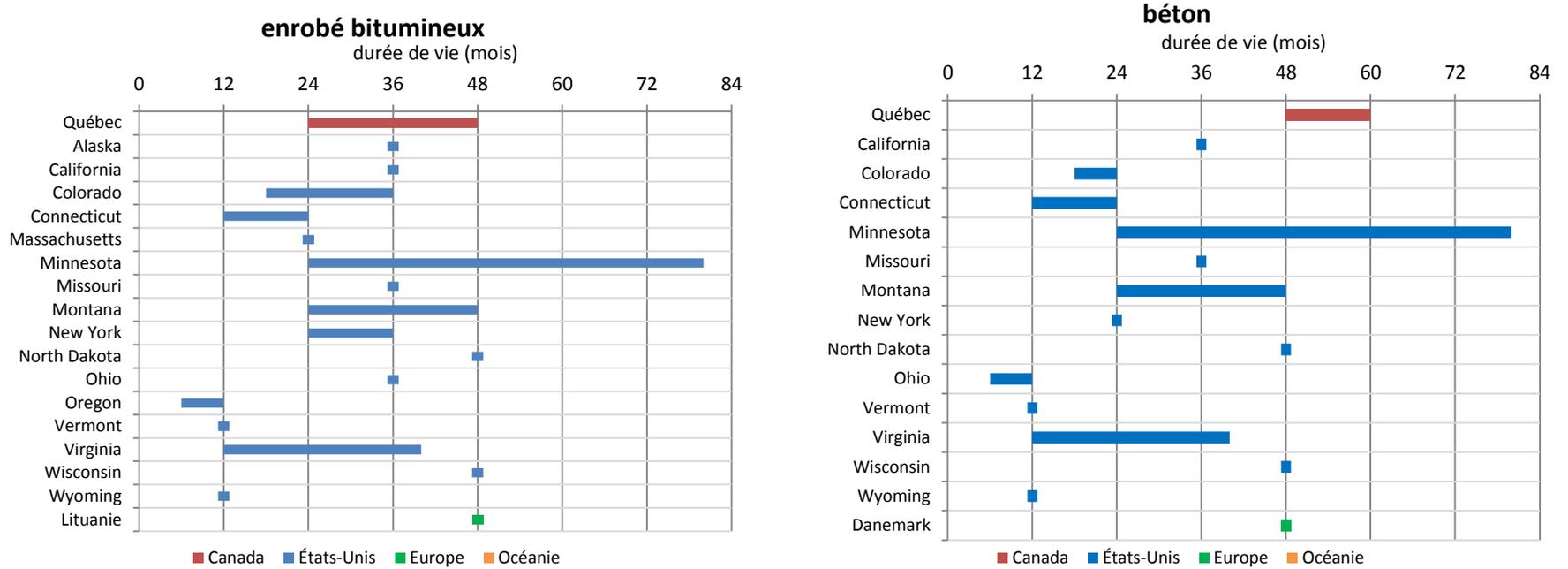


Figure 21 - durée de vie de l'époxy (l'intervalle rapporté pour le béton au Québec concerne du marquage incrusté)



Figure 22 - durée de vie du polyester

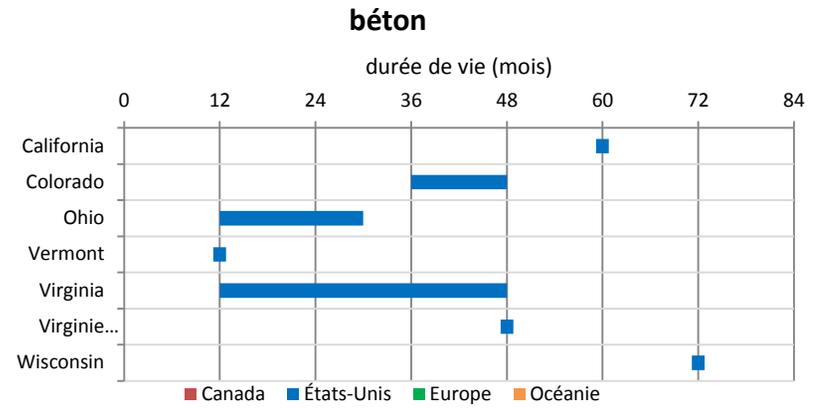
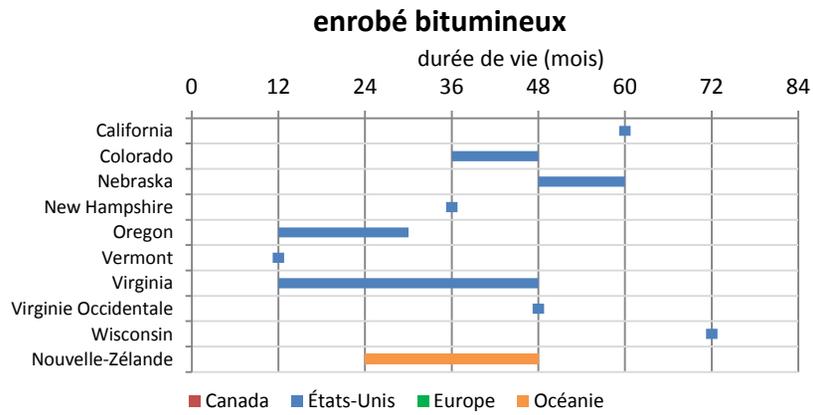


Figure 23 - durée de vie du thermoplastique préfabriqué

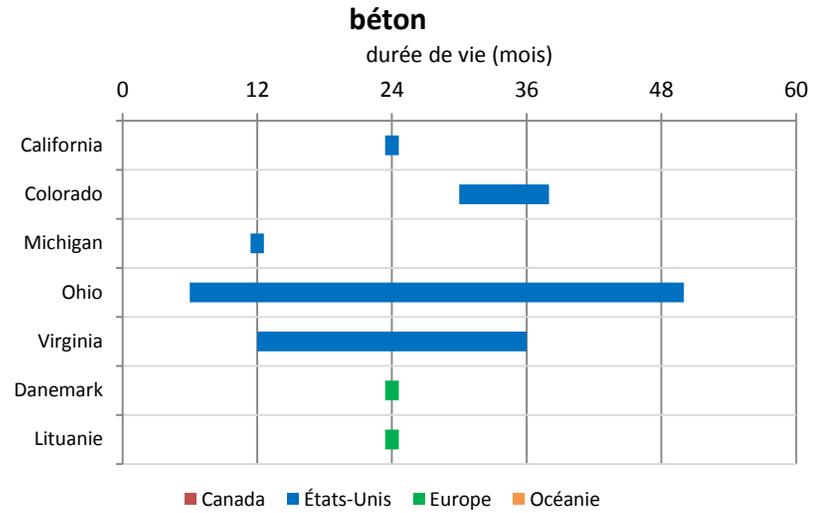
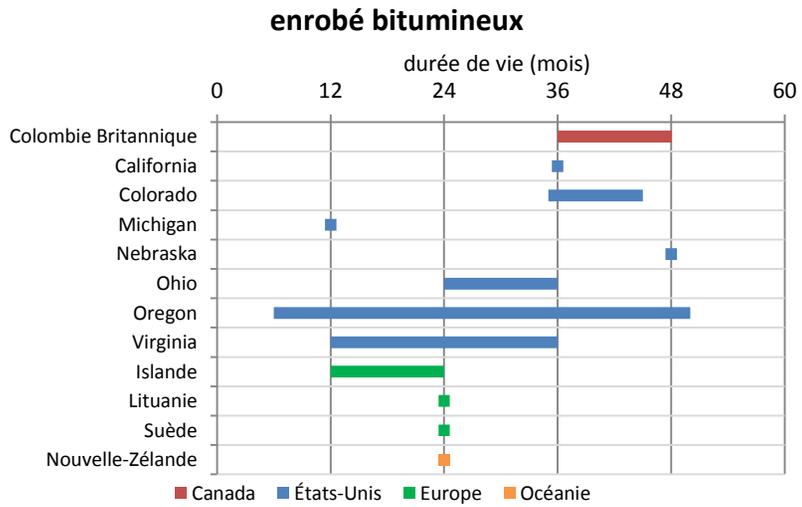


