

GESTION DU MARQUAGE ROUTIER: ANALYSE DES ACQUIS ET PERSPECTIVES POUR LE QUÉBEC

Luc Pellecuer^{1,2, ✉}, Jean-Philippe Roy^{1,2}, Michèle St-Jacques^{1,3,4}, Gabriel Assaf^{1,3}

1 : Département de génie de la construction, École de Technologie Supérieure

2 : Étudiant au doctorat

3 : Professeur

4 : Directeur du département

✉ : luc.pellecuer.1@ens.etsmtl.ca

RÉSUMÉ

La sécurité des usagers de la route figure parmi les priorités du ministère des Transports du Québec (MTQ). Dans ce cadre, le maintien de la visibilité du marquage routier en tout temps et sous toutes les conditions climatiques est bien évidemment primordial. L'amélioration de la signalisation horizontale et de sa gestion s'avère donc être une composante essentielle du service offert par l'administration routière aux usagers de la route.

La Direction du soutien aux opérations a octroyé un mandat de recherche à l'École de technologie supérieure en vue de dresser l'état de l'art sur les différentes méthodes de relevés et d'indicateurs de performance liés à la durabilité du marquage longitudinal. L'étude consiste donc à répertorier, au niveau international, les différentes méthodologies d'évaluation et de suivi de la performance du marquage longitudinal, qu'elles proviennent des administrations routières ou des laboratoires universitaires.

Deux principales observations sont ressorties de l'étude. Dans un premier temps, on remarque qu'un gros effort de recherche est consenti sur le développement de solution visant le maintien de la visibilité nocturne, notamment lorsque la chaussée est humide ou lorsqu'il pleut. Les solutions avancées semblent être principalement orientées vers l'utilisation de microbilles de verre incrustées dans les produits de marquage à différentes profondeurs et la texturisation du matériau de marquage.

Dans un second temps, il est important de noter que la plupart des avancées des chercheurs et administrations concernent la gestion du marquage routier et, plus particulièrement, de sa visibilité. Traditionnellement, la visibilité du marquage routier est simplement évaluée visuellement ou, dans le meilleur des cas, par une mesure instrumentale de sa rétroreflectivité. Désormais, ces mesures sont exploitées dans des systèmes d'information géographique (SIG) et sont utilisées pour le développement de modèles de prévision de la visibilité du marquage. Ces nouvelles pratiques permettent aux administrations routières d'évaluer et de prévoir plus facilement et plus précisément l'état du marquage sur leur réseau routier.

Mots-clés : Marquage longitudinal, visibilité, sécurité routière.

1. INTRODUCTION

Le marquage routier assume un rôle primordial dans le guidage des automobilistes et, par conséquent, dans le maintien de leur sécurité. Les gestionnaires de réseau routier doivent ainsi jongler avec des ressources limitées afin de choisir les produits de marquage les plus durables et les plus susceptibles d'assurer la visibilité du marquage routier en tout temps et sous toutes les conditions climatiques.

Au Québec, les politiques de sécurité routière du ministère des Transports du Québec (MTQ) incluent certains objectifs quant à la performance sécuritaire de la signalisation horizontale, performance qui est liée à la perception du marquage par les automobilistes. Ces objectifs ont conduit à la mise en œuvre de procédures annuelles de suivi de la performance du marquage routier, et plus particulièrement du marquage longitudinal.

La caractérisation de la visibilité s'effectue généralement de différentes manières, à l'aide d'appareils ou par des évaluateurs qualifiés, afin de fournir une appréciation du niveau de service offert par le marquage. Actuellement, le MTQ utilise une procédure d'évaluation visuelle de la visibilité diurne du marquage longitudinal. Cette méthodologie ne garantit pas la répétitivité des résultats obtenus. Il devient alors difficile d'utiliser adéquatement ces données au sein d'un système de gestion du marquage routier. D'autre part, les incertitudes associées au manque relatif de fiabilité des données du taux de présence du marquage routier amènent certaines interrogations sur la pertinence de développer un indicateur de performance de la visibilité nocturne en vue d'effectuer le suivi de la performance du marquage longitudinal.

Cette situation a amené le MTQ à remettre en question la méthodologie existante d'évaluation et de gestion de la visibilité diurne du marquage longitudinal. Dans ce cadre de réflexion, la Direction du soutien aux opérations a octroyé un mandat de recherche à l'École de technologie supérieure en vue de dresser l'état de l'art sur les différentes méthodes de relevés et d'indicateurs de performance liés à la durabilité du marquage longitudinal.

Le présent document s'appuie donc sur une revue des pratiques existantes et des études effectuées sur le sujet à travers le monde afin de donner des pistes de réflexion au Ministère et de l'aider dans sa volonté de rénover ses méthodes de gestion. Dans un domaine de recherche relativement délaissé et assez confus bien qu'essentiel pour la sécurité routière, le présent rapport recense donc les différentes méthodes et les différents procédés d'évaluation et de suivi de la performance du marquage routier. Il précise de plus la terminologie tributaire de la notion de performance pour la signalisation horizontale.

La première section du document présente les principes fondamentaux liés au marquage routier et au maintien de sa visibilité. Dans un deuxième temps, un portrait de l'état des pratiques actuelles est dressé au niveau international, grâce notamment aux résultats d'un sondage international inédit. Suite à une revue de la littérature, les avenues de recherche les plus récentes, développées à l'extérieur du Québec et susceptibles d'intéresser le Ministère, sont ensuite exposées dans une troisième section du document. Finalement, après la conclusion, une synthèse des principales recommandations est présentée au Ministère.

2. RAPPEL DES PRINCIPES DE BASE

Une fonction importante du marquage est de guider la circulation routière (Lu et Barter, 1998; Migletz et al., 1999; Pike, Hawkins et Carlson, 2007b). Le marquage possède, en effet, une influence significative sur les conducteurs qui modifient leur comportement, notamment leur vitesse et leur positionnement latéral, en fonction de celui-ci (Horberry, Anderson et Regan, 2006; Lu et Barter, 1998; Schnell et Zwahlen, 2000). Lorsqu'il est suffisamment visible, le marquage représente donc un moyen d'assurer la circulation sécuritaire du trafic.

La visibilité du marquage par l'utilisateur de la route est assurée par la quantité de lumière réfléchie par le marquage en direction de ses yeux. En journée, c'est la lumière du soleil qui est réfléchie dans toutes les directions par le marquage qui en assure la visibilité (Figure 1). On dit qu'on mesure alors la luminance en éclairage diffus (Q_d en $\text{mcd/m}^2/\text{lx}$, soit une mesure par lux émis).

De nuit, la visibilité du marquage est assurée par le phénomène de rétro réflexion. Ce sont, en effet, les phares des véhicules qui produisent la lumière qui doit revenir vers les yeux du conducteur pour assurer la visibilité du marquage (Figure 1). On mesure alors la luminance rétro réfléchée (R_L en $\text{mcd/m}^2/\text{lx}$, soit une mesure par lux émis).

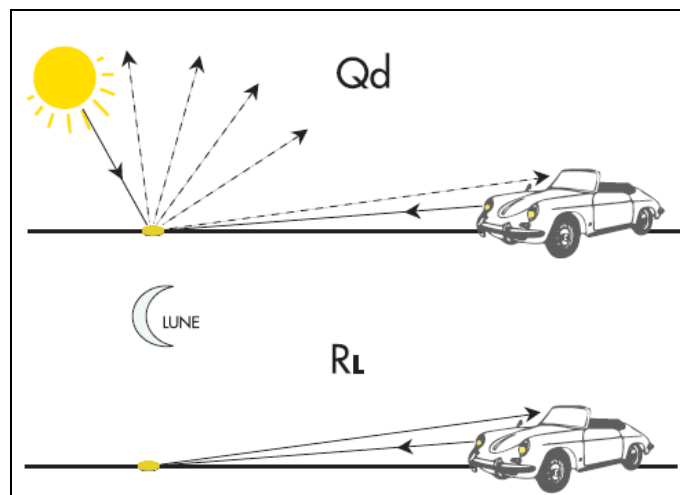


Figure 1: Principe de la visibilité du marquage de nuit et de jour

Source: Syndicat des équipements de la route (2005)

Quelles que soient les conditions dans lesquelles on désire mesurer la visibilité du marquage, Lu (1995) distingue deux méthodes d'évaluation du marquage :

- une méthode subjective qui consiste en la notation de la performance du marquage par un panel de personnes;
- et une méthode objective qui consiste en l'utilisation de rétroreflectomètres. Les rétroreflectomètres peuvent être portatifs (du type LTL-X) ou embarqués¹ sur des véhicules (du type LaserLux® ou Ecodyn®) (Figure 2).

¹ Embarqués : fixés sur véhicule



Figure 2: LTL-X et Laserlux®

Source: Hawkins et al. (2006) et Sarasua et al. (2001)

La rétroreflectivité du produit de marquage est un paramètre critique dans la visibilité nocturne du marquage. C'est pourquoi l'application de billes de verre à la surface du matériau de marquage routier peut jouer un rôle primordial dans sa visibilité nocturne. (Gibbons et Hankey, 2007a; Hivert, 2006; Texas Department of Transportation, 2004). Le marquage possède en effet une rétroreflectivité propre naturelle qui est quasi nulle. Les billes de verre représentent un moyen très répandu dans les administrations routières pour amplifier la rétroreflectivité naturelle du marquage en redirigeant une plus grande partie des rayons réfléchis dans la même direction que les rayons incidents. La Figure 3 montre comment le phénomène de rétroreflection est amplifié par la présence des billes de verre.

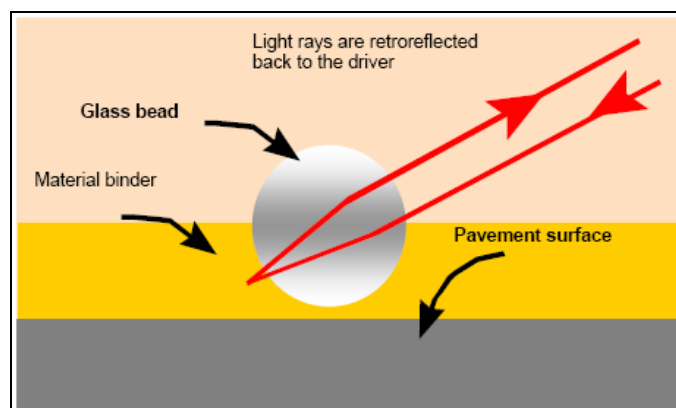


Figure 3: Principe de la rétroreflection

Source : Lindly & Wijesundera (2003)

3. REVUE INTERNATIONALE DE L'ÉTAT DE L'ART

Dans le cadre du mandat de recherche, une revue de la littérature existante ainsi que la diffusion à l'extérieur du Québec d'un sondage auprès des exploitants des réseaux routiers ont permis de faire le point sur l'état de l'art des pratiques en terme de gestion du marquage routier. Les informations présentées dans les sections suivantes proviennent donc des réponses

obtenues par le sondage ainsi que de la documentation technique et administrative produite par les exploitants des infrastructures routières.