Figure 24 - durée de vie du thermoplastique projeté

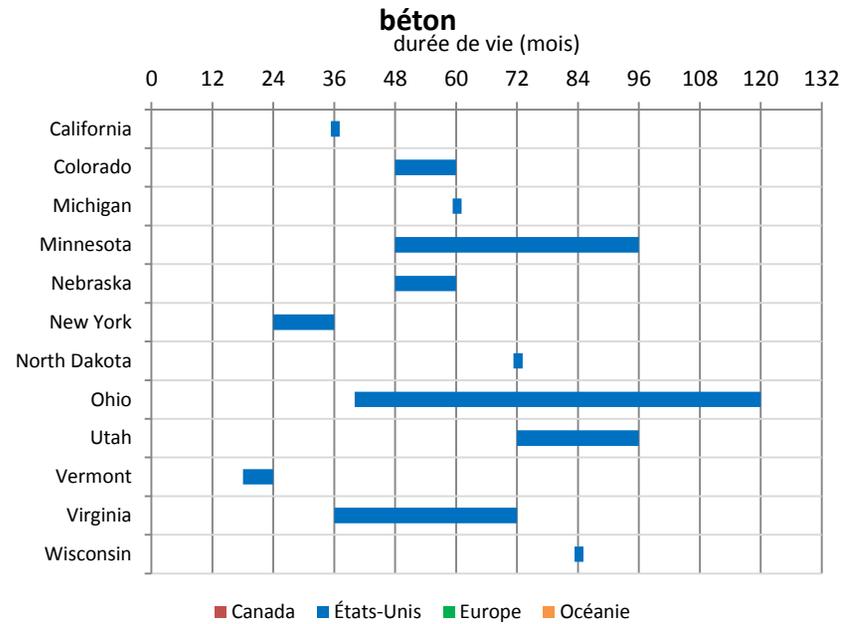
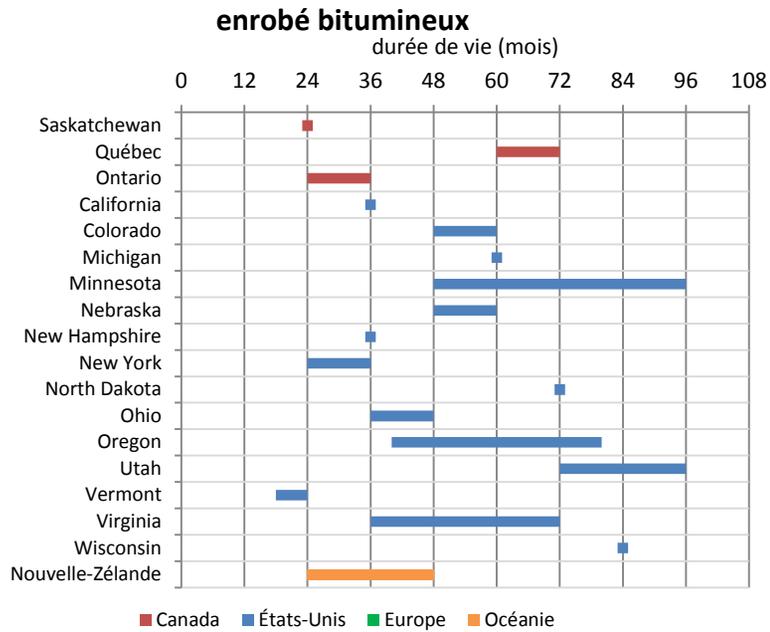


Figure 25 - durée de vie des bandes préfabriquées

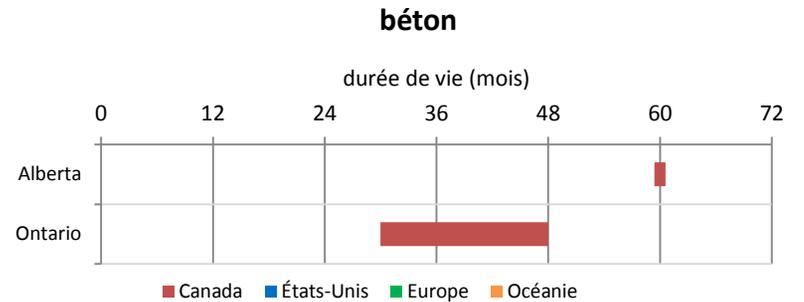
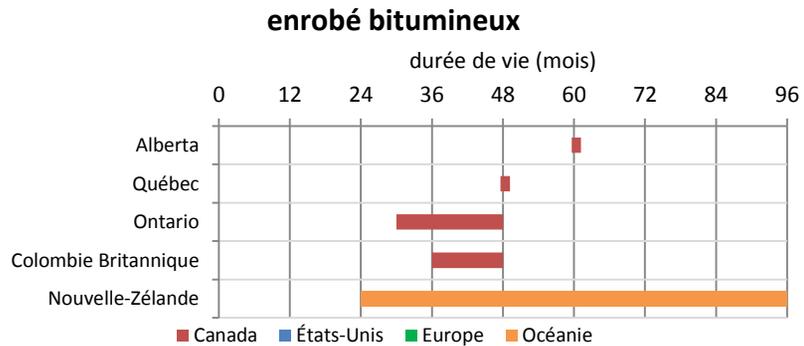


Figure 26 - durée de vie du MMA manuel

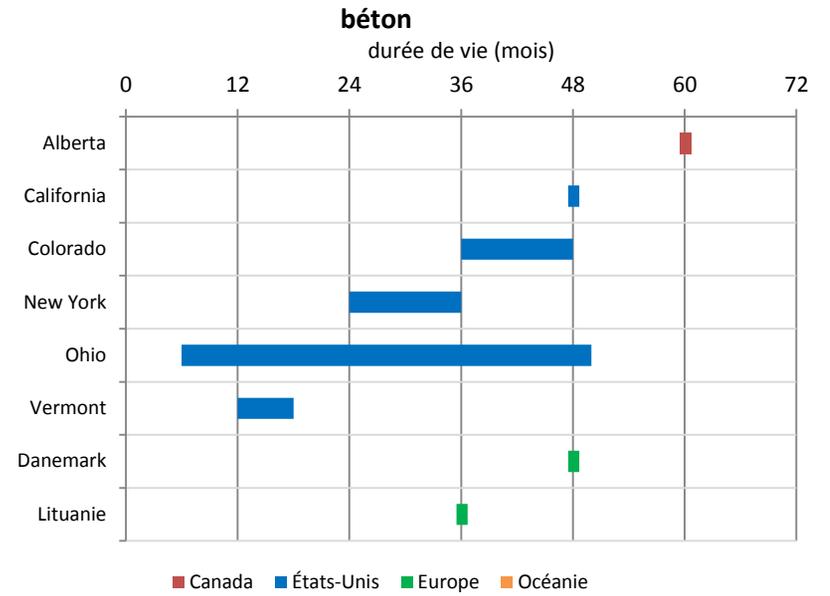
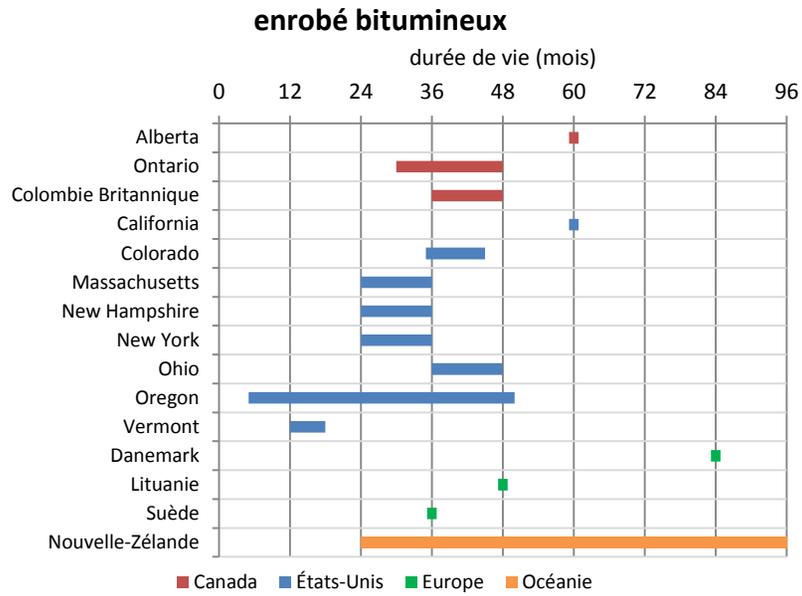