3.1. Québec

Le Ministère procède à deux types de relevé de la performance du marquage longitudinal : les relevés de la visibilité diurne, appelés relevés de «durabilité» (Norme ASTM D913), et les relevés de la visibilité nocturne.

L'évaluation de la visibilité diurne est faite visuellement par des évaluateurs qualifiés pendant la période printanière. À cet effet, un guide de relevé d'inspection du taux de présence du marquage longitudinal a été développé en 2002 afin d'en uniformiser l'évaluation de l'aspect visuel de cette composante de la chaussée (Tremblay, 2005). La visibilité diurne est qualifiée par l'attribution d'une classe de durabilité associée au taux de présence. Ce guide a été développé à partir de la norme ASTM D913.

Les cinq classes de durabilité sont définies tel que présenté dans le Tableau 1 :

Tableau 1 : Classes de durabilité

Classe	Taux de présence (%)
1	96 à 100
2	75 à 95
3	50 à 75
4	15 à 50
5	0 à 15

Source : adapté de Tremblay (2004)

Un indicateur de performance a été élaboré relativement au taux de présence (i.e. durabilité) du marquage longitudinal. Cet indicateur, qui est défini pour l'ensemble du marquage longitudinal, est défini comme suit :

- Classes de durabilité 1, 2 et 3 : état satisfaisant;
- Classes de durabilité 4 et 5 : état non satisfaisant.

Le plan stratégique 2005-2008 du ministère des Transports du Québec cible un niveau minimum de taux de présence du marquage : 77% du marquage longitudinal doit être dans un état satisfaisant (i.e classes 1, 2 et 3) au printemps 2008.

Les relevés de la visibilité nocturne sont effectués à l'aide d'un rétroréfectomètre de type Ecodyn®. Ces relevés sont effectués en vue de contrôler la qualité des produits de marquage après leur application, en régie et dans le cadre de contrats, ainsi que pour évaluer

annuellement la performance du marquage longitudinal sur le réseau routier (Tremblay, 2008). Les classes de rétro-réflexivité définies par le Ministère sont présentées dans le Tableau 2 :

Tableau 2 : Classes Ecodyn®

Classe	Réroréflexivité (mcd/m ² /lx)
A	140 et plus
B	110 à < 140
C	80 à < 110
D	60 à < 80
E	moins de 60
F	non mesurée

Source : Tremblay (2008)

Les relevés de la performance du marquage sont effectués à l'aide d'équipement embarqué sur des véhicules équipés d'un système de positionnement géographique. Cela permet au Ministère de produire des cartes présentant l'état du marquage sur le réseau routier provincial (Tremblay, 2004).

3.2. Autres provinces canadiennes

Plusieurs intervenants impliqués dans le domaine du marquage routier au Canada ont été identifiés. Bien que la somme des renseignements obtenus soit limitée, un sommaire est présenté dans cette section.

Les informations obtenues de la part du *Department of Transportation and Infrastructures Renewal* de la Nouvelle-Écosse révèlent l'absence de suivi régulier de la performance et qu'aucune étude particulière n'a été menée sur la performance du marquage routier. Au niveau des spécifications relatives à la rétro-réflexivité des marquages neufs sur chaussée sèche, une mesure est prise dans les quatorze premiers jours suivant l'application afin de vérifier si la valeur minimale de 280 mcd/m²/lx est respectée. De plus, il existe une seconde exigence pour les 120 premiers jours suivant l'application du marquage qui est fixée à 200 mcd/m²/lx. On ne spécifie pas si cette exigence est liée à une garantie des travaux de marquage octroyés dans le cadre de contrats ou à des seuils internes de performance qui sont formulés par l'administration. Cette exigence ne s'applique pas pour les revêtements en enrobé bitumineux dont l'âge est inférieur à six mois.

Bien qu'il n'existe pas de procédures de suivi de la performance du marquage routier au sein de l'administration routière de Terre-Neuve et Labrador, l'intervenant contacté² évalue que la longévité du marquage routier est de l'ordre de 8 à 10 mois; que ce soit pour les produits à base de latex ou les peintures constituées d'alkydes. On ne semble pas relever la rétro-réflexivité du marquage routier à Terre-Neuve et Labrador.

² Intervenant contacté : Dean Osmond, directeur de l'entretien pour l'administration terre-neuvienne

En Alberta, le suivi de la performance du marquage routier se fait sur une base annuelle au niveau de l'évaluation de la rétroreflectivité, à l'aide d'un appareil portatif de type LTL-X. Une évaluation plus particulière des produits de marquage est effectuée sur des sites d'essais sur le réseau routier. Dans ce cas, l'évaluation de la performance est faite en fonction d'un indicateur de la performance « en usage » dont la pondération est définie comme suit : 50 % en fonction de la valeur de la rétroreflectivité mesurée et 50 % selon une évaluation visuelle subjective basée sur la norme ASTM D713 - *Practice for Conducting Road Service Tests on Fluid Traffic Marking Materials*. Ce type d'évaluation est effectué sur une base mensuelle. En Alberta, l'entretien hivernal a une influence sur la performance du marquage routier (Felice, 2008). Par conséquent, pour les routes à fort débit de circulation, les marquages de type encastré et à base de latex (type HD-21A) sont utilisés. Certaines données sont compilées en vue de la mise sur pied d'un système de gestion du marquage routier : le type de produit utilisé, la date d'application et le niveau de circulation.

3.3. États-Unis

Dans le cadre du mandat, plusieurs responsables du domaine du marquage oeuvrant pour les administrations routières ont été sondés. Les informations recueillies sont synthétisées dans cette section.

Au niveau des produits de marquages utilisés, on ne note aucune tendance d'ordre géographique associée à l'emploi de produits alternatifs à ceux à base de latex pour les régions nordiques où des opérations de déneigement et d'épandage d'abrasifs sont menées. D'ailleurs, sur la base des informations obtenues, les états de l'Utah et du Nebraska utilisent exclusivement ce type de produits. Par contre, la durabilité des produits à base de latex n'est pas très bonne. Selon Lynde (2006), en Oregon, la peinture latex blanche n'est plus visible après un hiver alors que celle de couleur jaune du même type est encore visible après deux hivers. Le deuxième produit le plus répandu est le thermoplastique puisqu'il est utilisé par 50 % des administrations sondées. Les produits à base d'alkyde sont peu répandus. En ce qui a trait au suivi de la performance, les paramètres les plus fréquemment évalués sont 1) la rétroreflectivité sur chaussée sèche (i.e. visibilité nocturne) et 2) le taux de présence (i.e. visibilité diurne). Aucune méthodologie de relevé non subjectif de la visibilité diurne n'a été répertoriée. Seule l'administration routière du Delaware déclare mesurer, de manière complémentaire aux paramètres mentionnés précédemment, la rétroreflectivité sur chaussées mouillées et cela sous éclairage diffus (paramètre Qd).

Le suivi de la performance est fait annuellement (3 états), tous les six mois (2 états), occasionnellement (2 états) ou dans le cadre des contrats seulement (1 état) et l'appareil le plus largement utilisé pour mesurer la rétroreflectivité est du type portatif; le LTL-X. Certains appareils embarqués tels que le Microlux® et le Laserlux® sont également utilisés.

Peu d'information a été relevée relativement à l'utilisation d'indicateur de performance du marquage routier. Deux administrations révèlent utiliser un indicateur de performance basé sur la rétroreflectivité. Dans un cas, l'indicateur est établi en fonction du niveau de circulation des tronçons routiers évalués. Par ailleurs, l'existence de seuils de rétroreflectivité en vue de l'acceptation des travaux de marquage a été relevée dans le cas de plusieurs états.

Trois états déclarent utiliser des seuils de déclenchement pour les travaux de marquage relativement au taux de présence (Delaware, Utah et Oregon) et deux d'entre eux l'utilisent en combinaison avec un seuil de rétroreflectivité (Delaware et Oregon).

Tableau 3 présente un sommaire de produits de marquages dont les états en déclarent l'usage.

En ce qui a trait au suivi de la performance, les paramètres les plus fréquemment évalués sont 1) la rétro-réflexivité sur chaussée sèche (i.e. visibilité nocturne) et 2) le taux de présence (i.e. visibilité diurne). Aucune méthodologie de relevé non subjectif de la visibilité diurne n'a été répertoriée. Seule l'administration routière du Delaware déclare mesurer, de manière complémentaire aux paramètres mentionnés précédemment, la rétro-réflexivité sur chaussées mouillées et cela sous éclairage diffus (paramètre Q_d).

Le suivi de la performance est fait annuellement (3 états), tous les six mois (2 états), occasionnellement (2 états) ou dans le cadre des contrats seulement (1 état) et l'appareil le plus largement utilisé pour mesurer la rétro-réflexivité est du type portatif; le LTL-X. Certains appareils embarqués tels que le Microlux® et le Laserlux® sont également utilisés.

Peu d'information a été relevée relativement à l'utilisation d'indicateur de performance du marquage routier. Deux administrations révèlent utiliser un indicateur de performance basé sur la rétro-réflexivité. Dans un cas, l'indicateur est établi en fonction du niveau de circulation des tronçons routiers évalués. Par ailleurs, l'existence de seuils de rétro-réflexivité en vue de l'acceptation des travaux de marquage a été relevée dans le cas de plusieurs états.

Trois états déclarent utiliser des seuils de déclenchement pour les travaux de marquage relativement au taux de présence (Delaware, Utah et Oregon) et deux d'entre eux l'utilisent en combinaison avec un seuil de rétro-réflexivité (Delaware et Oregon).