Figure 27 - durée de vie du thermoplastique installé à chaud

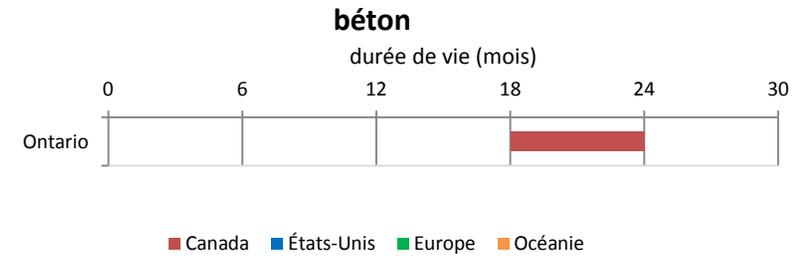
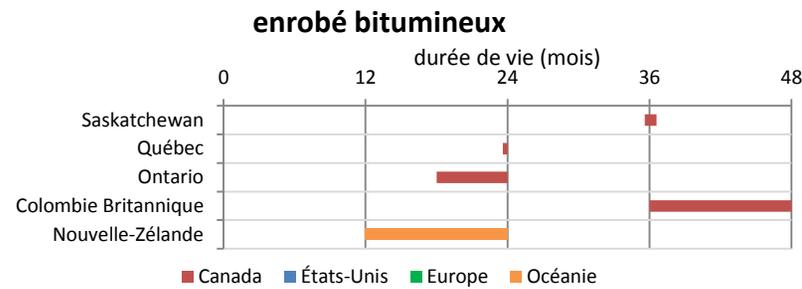


Figure 28 - durée de vie du MMA projeté

Question 7 : Quelle est la durée de vie moyenne de ces produits en fonction du type de route indiqué?

Les réponses à cette question sont très similaires à celles de la question 6. En effet, plusieurs agences ont retranscrit les mêmes durées de vie qu'à la question 6. Dans certains cas, l'intervalle des résultats est réparti selon la quantité de circulation. Les autoroutes ont la limite inférieure de la durée de vie énoncée à la question 6 et les routes collectrices la limite supérieure. Le détail des résultats de cette question est présenté en annexe.

Question 8 : Le marquage est-il remplacé selon un cycle fixe? Si oui, quel est-il?

Un peu plus de la moitié des agences, soit 22 au total, remplacent leur marquage selon un cycle fixe. Les autres agences le remplacent au besoin, quand il devient déficient. Plusieurs agences (Nebraska, Oregon, Washington, Virginie Occidentale, Wyoming, Alberta, Ontario, Terre-Neuve et Labrador et Colombie-Britannique) ont un cycle de remplacement fixe, peu importe le type de marquage. La plupart des agences remplacent leur marquage chaque année, parfois plus souvent en fonction de l'achalandage de la route. Par contre, certaines agences ont spécifié des cycles prédéterminés spécifiques à certains matériaux. Ils sont donc présentés ci-dessous :

- Peinture à base d'eau : en général, elle est remplacée de façon annuelle, ou même bisannuelle sur les routes plus achalandées. Certains états la remplacent moins souvent (l'Ohio et l'Utah la remplacent aux 12 à 18 mois et l'Oregon la remplace aux 12 à 24 mois).
- Époxy : l'État de New York remplace l'époxy selon un cycle fixe de deux à trois ans.
- Polyurea : le Michigan le remplace tous les trois à cinq ans.
- Thermoplastique préfabriqué : remplacé chaque deux à trois ans dans l'État de New York.
- Thermoplastique projeté : remplacé en moyenne aux deux à trois ans dans l'État de New York. Le Michigan le remplace chaque année.
- Thermoplastique installé à chaud : remplacé en moyenne aux trois ans.
- Polyester : remplacé aux deux à trois ans.
- Bandes préfabriquées : New York les remplace chaque deux à trois ans, l'Ohio aux trois à quatre ans alors que le Michigan ne les remplace qu'aux cinq ans.

Question 9 : Est-ce que votre agence inspecte la rétroréflexion du marquage?

Vingt-trois des 36 agences qui ont répondu à cette question inspectent leur la rétroréflexion de leurs marquages. Le Tableau 11 présente un résumé des méthodes utilisées.

Tableau 11 - Méthodes d'inspection de rétroréflexion utilisées

Inspection visuelle	Mesure avec appareil	Inspection visuelle et mesure	Méthode non spécifiée
Californie (à l'application) Connecticut (à l'application) Danemark (en continu) Missouri New York (à l'application) Ohio Ontario Oregon Virginie Wisconsin (en continu)	Alberta (à l'application) Iowa Islande Minnesota (au besoin) Nouvelle-Écosse Nouvelle-Zélande Saskatchewan (en continu) Suède (à l'application) Wyoming Québec	Colorado Montana (au besoin) Virginie Occidentale	Alaska Dakota du Nord Wyoming (en continu)

Question 10 : Est-ce que votre agence utilise un rétroréfectomètre? Si oui, quel modèle?

La plupart des agences utilisent un appareil pour effectuer leurs mesures. En effet seulement l'Illinois, l'Alaska et Terre-Neuve-et-Labrador n'en utilisent pas. Voici un résumé des appareils utilisés :

Tableau 12 - Appareils de mesure utilisés

Delta LTL 2000	Delta LTL-X	Laserlux Mobile	Microlux-30	Non spécifié	Ecodyn	autre
Californie Connecticut Iowa Minnesota New Hampshire New York North Dakota Nouvelle-Écosse Ohio Virginie Virginie Occidentale Vermont Wisconsin	Colorado Danemark Iowa Islande (LTL-XL) Ohio Ontario Saskatchewan Minnesota Suède Washington Québec	Iowa Michigan Minnesota Missouri Ohio Utah Virginie Occidentale	Montana Nebraska Oregon Wyoming Alberta	Colombie-Britannique Massachusetts Michigan Nouvelle-Zélande Oregon	Danemark Suède Québec	Lituanie Missouri Utah

Question 11 : Est-ce que votre agence a une norme pour le taux de rétroréflexion du marquage? Si oui, quelle est-elle?

Vingt-quatre des 36 agences ont une norme de rétroréflexion. La Figure 29 illustre les résultats en fonction de la couleur du marquage. Certaines agences ont plusieurs valeurs admissibles, en fonction du type de route ou du produit appliqué par exemple. Le détail de ces intervalles est donné en annexe. On peut noter qu'un grand nombre d'états américains ont des normes inférieures aux normes proposées par la FHWA. Ceci peut être en partie expliqué par le fait que certaines réponses ont été collectées en 2008.

PROBLÉMATIQUE DE RÉTRORÉFLEXION

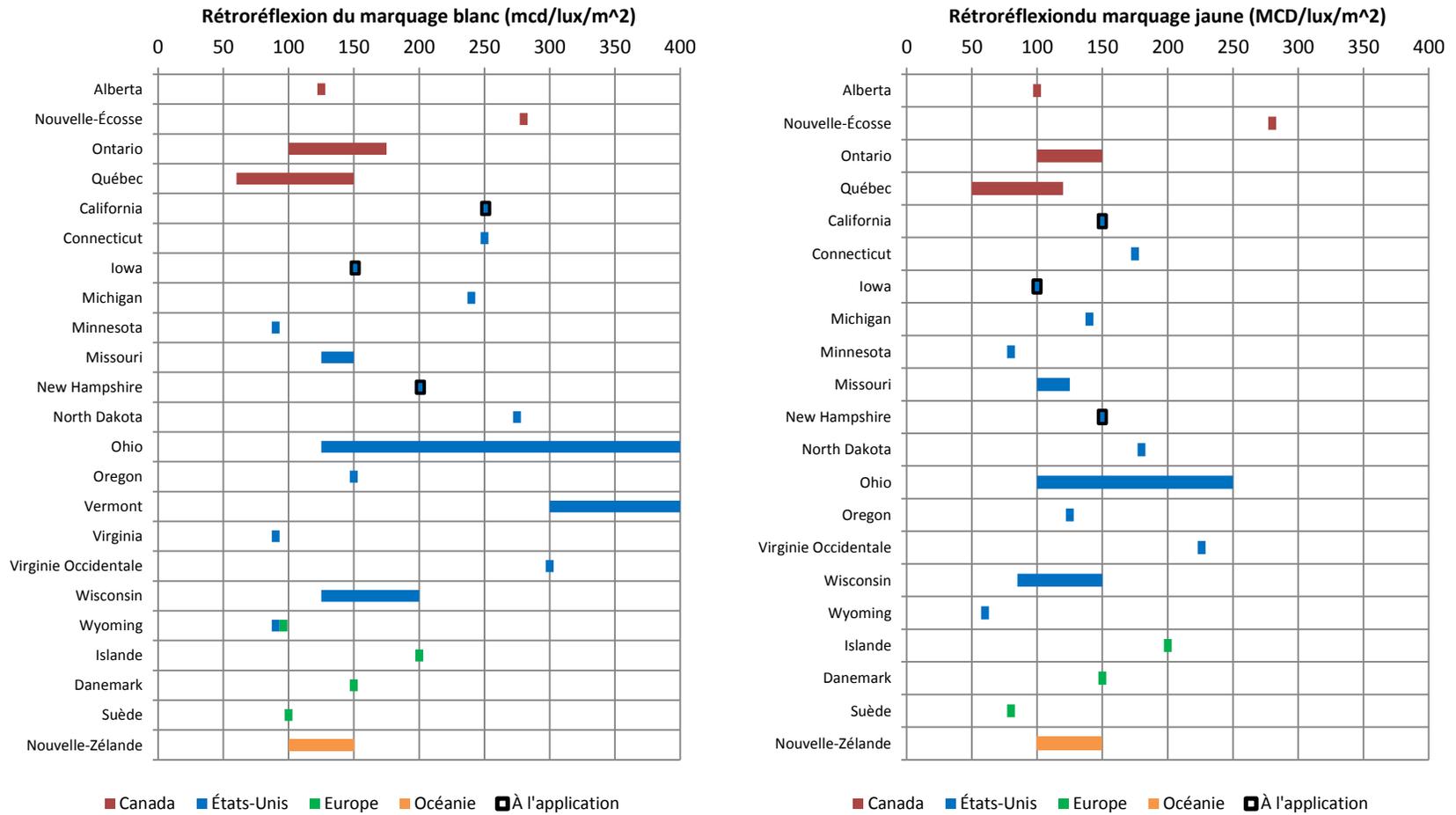


Figure 29 - normes de rétroreflexion en temps sec

Question 12 : Est-ce que votre agence a une norme pour le taux de rétroréflexion du marquage en conditions mouillées? Si oui, quelle est-elle?

La Saskatchewan et la Colombie-Britannique n'ont pas répondu à cette question. Vingt-sept agences n'ont pas de normes de rétroréflexion en cas de pluie. Le Connecticut et l'Alberta utilisent les mêmes normes en temps sec ou humide. Les normes des autres agences sont les suivantes :

- Virginie : 200 mcd /lux/m² (marquage blanc) et 100 mcd /lux/m² (marquage jaune)
- Virginie Occidentale : 100 mcd /lux/m² en tout temps, 200 mcd /lux/m² une fois la pluie terminée (marquage blanc) et 75 mcd /lux/m² en continu, 150 mcd /lux/m² une fois la pluie terminée (marquage jaune)
- Nouvelle-Zélande : 80 mcd /lux/m² en tout temps
- Suède : 35 mcd /lux/m² en tout temps

Question 13 : Quels sont vos critères météorologiques pour l'application de marquage?

Les températures minimales d'application varient entre -12°C (Nouvelle-Écosse) et 10°C. Certaines agences ont des limites de températures en fonction du matériel appliqué. Plusieurs agences mentionnent que la chaussée doit être sèche pour que le marquage soit appliqué. La Suède et le Danemark ont une procédure particulière qui diffère des autres agences en temps froid. En effet, si la chaussée est trop froide, elle sera chauffée avant l'application du marquage. La Colombie-Britannique n'a pas répondu à cette question.

Question 14 : Si du marquage devait être appliqué en conditions froides (<10°C), quel produit utiliseriez-vous?

Cinq agences n'ont pas répondu à cette question. Le Colorado, le Connecticut, le New Hampshire et le Washington ont répondu qu'ils n'appliqueraient pas de marquage dans ces conditions. La Colombie-Britannique a répondu que normalement elle n'appliquerait pas de marquage dans des températures aussi froides, mais que certains entrepreneurs utilisent des peintures à base de solvant spécifiques aux conditions froides. Plusieurs agences (Alberta, Nouvelle-Écosse, Ontario, Terre-Neuve-et-Labrador, Ohio, Vermont, Saskatchewan, Wisconsin, Missouri, Utah, Iowa et Québec) utilisent alors du marquage spécifique aux conditions froides ou du marquage à base de solvant. L'Alaska et le Minnesota utilisent des délinéateurs ou du marquage temporaire. L'Oregon utilise du thermoplastique chaud, la Virginie du polyurea. En plus du marquage spécifique pour les conditions froides, l'Ontario utilise aussi du MMA. Le Wyoming et la Lituanie n'utilisent pas de produits spécifiques aux conditions froides. La Suède et le Danemark utilisent aussi les mêmes produits en chauffant la chaussée avant d'appliquer le marquage.

Question 15 : est-ce que vous utilisez des produits ou procédures particuliers pour assurer la visibilité en cas de pluie?

Certaines agences n'utilisent pas de produits particuliers. Elles sont : l'Iowa, le Danemark, l'Islande, la Saskatchewan, la Lituanie, l'Ontario, la Nouvelle-

Écosse, le Wyoming, New Hampshire et l'Illinois. La Colombie-Britannique utilise seulement des produits qui satisfont ses standards de rétroréflexion. Les autres agences ont plusieurs méthodes différentes.

- Mélanges d'enrobé bitumineux plus ouverts : Californie
- Délinéateurs : Connecticut, Massachusetts, Oregon, Ohio
- Produits conçus pour la pluie (3M reflective tape, Rainline, Pathfinder, etc.) : Michigan, Minnesota, Oregon, Virginie, Vermont, Saskatchewan
- Produits texturés : Ontario, Suède
- Marquage sur bande rugueuse : Michigan, Minnesota, Dakota du Nord, Washington, Alberta, Ontario
- Billes particulières (Visibeads...) : Nebraska, New York, Dakota du Nord, Terre-Neuve-et-Labrador, Nouvelle-Zélande, Saskatchewan, Wisconsin, Missouri, Utah, **Québec**
- Marquage incrusté : Ontario, Saskatchewan, Wisconsin, Missouri, **Québec**

Seconde partie

Question 16 : Quels critères prenez-vous en considération au moment de choisir le type de produit de marquage à appliquer?

La Saskatchewan et la Colombie-Britannique n'ont pas répondu à cette question. Les autres réponses, ainsi que celle du Québec sont présentées dans le Tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13 - Critères de sélection de marquage

Facteurs	Emplacement de la ligne	Débit de circulation	Vitesse	Type de route	Type et état de la surface	Nombre de voies	Entretien hivernal	Autre
Oui	18	21	8	20	20	10	14	2
Non	6	3	16	4	4	14	10	22
Québec	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non	inspection visuelle

On observe dans ces résultats que le facteur le plus souvent pris en considération est le débit de circulation, suivi de près par le type de surface et le type de route. La plupart des agences n'utilisent pas d'autres critères de décision que ceux présentés dans le tableau, les seules exceptions étant l'Oregon et le Michigan. L'Oregon prend aussi en considération l'historique d'accidents, les endroits problématiques pour la visibilité et la situation politique de l'endroit. Le Michigan utilise comme autre facteur de décision le fait que la route soit située en milieu urbain ou rural. Le Québec utilise les quatre critères de choix les plus cités par les autres agences, ainsi que l'inspection visuelle.

Question 17 : Avez-vous observé des problèmes de diminution de la durabilité du marquage ou de la rétroréflexion dans la dernière décennie? Si oui, veuillez décrire en détail les problèmes observés ainsi que les solutions mises en place.

Le New Jersey, l'Utah et l'Iowa n'ont pas répondu à cette question. Pour les 22 agences restantes, treize affirment avoir observé des problèmes d'usure prématurée de leur marquage. Parmi celles-ci, neuf affirment que le principal facteur qui cause la dégradation du marquage est le déneigement. Le Vermont a observé aussi que le changement des peintures à base de solvant aux peintures à base d'eau a aussi eu un impact sur la durabilité du marquage. L'Oregon affirme avoir observé une dégradation prématurée de son marquage depuis que des marquages sans plomb sont utilisés. La Saskatchewan affirme avoir observé une dégradation prématurée si le marquage n'est pas appliqué correctement. La Nouvelle-Zélande n'a pas donné de détails sur les causes de la perte de durabilité.

Question 18 : Est-ce qu'il y a eu un changement de la composition granulométrique des routes en enrobé bitumineux dans la dernière décennie? Si oui, quel était ce changement et a-t-il eu un impact sur la durabilité du marquage?