Tableau 3 : Produits de marquage utilisés

Administration	1	2	3	4	5	6	7
	Kentucky	Delaware	Utah	Nebraska	Penn.	Oregon	Arkansas
Latex	X	X	X	X	X	X	X
Alkyde							
MMA						X	
Époxy		X			X		
Thermoplastiques	X	X			X		X
Ruban préformé	X						
Uréthane						X	
Autre(s)							

La section 4.2 présente certains modèles de prévision de la performance du marquage routier qui ont été développés dans les centres de recherches. Les informations obtenues de la part des administrations indiquent qu'il y aurait deux administrations qui ont développé de tels modèles. Les intervenants de l'état du Delaware mentionnent avoir développé des modèles de prévision de la performance en ce qui concerne le taux d'usure, la visibilité diurne (Q_d) et la

visibilité nocturne (R_L). L'Utah a développé un modèle de prévision pour la visibilité nocturne (R_L). Tous ces modèles sont établis en fonction de l'âge du marquage.

Dans le cas de plusieurs administrations routières, des données sont amassées en vue de leur intégration à un système de gestion du marquage routier. Les principaux paramètres collectés sont le produit utilisé, la date d'application et le niveau de circulation. Certains états compilent le nombre de passages de déneigeuse. À cet effet, une étude est en cours relativement à l'impact des passages de déneigeuses sur la durabilité du marquage dans l'État du New Hampshire. Le Tableau 4 présente un sommaire des données amassées par les administrations routières.

Tableau 4 : Données de gestion amassées par les administrations

Administration	1	2	3	4	5
	Delaware	Utah	Pennsylvanie	Alberta	Oregon
Type de produit	X	X	X	X	X
Date d'application	X	X	X	X	X
Température ambiante					X
Jours d'ensoleillement					
Précipitations					
Abrasifs et fondants					
Texture du revêtement					
Niveau de circulation	X	X	X	X	
Passages de déneigeuse		X	X		
Autre(s)					

3.4. Suède

Il est intéressant de comparer la situation québécoise à celle qui prévaut en Suède qui possède un climat relativement proche du climat québécois, ce qui implique l'existence de nombreux problèmes de gestion communs. La réglementation suédoise exige une valeur de rétroreflectivité sur chaussée mouillée supérieure à 35 mcd/m²/lx (Lundkvist et Isacson, 2007). Selon Lundkvist (2008b), ce paramètre peut être évalué à partir de mesures prises sur une chaussée mouillée à l'aide d'un appareil portatif (Norme d'essai EN 1436). Les autres spécifications incluses dans la réglementation Suédoise sont présentées dans le En ce qui a trait à l'évaluation de la performance du marquage, Lundkvist (2008b) souligne que 90 % des mesures de rétroreflectivité doivent être de 100 mcd/m²/lx ou plus. De plus, l'administration suédoise a défini quatre classes de performance du marquage routier établies en fonction des variations de la valeur de la rétroreflectivité sur chaque tronçon évalué. L'attribution des classes de performance est basée sur la proportion des mesures qui sont les plus faibles. La définition

de ces classes permet d'éviter l'utilisation de la valeur moyenne de rétroreflectivité en vue de maximiser l'uniformité du marquage.

Lundkvist (2008b) présente également les résultats d'une étude de la performance du marquage routier dans les pays nordiques (Scandinavie, Danemark et Islande). Différents sites de marquage ont été suivis sur une période de deux ans en y effectuant la caractérisation de la rétroflexion sur chaussée sèche. Les mesures sur chaussée mouillée ont été impossibles à réaliser à l'aide d'équipement embarqué à cause des éclaboussures causées par la projection de l'eau par les pneus du véhicule d'évaluation. Parmi les conclusions de cette étude, on constate que la durabilité des thermoplastiques serait supérieure aux produits à base d'eau, plus économiques. La bonne performance du marquage en Finlande corrobore cette affirmation. Toutefois, les produits thermoplastiques en relief sont sensibles aux opérations de déneigement (Lundkvist, 2008a).

Tableau 5.

En ce qui a trait à l'évaluation de la performance du marquage, Lundkvist (2008b) souligne que 90 % des mesures de rétroreflectivité doivent être de 100 mcd/m²/lx ou plus. De plus, l'administration suédoise a défini quatre classes de performance du marquage routier établies en fonction des variations de la valeur de la rétroreflectivité sur chaque tronçon évalué. L'attribution des classes de performance est basée sur la proportion des mesures qui sont les plus faibles. La définition de ces classes permet d'éviter l'utilisation de la valeur moyenne de rétroreflectivité en vue de maximiser l'uniformité du marquage.

Lundkvist (2008b) présente également les résultats d'une étude de la performance du marquage routier dans les pays nordiques (Scandinavie, Danemark et Islande). Différents sites de marquage ont été suivis sur une période de deux ans en y effectuant la caractérisation de la rétroflexion sur chaussée sèche. Les mesures sur chaussée mouillée ont été impossibles à réaliser à l'aide d'équipement embarqué à cause des éclaboussures causées par la projection de l'eau par les pneus du véhicule d'évaluation. Parmi les conclusions de cette étude, on constate que la durabilité des thermoplastiques serait supérieure aux produits à base d'eau, plus économiques. La bonne performance du marquage en Finlande corrobore cette affirmation. Toutefois, les produits thermoplastiques en relief sont sensibles aux opérations de déneigement (Lundkvist, 2008a).

Tableau 5 : Spécifications de l'administration suédoise

Paramètre	Unité	Valeur minimale
Rétroreflectivité du marquage sur chaussée sèche	mcd/m ² /lx	100
Rétroreflectivité du marquage sur chaussée mouillée	mcd/m ² /lx	35
Luminance (jour)	mcd/m ² /lx	130
Glissance	N/A	0,45

Source : adapté de Lundkvist (2008b)

Finalement, des modèles prévisionnels de la performance du marquage ont été développés mais ne seraient pas utilisés par l'administration routière suédoise (section 4.2.3).

4. PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Les administrations routières désirent d'une part utiliser les produits de marquage les plus performants et d'autre part pouvoir systématiser et rationaliser la gestion du marquage routier. En partenariat avec les administrations routières, les universitaires développent donc des méthodes et des procédés (outils de mesure, modèle de prévision, etc.) visant à améliorer la gestion du marquage routier. Les sections suivantes présentent donc les recherches et développements qui sont actuellement privilégiés et qui sont susceptibles de compléter les connaissances du Ministère.

4.1. Performance du marquage

Si la notion de performance du marquage demeure assez floue dans la littérature, on sait toutefois que cette performance est influencée par plusieurs facteurs externes. Parmi eux, on retrouve principalement (Texas Department of Transportation, 2004) :

- les conditions de surface (rugosité, sensibilité à la chaleur, porosité);
- le trafic (nombre de passages);
- l'environnement (température, humidité, vitesse du vent, humidité de la surface lors de la pose du marquage).

D'autres éléments semblent susceptibles d'influencer la performance du marquage (Bahar *et al.*, 2006; Liu, 2006; Lu et Barter, 1998; Migletz *et al.*, 1999; Rich, Maki et Morena, 2002; Scheuer, Maleck et Lighthizer, 1997) :

- type de chaussée (béton ou asphalte);
- entretien hivernal.

Au demeurant, il reste clair que la visibilité du marquage routier doit être assurée en tout temps (c'est-à-dire dans toutes les combinaisons de conditions météorologiques et de luminosité) et de façon durable (résistance aux différentes agressions). Les conditions les plus difficiles pour la visibilité sont réunies la nuit lorsque la chaussée est mouillée. C'est pourquoi la mesure de la rétroreflectivité du marquage routier représente un aspect important pour la sécurité du trafic de nuit (Lu, 1995). Elle représente souvent le seul indicateur de performance utilisé.

Par ailleurs, une des principales préoccupations actuelles des administrations est le maintien de la rétroflexion par temps humide. En effet, lorsqu'il pleut, les billes de verres qui assurent la rétroflexion sont recouvertes d'une pellicule d'eau qui diffracte la lumière et atténue l'intensité lumineuse qui est renvoyée à l'œil du conducteur (Figure 4) (Lundkvist et Isacson, 2007).

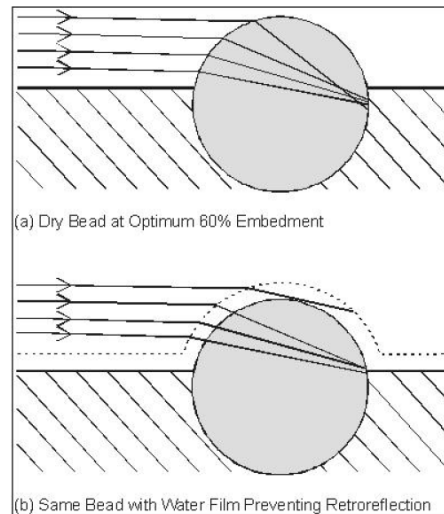


Figure 4: Réfraction de la lumière dans les billes sèches et humides

Source : Texas Department of Transportation (2004)

Lundkvist et Isacson (2007) montrent qu'une macrorugosité adéquate du revêtement routier et, par conséquent, du marquage routier permet de maintenir le phénomène de rétro réflexion par temps humide. La macrorugosité briserait en effet la pellicule d'eau qui se dépose sur le marquage (et sur les billes de verres) par temps humide, ce qui empêcherait la réflexion simple des rayons lumineux sur la pellicule d'eau et permettrait aux billes de rétro réfléchir correctement la lumière issue des phares des véhicules. Par ailleurs, le type de billes utilisées n'est pas précisé par l'auteur.

Par ailleurs, la performance du marquage routier dépend également de l'entretien hivernal. Scheuer et *al.* (1997), à travers leur étude sur le marquage routier au Michigan, insistent ainsi sur la dégradation de la durabilité de la visibilité du marquage causée par les opérations de déneigement.

4.1.1. Méthode de mesure

La méthode de mesure de la performance du marquage dépend du but poursuivi : homologation d'un produit marquage ou suivi de la performance du marquage en place.

Afin de déterminer la performance d'un produit de marquage particulier ou d'en assurer la certification, deux types d'essais sont communément utilisés : les essais sur site et les essais sur manèges. L'utilisation d'un type ou l'autre d'essai dépend généralement de l'administration. Ainsi, l'Espagne et l'Allemagne utilisent les manèges alors que la France et l'Iowa font leurs essais sur site (Dechaumet, 2007; Hawkins, Smadi et Hans, 2005).