À cette question, La Colombie-Britannique, l'Iowa, la Nouvelle-Zélande et le Nebraska n'ont pas répondu. Treize des 22 répondants affirment avoir modifié la granulométrie de leurs mélanges d'enrobés bitumineux. Par contre, sept agences affirment que ce changement n'a pas eu d'impact sur la durabilité du marquage.

En Illinois, une granulométrie plus grosse est maintenant utilisée. Depuis ce changement, les couches plus épaisses de marquages doivent être utilisées. De plus, le polyurea adhère moins bien à ce type de surface.

L'Oregon a aussi commencé à utiliser des mélanges avec une granulométrie plus grosse. Depuis, ils ont observé qu'il est nécessaire d'appliquer de plus grandes quantités de marquage. Par contre, ils ont aussi remarqué que les billes de verres ont tendances à s'incruster dans les ouvertures du pavage, ce qui augmente la durée de vie de la rétroréflexion.

En Saskatchewan, certains enrobés bitumineux contiennent maintenant un certain pourcentage de caoutchouc. L'impact de ce changement est une perte de la rétroréflexion lors de la première saison, mais une augmentation de la rétroréflexion lors de la seconde.

Le Massachusetts utilise maintenant des mélanges avec une granulométrie plus grosse. Par contre, ils ont observé que les thermoplastiques ne sont pas compatibles avec ce type de pavage. En effet, au moment d'une seconde application de marquage, la durabilité de cette nouvelle couche est grandement réduite puisque les chasse-neiges l'arrachent très facilement.

L'État de New York a aussi commencé à utiliser des mélanges avec une granulométrie plus grosse. Depuis ce temps, le marquage a perdu beaucoup de durabilité, surtout au moment de déneiger la chaussée. La rétroréflexion est souvent la première caractéristique du marquage à en souffrir.

Question 19 : Quel type de billes utilisez-vous pour assurer la rétroréflexion et quel type de traitement utilisez-vous? Quelle est la procédure d'application des billes dans le marquage?

Plusieurs agences n'ont pas répondu à cette question. Parmi les 14 qui ont répondu, le type de billes 1 est de loin le plus fréquent. En effet, seul l'Iowa utilise des billes de type 2 en plus des billes de type 1. L'Illinois utilise un autre système de classification de billes, il a alors été impossible de déterminer l'équivalence des billes utilisées.

En ce qui concerne les types de traitement de billes, les résultats sont résumés dans le Tableau 14. Le Nebraska n'avait pas de réponse disponible pour le traitement de débit, ce qui explique un total plus faible pour ce traitement.

Tableau 14 - Traitements des billes de verres utilisés

Traitement	Flottation	Débit	Résistance à l'humidité	Adhérence
oui	2	3	12	8
non	11	10	2	6
parfois	1	0	0	0
Québec	non	non	oui	oui

On peut voir que le traitement le plus utilisé est celui pour assurer une résistance à l'humidité, suivi de celui pour assurer l'adhérence des billes de verres.

Les deux méthodes d'applications de billes de verres les plus utilisées sont l'application par pression (8 agences) et l'application par gravité (7 agences). Quatre agences utilisent les deux méthodes, selon le matériel et d'autres facteurs. Le Massachusetts est le seul état à utiliser une autre méthode, soit l'application double. Six agences n'ont pas répondu à cette question.

Ces résultats ne permettent pas d'établir de lien entre le type de billes, leurs caractéristiques ou la méthode d'application, et la rétroréflexion.

Question 20 : Veuillez décrire à l'aide de la table suivante les techniques de déneigement utilisé, ainsi que leurs critères d'application et la quantité utilisée annuellement. De quels matériels sont faits les versoirs des chasse-neiges?

La Saskatchewan, la Colombie-Britannique et le Wisconsin n'ont pas répondu à cette question. Parmi les 23 agences restantes, toutes utilisent du sel déglacant. Les agences n'ont pas toutes spécifié le type de déglacant utilisé, mais le matériel le plus utilisé est de loin le sel (NaCl), utilisé sous forme liquide ou solide. Les autres produits utilisés sont le CaCl, MgCl, Apex,

Geomelt et le jus de betterave. Les critères d'applications varient d'une agence à l'autre. Dans certains cas, comme en Illinois, 98 % du déneigement est effectué avec des sels déglaçant, alors que d'autres agences ne l'utilisent que sur les autoroutes. Plusieurs agences n'ont pas pu fournir la quantité utilisée annuellement. Les réponses sont détaillées en annexe.

Dix-neuf des 23 agences ayant répondu utilisent des abrasifs en période hivernale. L'Illinois, le New Jersey, le Connecticut et le Danemark n'en utilisent pas. Les produits utilisés sont surtout du sable et du gravier, mais certaines agences utilisent des cendres et d'autres types d'abrasifs. En ce qui concerne les critères d'application, ceux-ci varient d'une agence à l'autre. Au Michigan par exemple, les abrasifs sont utilisés seulement lorsque la température descend sous -9°C (15°F). Au Wyoming, les abrasifs sont utilisés quand les souffleuses déneigent la chaussée. Les quantités utilisées varient de 50 tonnes (Lituanie) à 420 000 tonnes (Alberta). Le détail des réponses est disponible en annexe.

Toutes les agences qui ont répondu à cette question déneigent leurs chaussées à l'aide de chasse-neiges. Les critères de mise en service des chasse-neiges varient énormément, allant du très vague (s'il y a de la neige) au plus précis (documents détaillés expliquant les méthodes de déneigement employées en fonction de plusieurs critères). Seule l'Alberta a une réponse précise sur la quantité de déneigement effectuée par les chasse-neiges, soit 3 000 000 km-voie.

Les versoirs des chasse-neiges peuvent être composés de plusieurs matériaux. Les versoirs en carbones sont les plus courants, puisque douze agences les utilisent. Les versoirs en acier sont quant à eux utilisés par huit agences. Finalement, cinq agences utilisent aussi des versoirs en caoutchouc. La plupart des agences utilisent plus d'un type de versoir.

Question 21 : Avez-vous identifié des méthodes qui permettraient d'empêcher ou de réduire la dégradation du marquage due aux pratiques hivernales?

La Saskatchewan et la Colombie-Britannique n'ont pas répondu à cette question. Parmi les répondants, 18 disent avoir identifié des méthodes. La solution la plus commune est le marquage incrusté. En effet, 16 des 18 répondants affirment que cette méthode a prolongé la durée de vie de leur marquage. L'Alberta et l'Iowa ont aussi apporté des modifications aux types de versoirs de chasse-neiges, afin que ceux-ci soient plus flexibles. La Nouvelle-Zélande effectue des tests avec un nouveau type de MMA, le Polyméthyl méthacrylate PMMA structuré, qui semble prometteur. L'Ohio utilise plutôt des délinéateurs surélevés, mais ces mêmes délinéateurs n'ont pas été satisfaisants dans le cas du Wyoming et du Dakota du Nord.

Analyse du coût moyen annuel

À l'aide des données recueillies à la question 1 et 6, il est possible d'estimer une moyenne grossière des coûts moyens annuels de chaque produit de marquage. Il faut se rappeler qu'il s'agit de valeurs moyennes qui reposent sur

des estimations rapportées indépendamment par chaque agence avec des contextes différents en termes de climat, procédés d'application, etc. Ces valeurs rapportées dans le Tableau 15 permettent néanmoins de comparer les produits et leur performance moyenne.

Tableau 15 - Coût moyen d'application par année

Produit	Durée de vie moyenne sur une chaussée en enrobée bitumineux (mois)	Coût moyen d'application (\$/m)	Coût moyen d'application par année (\$/(m*année))
Peinture à base d'eau	12 (Qc : 8)	0.19 (Qc : 0.27)	0.2 (Qc : 0.4)
Peinture à base de solvant	9.3 (Qc : 9)	0.38 (Qc : 0.25)	0.5 (Qc : 0.3)
Époxy	31.4 (Qc :36)	0.28 (Qc : 1.38)	0.1 (Qc :0.46)
Polyurea	42.6	0.5	0.1
Polyester	25.5	0.18	0.1
Thermoplastique préformé	41.1	0.86	0.3
Thermoplastique projeté	29.2	0.37	0.2
Thermoplastique chaud	42.9	2.90	0.8
Bandes préfabriquées	49.9 (Qc : 66)	10.42 (Qc : 20)	2.5 (Qc : 3.6)
MMA projeté	29.3 (Qc : 24)	2.49 (Qc : 7)	1.0 (Qc : 3.5)
MMA manuel	63 (Qc : 48)	4.18 (Qc : 15)	0.8 (Qc : 3.8)

On peut voir dans ce tableau que même si certains produits comme le thermoplastique sont plus chers à l'application, une fois sa durée de vie prise en compte, leur coût devient comparable à celui de la peinture. Les produits les plus avantageux en tenant compte de la durée de vie semblent être la peinture à base d'eau, l'époxy, le polyurea, le polyester et le thermoplastique préformé ou projeté. Les valeurs du MMA semblent plus élevées au Québec, mais il est possible que ces valeurs tirées d'un petit échantillon ne soient pas représentatives.