Afin de déterminer si le marquage est en fin de vie, le *Texas Department of Transportation* (2004) utilise trois types différents d'évaluation du marquage :

- évaluation visuelle subjective de jour (distance maximale de visibilité par le conducteur d'un véhicule);

- évaluation visuelle subjective de nuit (distance maximale de visibilité par le conducteur d'un véhicule);
- évaluation de la rétroreflectivité du marquage (mesurée par rétroreflectomètre).

Dans les trois cas, la fin de vie du marquage est décrétée si la mesure effectuée est inférieure au seuil requis.

Cette méthode utilisée pour décider du remplacement du marquage peut toutefois être également utilisée afin de suivre le comportement du marquage dans le temps.

4.1.2. Utilisation d'indicateur

Selon Hawkins *et al.* (2006), la performance du marquage peut être décrite par la combinaison de :

- la rétroreflectivité (pour la visibilité nocturne);
- la présence de jour (pour la visibilité diurne);
- la couleur.

Lu et Barter (1998) ajoutent à ces caractéristiques :

- l'état du feuillet de marquage;
- la rétention des billes de verre.

Toutefois, de façon générale, c'est la rétroreflectivité seule du marquage qui est utilisée pour déterminer la performance du marquage (Hawkins *et al.*, 2006; Lu, 1995). Il est généralement accepté que l'on doit mesurer la visibilité du marquage telle qu'elle est perçue à trente mètres par les usagers de la route (Direction générale des autoroutes et routes, 2001; Syndicat des équipements de la route, 2005).

Migletz *et al.* (1999) et Masliah *et al.* (Masliah *et al.*, 2005) ont proposé pour leur part d'utiliser le contraste entre la chaussée et le marquage pour déterminer la visibilité du marquage (voir Équation 1).

$$C = \frac{R_{\text{marquage}} - R_{\text{chaussée}}}{R_{\text{chaussée}}} \quad (1)$$

Où C est le contraste;
 R_{marquage} est la rétroreflectivité du marquage;
 $R_{\text{chaussée}}$ est la rétroreflectivité de la chaussée.

Finalement, dans l'étude de Lu (1995), c'est un indicateur composite qui est utilisé pour mesurer la performance des différents types de marquage. Cet indicateur prend en compte les estimations subjectives, données par un panel de spécialistes, de :

- la durée de vie (estimée par les spécialistes);
- la visibilité;
- la durabilité (résistance à l'action des pneus et du déneigement);
- les coûts.

Cet indicateur permet de déterminer le niveau de performance des différents produits sur le marché. Il n'est pas voué à faire un suivi de cette performance.

4.2. Prévision de la performance

De nombreux articles et rapports abordent ou s'appuient sur des modèles de dégradation de la visibilité des marquages.

Les données utilisées pour développer ces modèles sont issues de mesures qui peuvent être prises en laboratoire intérieur (Pike, Hawkins et Carlson, 2007a), en laboratoire extérieur (Aktan et Schnell, 2004; Burns et al., 2006; Gibbons, 2006; Gibbons et Hankey, 2007a) ou bien, plus généralement, sur site (Connor et Bennett, 2000; Kopf, 2004; Lindly et Wijesundera, 2003; Lu, 1995; Lundkvist et Isacson, 2007; Migletz *et al.*, 1999; Migletz *et al.*, 2001; Parker et Meja, 2003). L'avantage des laboratoires est la maîtrise que l'on a sur différents paramètres susceptibles d'influencer les prises de mesures. Toutefois, ils ne peuvent garantir la reproduction exacte des conditions environnementales réelles auxquelles sont soumis les marquages routiers.

4.2.1. Modèle de dégradation de la rétroreflectivité

Que ce soit en Alaska ou en Idaho, Lu (Lu, 1995) montre que la rétroreflectivité, pour un type de marquage donné, peut être considérée comme seulement liée à son âge. L'équation (2) expliciterait ce lien. Il est à noter que, quel que soit le matériau de marquage utilisé lors de l'étude (thermoplastique, méthacrylate de méthyle extrudé ou vaporisé, pellicule 3MTM), le type d'équation décrivant le lien entre la rétroreflectivité du marquage et son âge demeure la même (seules les constantes changent).

$$R = a + b * e^{(c*t)} \quad (2)$$

Où R est la rétroreflectivité;
t est l'âge du marquage;
a, b et c sont des constantes fonctions du type de marquage considéré;
e est la fonction exponentielle.

Lindly et Wijesundera (2003) et Migletz *et al.* (2001) ont pour leur part essayé des modèles faisant appel à l'âge de la chaussée ainsi qu'au niveau de sollicitation du trafic. Ces deux études reposent sur des données issues d'expérimentations qui ont eu respectivement lieu en Alabama d'une part et dans dix-neuf (19) autres états d'autre part (dont plusieurs doivent effectuer des opérations de déneigement en hiver).

Lindly et Wijesundera (2003) ont ainsi montré que la rétroreflectivité ne semble pas statistiquement dépendante à la fois de l'âge du marquage et du niveau de sollicitation du trafic. Par contre, elle semble pouvoir être statistiquement dépendante du trafic cumulé supporté. Ils ont ainsi établi que des modèles exponentiels et linéaires pouvaient être utilisés (pour des PPM-*profiled pavement markings* - et FTM – *flat thermoplastic marking*) :

$$R = b * e^{(c*CTP)} \quad (3)$$

$$R = a + b * CTP \quad (4)$$

Où R est la réflectivité;
CTP représente le trafic cumulé supporté;
a, b et c sont des constantes fonctions du type de marquage considéré;
e est la fonction exponentielle.