Conclusion de l'enquête

Suite à ce sondage, il semble que les problèmes de durabilité et de rétroréflexion du marquage soient récurrents dans les différentes juridictions interrogées. Le Québec se démarque par le coût d'application de l'époxy et l'usage limité de produits connus pour leur bonne performance dans les régions froides. La rétroréflexion semble être une notion encore relativement nouvelle, puisque certaines agences ne l'évaluent pas.

Certains produits ont une durée de vie plus grande, comme le MMA, mais ces produits sont aussi plus chers que le marquage à base de peinture. Il faut alors décider si l'on souhaite utiliser un produit moins cher et refaire le marquage

souvent, ou un produit plus cher, mais avoir un marquage plus performant. Si on prend en compte les coûts d'application en fonction de la durée de vie moyenne, les produits les plus avantageux semblent être la peinture à base d'eau, l'époxy, le polyurea, le polyester et le thermoplastique préformé ou projeté. Il reste à voir maintenant si ces produits obtiendront des résultats similaires au Québec.

L'information recueillie sur les pratiques hivernales est très morcelée. En effet, il semble y avoir très peu d'information disponible sur la quantité d'abrasifs ou de déglaçant utilisés. En ce qui concerne le nombre de passages de déneigeuses, cette information ne semble pas disponible du tout.

Certaines agences semblent avoir identifié des façons d'augmenter la durabilité de leur marquage. La méthode la plus courante est d'incruster le marquage dans la chaussée. De plus, certaines agences utilisent des versoirs de chasse-neige plus souples afin de moins endommager le marquage.

CONCLUSION

Ce rapport montre que beaucoup d'études se sont penchées sur la durabilité et la perte de rétroréflexion du marquage routier. Ceci est dû en partie aux nouveaux seuils minimaux de rétroréflexion proposés par la FHWA sur certaines routes.

La première partie de ce projet a consisté en une revue de littérature qui a recensé les causes connues des problèmes de durabilité et de rétroréflexion, ainsi que les solutions. Ces causes peuvent être regroupées en trois catégories : la chaussée, la circulation et l'environnement. Parmi les facteurs environnementaux, on retrouve en particulier les opérations de maintenance hivernale qui sont souvent identifiées comme un facteur majeur de pertes de rétroréflexion.

Il existe de nombreux produits de marquage sur le marché. Le choix d'un produit de marquage aura un effet direct sur l'évolution de la rétroréflexion. Par exemple, la peinture à base d'eau est peu coûteuse, mais il s'agit aussi du produit ayant la plus faible durée de vie. En plus de la peinture à base d'eau, le MTQ utilise aussi de l'époxy dont la durée de vie en termes de rétroréflexion s'est dégradée dans les dernières années, ce qui est confirmé dans la littérature. En effet, si la durée de vie de l'époxy a été évaluée à deux à trois ans, par exemple par le MTQ lors de tests initiaux dans les années 1990, les études sur le terrain s'accordent sur l'observation que cette durée de vie est rarement atteinte. Cependant, le coût abordable de l'époxy rend ce produit attractif dans certains cas.

Dans les régions froides qui impliquent de nombreuses opérations de maintenance hivernale, les produits les plus souvent recommandés sont les MMA et les thermoplastiques, qui sont aussi beaucoup plus coûteux que la peinture à base d'eau ou l'époxy. Il faut alors tenir compte du coût d'application et de la durée de vie afin de trouver le bon compromis entre un produit peu cher et peu durable, qui doit donc être appliqué plus fréquemment, parfois plusieurs fois par an, et un produit plus cher, plus performant et durable. Un autre angle d'évaluation est l'impact environnemental des différents produits et en particulier des moins durables dont des quantités importantes risquent d'être dispersées dans l'environnement : des travaux et des efforts ont été faits sur ce sujet au Québec, mais aucune étude n'a été trouvée sur le sujet dans la littérature.

Des méthodes ont aussi été identifiées afin d'améliorer la durabilité et la rétroréflexion. La méthode la plus couramment utilisée est d'incruster le marquage dans la chaussée de quelques millimètres. Le marquage est ainsi protégé des versoirs des chasse-neiges. Il est aussi possible d'ajouter des délinéateurs (RRPM ou SRPM) afin d'assurer la rétroréflexion même quand le marquage devient déficient. Finalement, certaines agences utilisent maintenant des versoirs en uréthane ou en caoutchouc, qui se sont avérés moins dommageables pour le marquage que les versoirs classiques en carbone ou en acier. De plus, certaines agences ont ajouté des roues à leurs

versoirs afin d'appliquer moins de force sur le marquage au moment de déneiger la chaussée.

La seconde partie de ce travail a consisté en une enquête auprès des agences responsables de la signalisation routière ayant des climats similaires à celui du Québec. Les réponses confirment que les problèmes de durabilité et de rétroréflexion sont courants dans toutes les juridictions et en particulier dans les régions froides. Si les pratiques québécoises sont dans l'ensemble similaires à celles des agences qui ont répondu, y compris pour les durées de vie des différents produits, deux éléments ressortent : le coût relativement élevé de l'époxy et l'usage limité de produits connus pour leur bonne performance dans les climats froids.

L'enquête indique que le produit avec la meilleure durée de vie est le MMA, mais que ce sont les produits suivants qui ont un meilleur rapport coût – durée de vie : la peinture à base d'eau, l'époxy, le polyurea, le polyester et le thermoplastique préformé ou projeté.

Comme le MTQ, une majorité des agences ayant répondu ont constaté une diminution de la durabilité ou de la rétroréflexion du marquage dans la dernière décennie, attribuée au déneigement, ainsi qu'aux changements de compositions de certains produits (en particulier les peintures alkydes). Quelques états américains ont constaté un lien avec l'augmentation de la taille des agrégats utilisés pour la chaussée qui peut demander une application plus épaisse de marquage.

Les informations détaillées sur les pratiques hivernales sont difficiles à obtenir et les réponses obtenues ne contiennent pas de surprises. Les solutions mises en œuvre sont les mêmes que celles identifiées dans la littérature, en premier lieu l'incrustation des marquages, ainsi que l'utilisation de versoirs plus souples en caoutchouc.

Nos recommandations pour le Québec sont donc d'évaluer les solutions les plus prometteuses pour améliorer la durabilité et la rétroréflexion du marquage dans les régions froides :

- faire des bancs d'essai avec les produits plus performants comme le MMA, le polyurea, le polyester et le thermoplastique
- tester systématiquement l'incrustation de ces produits (dans des rainures ou sur des bandes rugueuses) en plus de leur installation typique à la surface de la route
- tester de nouveaux matériaux pour les versoirs des déneigeuses (uréthane, caoutchouc)
- tester des délinéateurs réfléchissants résistants au déneigement, en conjonction avec les nouveaux matériaux pour les versoirs

Perspectives

Les perspectives de ce travail sont nombreuses. Une suite de l'étude devrait s'appuyer plus largement sur les bases de données disponibles en particulier

aux États-Unis (NTPEP, Iowa) pour éviter les problèmes de subjectivité des réponses des participants. Un projet avec le MTQ est justement prévu pour analyser les bases de données sur l'état du marquage et les différents facteurs qui affectent la durabilité et la rétroréflexion. Cela suit la tendance internationale à constituer des systèmes d'information intégrés de gestion des infrastructures routières incluant la signalisation. Ce type d'information permet d'effectuer des études spatiales des problèmes et de leurs causes potentielles (Smadi et Hawkins 2012). De nouvelles techniques, en particulier de traitement d'image, participent à cette évolution et permettent une meilleure évaluation, objective, de l'état du marquage et l'investigation des causes de dégradation.

RÉFÉRENCES

AGENT, K. R. et E. R GREEN. « Evaluation of the Use of Snowplowable Raised Pavement Markers », Kentucky Transportation Center, University of Kentucky in cooperation with Kentucky Transportation Cabinet, Commonwealth of Kentucky, 2009. 24 p.

BAASS, K. « Cours Intensif : Introduction », préparé pour le ministère des Transports du Québec, 2006. 9 p.

BAASS, K. « Cours Intensif : Uniformité de la signalisation », préparé pour le ministère des Transports du Québec, 2011. 113 p.

BAHAR, G., M. MASLIAH, T. ERWIN, E. TAN et E. HAUER. « Pavement marking materials and markers: real-world relationship between retroreflectivity and safety over time », National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, 2006, 206 p.

CARLSON, P. et, J MILES. « Nighttime Visibility of In-Service Pavement Markings, Pavement Markers, and Guardrail Delineation in Alaska (with and without Continuous Lighting) », Texas Transportation Institute. Texas A&M University, 2011. 32 p.

COTTRELL, B. H. « Investigation of the Impact of Snow Removal Activities on Pavement Markings in Virginia », Virginia Transportation Research Council in cooperation with the U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1995. 32 p.

COTTRELL, B. H. et R. A. HANSON. « Determining the Effectiveness of Pavement Marking Materials », Virginia Transportation Research Council, VTRC 01-R9, Charlottesville, Virginia, février 2001. 31 p.

CUELHO, E., J. STEPHENS, et C. MCDONALD. « A Review of the Performance and Costs of Contemporary Pavement Marking Systems », Montana state university, report no. FHWA/MT -03-001/8117-17, 2003. 31 p.

DONNELL, E.T., D. LEE, S. SATHYNARAYANAN et B.P. STODART. « Methods to Maintain Pavement Marking Retroreflectivity: Vo. III: Safety Enhancements for Curves: Findings from a Nighttime Driving Experiment », Pennsylvania Transportation Institute, Pennsylvania State University, 2006, 169 p.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). « Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways », U.S Department of Transportation, 2010. 864 p.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). *Nighttime Visibility*, [En ligne]. [http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/night_visib/] (juillet 2011)

LE FLAMBEAU DE L'EST, La Ville de Montréal se prépare à affronter l'hiver, 8 décembre 2011 [<http://www.flambeaudelest.com/Actualites/Vos-nouvelles/2011-12-08/article-2828919/La-Ville-de-Montreal-se-prepare-a-affronter-l-hiver/>]

GARVEY, P.M., S.J. DASMIN et M.T. PIETUCHA. « Pavement Makings State-of-the-Practice Study », Pennsylvania Transportation Institute, Pennsylvania State University, 2008, 51 p.

GATES, T. J., H. G. HAWKINS et E. R. ROSE. « Effective Pavement Marking Materials and Applications for Portland cement Concrete Roadways », Texas Transportation Institute, Project No. 0-4150, report No.FHWA/TX-03/4150-2, 2003. 65 p.

GIBBONS, R.B. et B.M. WILLIAMS. « The Refinement of Drivers' Visibility Needs During Wet Night Conditions: Wet Visibility Project Phase III », VirginiaTech Transportation Institute, Blacksburg, Virginia, 2011. 66 p.

HIRASAWA, M., S. KASA, A. TAKEMOTO et H. AITA. «Development of Recessed Pavement Markings That Incorporate Rumble Strips », Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, volume 8, 2010, 16 p.

JIANG, Y. « Durability and Retro-Reflectivity of Pavement Markings », Joint Transportation Research Program: Purdue University, FHWA/IN/JTRP-2007/11, 2008. 64 p.

JORDAN, J. « Exclusive : Road Safety Backfires, State Set To Pay \$1.5 Million », Nebraska Watchdog, 25 février 2011 [En Ligne]. [<http://nebraska.watchdog.org/3801/exclusive-road-safety-backfires-state-set-to-pay-1-5-million/>] (31 janvier 2011)

KANSAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. « Pavement Marking Policy », Topeka, Kansas, États-Unis, 2002. 23 p.

LEE, K.W., S. CARDI, et S. CORRIGAN. « Implementation and Evaluation of Traffic Marking Recesses for The Application of Thermoplastic Pavement Markings on Modified Open Graded Friction Course », Department of Civil and Environmental Engineering, University of Rhode Island, 1999. 195 p.

LU, J. J. « Performance of Traffic Marking in Cold Regions », Alaska Department of Transportation and Public Facilities, Fairbanks, 1995. 91 p.

LYNDE, M. G. « Evaluation of Inlaid Durable Pavement Markings In An Oregon Snow Zone », Oregon Department of Transportation, Research Unit and Federal Highway Administration, 2006. 63 p.

MAURER, G., et S. BEMANLAN. « Advancing durable pavement markings materials in Nevada », Nevada Department of Transportation, 2005. 160p.

MIGLETZ, J., J., D. H. GRAHAM, and K. BAUER. « Service Life of Durable Pavement Markings ». *Transportation Research Record*, volume 1749, 2001. p. 13-21.

MIGLETZ, J. et J. GRAHAM. *Long-Term Pavement Marking Practices: A Synthesis of Highway Practice*, NCHRP Synthesis 306 Project 20-5, Topic 31-07, Transportation Research Board, Washington, États-Unis, 2002. 155 p.

MITKEY, S.R., T. M. BRENNAN JR., S. M. REMIAS, A. D. DAVIS, G. GRIMMER, A. M. HAINEN, R. MORRIS et P. MICHAEL. « Retroreflectivity Durability Comparison of Rumble Stripes vs. Painted Line », *Transportation Research Board Annual Meeting 2012 Compendium*, paper number 12-0616, 2011. 26 p.

MONTEBELLO, D. et J. Schroeder. « Cost of Pavement Marking Materials : Final Report ». *Minnesota Local Road Research Board*, St Paul, Minnesota, 2000. 47 p.

MONFETTE, M.L. « Impact of Snow Removal Operations On Thermoplastic Pavement Markings », Thesis presented to Faculty Department of Systems and Engineering Management. Graduate School of Engineering and Management. Air Force Institute of Technology, Air University, Ohio, 2011. 82 p.

MULL, D.M. « Paint Pavement Marking Performance Prediction Model That Includes The Impacts of Snow Removal Operations », Thesis presented to the Faculty Department of Systems and Engineering Management. Graduate School of Engineering and Management. Air Force Institute of Technology, Air University, Ohio, 2011. 68 p.

NTPEP. *Pavement Marking (PMM)*, [En ligne]. [<http://www.ntpep.org/Pages/PMM.aspx>] (9 mai 2011)

OUTCALT, W. « Recessed Striping In Concrete Pavement », *Colorado Department of Transportation Research Branch*, 2004. 15 p.

PIGMAN, J. G., K. R. AGENT et R. L. RIZENBERGS. « Evaluation of Raised Pavement Markers in Kentucky: Statewide Installations; 1975-1979 », Report UKTRP-81-8, *Kentucky Transportation Research Program*, University of Kentucky. 1981. 39 p.

POTTERS EUROPE. *The benefits of Road Safety Markings*. [en ligne]. [<http://www.potterseurope.org/documents/highways/benefitsofRSM-english.pdf>]. 2007. 2 p.

RICH, M. J., R. E. MAKI et J. MORENA. « Development of a pavement marking management system », *Transportation Research Record*, volume 1794, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., États-Unis 2002. p. 49–54.

RUMAR, K. et MARSH, D. K. « Lane Marking in Night Driving : a Review of Past Research and of the Present Situation », University of Michigan, 1998. 91 p.

ROOSEVELT, D. S. « Evaluation of Urethane Snow Plow Blades as an Alternative to Rubber Blades », Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, Virginia. 1995. 25 p.

SADID, H., R.M. WABREK et S. DONGARE. « Materials acceptance risk analysis: Pavement Markings », Idaho Transportation Department, 2010. 51 p.

SHAHATA, K., H. FARES, T. ZAYED, M. ABDELRAHMAN, S. RAHMAN, et H. A-BARQAWI. « Practices of sustainable pavement marking in Canada ». *Transportation Research Board 87th annual meeting compendium of Papers*. Washington, D.C., États-Unis, 2007a. 16p.

SHAHATA, K., H. FARES, T. ZAYED, M. ABDELRAHMAN et F. CHUGHTAI. « Condition rating models for sustainable pavement marking ». *Transportation Research Board 87th annual meeting compendium of Papers*. Washington, D.C., États-Unis, 2007b. 17p.

SMADI, O. et N. HAWKINS. « Tools and Processes for Pavement Markings and Sign Inventory », présentation orale au Workshop « Signing and Marking Management: Best Practices and Safety Benefits », Transportation Research Board Annual Meeting 2012.

SMADI, O., R.R. SOULEYRETTE, D.J. ORMAND et N. HAWKINS. « Pavement Marking Retroreflectivity: Analysis of Safety Effectiveness », *Transportation Research Record*, volume 2056, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., États-Unis, 2008, pp. 17–24.

SOVITEC. *Pré-mélange* [en ligne]. [<http://www.sovitec.com/pr-m-lange/>] (7 janvier 2012)

TEXAS DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (TxDOT). *Pavement Marking Handbook*, Traffic Operations Division, 2004. 108 p.

TREMBLAY, M. « Nouvelle approche de gestion de la signalisation horizontale au Québec », Congrès annuel de l'Association des transports du Canada 2004, Québec, 2004. 14 p.

TREMBAY, M. « État des connaissances sur les peintures à base d'eau pour le marquage routier », Congrès annuel de l'Association québécoise du transport et des routes 2008. 17p.

TREMBLAY, M. et F BOILY, « Problématiques d'arrachement des produits de marquage à base de résine époxydique (époxy) », Congrès annuel de l'Association québécoise du transport et des routes, Montréal, 2011. 27 p.

VILLE DE MONTRÉAL. *Les opérations de déneigement*, [en ligne]. [http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=8217,90637706&_dad=portal&_schema=PORTAL] (juillet 2011)

WANG, S. « Comparative Analysis of NTPEP Pavement Marking Performance Evaluation Results », Thesis presented to The Graduate Faculty of The University of Akron, 2010, 137 p.

ZAHEDI TABARESTANI, A., A. KAVUSSI et M. DINDAR SOHA. « A study of the role of aggregate properties on wearing resistance of traffic paints », Transportation Research Board Annual Meeting 2012 Compendium, paper number 12-2366, 2011. 12 p.

ZHANG, G., J.E. HUMMER et W. RASDORF. « Impact of Bead Density on Paint Pavement Marking Retroreflectivity ». *Journal of Transportation Engineering*, volume 773, August 2010. 9 p.

QUESTIONNAIRE DU SONDAGE

Pavement Markings State-of-the-Practice Survey

Province Name:	
Contact Person:	
Phone number:	
E-mail address:	

First Part: Pavement marking materials

(Adapted from Garvey, P.; Dasmin, S. & Pietucha, M., Pavement Markings State-of-the-Practice Study, PennState, 2008)

1. What does your province estimate is your installed cost per linear metre to apply each of the following longitudinal pavement marking materials?

Pavement Marking Material	Cost Per Linear Meter
Water-Based Paint	
Solvent-Based Paint	
Epoxy-Based Paint	
Polyurea	
Preformed Thermoplastic	
Spray Thermoplastic	
Screed/Extruded Hot Thermoplastic	
Polyester	
Preformed Tape	
Spray M.M.A.	
Screed M.M.A.	

2. Of the following roadway types, what is the approximate number of kilometres in your province that have longitudinal markings?

Pavement Marking Material	Marking application (km)	
	Center	Edge
Interstates/Freeways		
Multi-lane Arterials		
Two-lane arterials		
Collectors		
Others		

3. What is the approximate number of asphalt kilometres with longitudinal markings?

What is the approximate number of concrete kilometres?

What percentage of these longitudinal markings is applied by government forces and what percentage is contracted out?

4. What are the approximate lane-kilometres marked by government and contractor forces for each of the following pavement marking materials on each of the indicated roadway types?

Pavement Marking Material	Interstate /Freeway	Multi-lane Arterials	Two-lane arterials	Collectors
Water-Based Paint				
Solvent-Based Paint				
Epoxy-Based Paint				
Polyurea				
Preformed Thermoplastic				
Spray Thermoplastic				
Screed/Extruded Hot Thermoplastic				
Polyester				
Preformed Tape				
Spray M.M.A.				
Screed M.M.A.				

5. How often do you use the following materials for longitudinal markings on Concrete and Asphalt pavement?

Pavement Marking Material	Concrete			Asphalt		
	Often	Seldom	Never	Often	Seldom	Never
Water-Based Paint						
Solvent-Based Paint						
Epoxy-Based Paint						
Polyurea						
Preformed Thermoplastic						
Spray Thermoplastic						

Screed/Extruded Hot Thermoplastic						
Polyester						
Preformed Tape						
Spray M.M.A.						
Screed M.M.A.						

6. What is the estimated service life in months of the following longitudinal pavement marking materials for asphalt and concrete applications?

Pavement Marking Material	Service Life (months)	
	Asphalt	Concrete
Water-Based Paint		
Solvent-Based Paint		
Epoxy-Based Paint		
Polyurea		
Preformed Thermoplastic		
Spray Thermoplastic		
Screed/Extruded Hot Thermoplastic		
Polyester		
Preformed Tape		
Spray M.M.A.		
Screed M.M.A.		

7. What are the estimated service lives in months of the following longitudinal pavement marking materials for each of the indicated roadway types?

Pavement Marking Material	Interstate /Freeway	Multi-lane Arterials	Two-lane arterials	Collectors	Others
Water-Based Paint					
Solvent-Based Paint					
Epoxy-Based Paint					
Polyurea					
Preformed Thermoplastic					
Spray Thermoplastic					
Screed/Extruded Hot Thermoplastic					
Polyester					
Preformed Tape					
Spray M.M.A.					
Screed M.M.A.					

8. Does your province replace longitudinal pavement markings on a predetermined cycle?

If “Yes”, then describe the cycle for each type of pavement marking material.

9. Does your province visually inspect pavement markings for retroreflectivity?

If “Yes”, then describe how this is done.

10. Does your province use a retroreflectometer to measure longitudinal pavement marking retroreflectivity?

If “Yes”, then what device(s) do you use?

11. Does your province have a minimum requirement for dry night retroreflectivity of longitudinal pavement markings?

If “Yes”, please provide details; for example, what is the minimum, is it different for applied and maintained level, is it different for different color markings, for different marking materials?

12. Does your province have a minimum requirement for wet night retroreflectivity of longitudinal pavement markings?

If “Yes”, please provide details.

13. What are the weather conditions for longitudinal pavement marking application by marking material type on asphalt?

On concrete (if different)?

14. If you had to apply longitudinal markings to a roadway during late season/cold weather conditions (for example, with temperatures under 10°C), what products and procedures would you use?

15. Do you use any special products or procedures to ensure wet night visibility of your longitudinal pavement markings?

Second part: Retroreflectivity and degradation factors

16. What factors do you take into consideration when choosing the type of pavement marking material?

Factors	Yes	No
Marking line placement		
Traffic volume		
Speed		
Type of road (arterial, collector, highway, etc.)		
Surface condition and type (asphalt or concrete)		
Number of lanes		
Winter maintenance activities		
Others (please specify):		

17. Have you found any problems of premature loss of durability or retroreflectivity of your pavement markings during the last decade (since 2000)? If “yes”, please describe in details the problem(s), the reasons identified (see the factors listed in question 1) and the solutions implemented (or any reference that can provide this information).

18. In the case of asphalt roads, was there a change (in particular of granularity) during the last decade in asphalt paving granularity? If “yes”, what was the change and have you noticed any impact on pavement marking durability and retroreflectivity?

19. Please describe in the following table the type of glass beads used for retroreflectivity and the kind of surface treatment or coating properties.

Coating properties Glass bead types³	Flotation	Flow	Moisture resistance	Adherence
Type 0				
Type 1				
Type 2				
Type 3				
Type 4				
Type 5				

What is the procedure of application/installation (spraying (pressure drop) or dropping (gravity drop))?

³ The main standard for glass bead types is produced by the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) and is called M247-09.

20. Please describe in the following table the snow removal techniques used in your jurisdiction, the criteria for the application of each technique/product (for example minimum levels of service) and an estimation of the quantities of salt and abrasives used per year, and of the number of passages of the snowplows.

Snow removal technique	Yes/No (please specify the type)	Criteria for application	Quantity
Spreading ice melters (Salt, saline compound)			
Abrasives (like sand)			
Snowplowing			

What are snowplow blades made of?

21. Have you identified a method that avoids or decreases the degradation of the pavement markings caused by winter maintenance activities, for example the use of snowplowable raised reflective pavement marker or inlaid pavement marking? If “yes”, please provide the details and the results of these methods.

RÉPONSES DU SONDAGE

Les réponses du sondage sont disponibles sur demande en format Excel.