Ce résultat est corroboré par ceux de Migletz et *al.* (2001) pour qui les modèles sont également linéaires et exponentiels. L'avantage d'un tel modèle est qu'il permet de calculer la durée de vie du marquage en terme de nombre de passages de roues. Il peut donc s'appliquer à des routes ayant des débits très différents.

Bahar et *al.* (2006) ont mené pour leur part une étude complète sur le marquage pour le compte du TRB³ en utilisant de grandes quantités de données issues de plusieurs états. Ils y observent notamment l'évolution de la rétroreflectivité du marquage en fonction de divers paramètres. Ainsi, selon les auteurs, la relation entre la rétroreflectivité et l'âge du marquage est de type polynomial inverse d'ordre 3 et varie selon la couleur du marquage et l'intensité des opérations de déneigement :

$$R = \frac{1}{a + b*t + c*t^3} \quad (5)$$

Où R est la rétroreflectivité;
t est l'âge du marquage;
a, b et c sont des constantes fonctions du type de marquage considéré, de sa couleur et des opérations de déneigement qu'il subit.

Par ailleurs, dans cette étude (Bahar et *al.*, 2006), l'influence de l'intensité du trafic sur la dégradation de la rétroreflectivité n'est pas confirmée. Les auteurs arrivent même à la conclusion contre-intuitive que, pour certains matériaux (thermoplastique et peinture à base d'eau), la rétroreflectivité du marquage est meilleure pour les forts trafics que pour les faibles trafics. Ces résultats sont toutefois contredits par l'étude de Liu (2006) qui indique que plus le trafic augmente, plus la durée de vie⁴ du marquage est courte (Figure 5).

³ TRB : Transportation Research Board

⁴ La durée de vie du marquage est ici comprise comme le temps nécessaire à ce que sa rétroreflectivité passe sous le seuil de 100 mcd/m²/lx

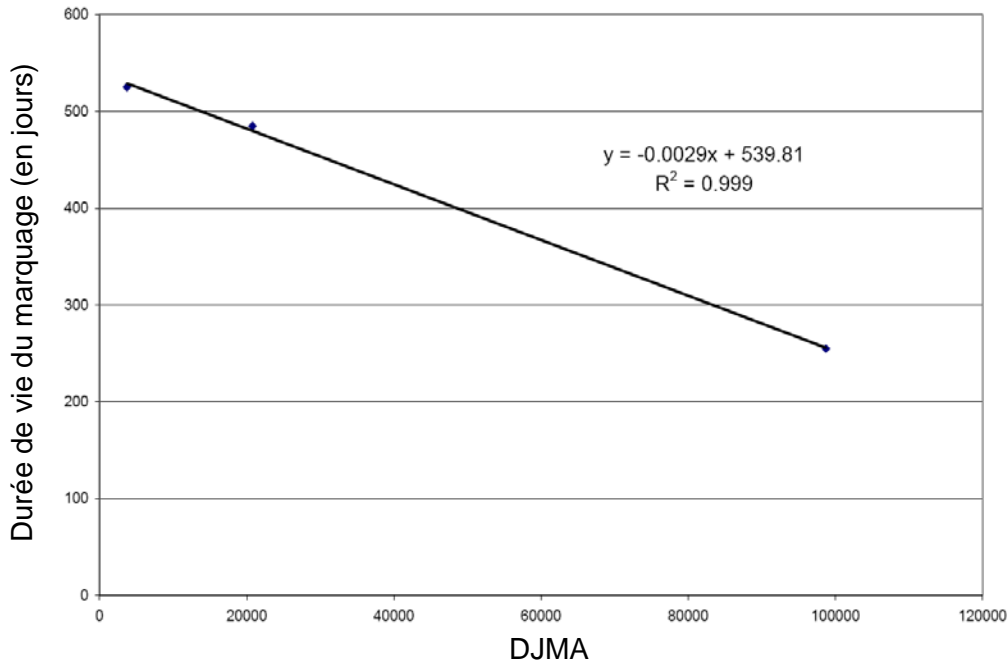


Figure 5: Durée de vie de la peinture en fonction du trafic

Source : adapté de Gibbons (2006)

De plus, Bahar et *al.* (2006) et montrent que la nature du revêtement (béton de ciment ou enrobé bitumineux) n'influence pas significativement l'évolution de la rétroreflectivité. Pour sa part, Liu (2006), bien qu'il annonce dans son étude que la nature du revêtement influence l'évolution de la rétroreflectivité du marquage, ne tient pas compte de cette nature du revêtement en ce qui concerne le choix du type de marquage à appliquer.

La diversité des modèles proposés dans la littérature démontre la difficulté de contrôler tous les paramètres influençant la rétroflexion lors des expérimentations afin de pouvoir connaître le véritable lien entre la visibilité et la rétroreflectivité d'un marquage.

4.2.2. Modèle de visibilité du marquage en fonction de sa rétroreflectivité

Aktan et Schnell (2004) ont montré qu'il existe une corrélation très forte ($R^2=0,96$) entre la distance de visibilité et la rétroreflectivité mesurée. Il y aurait donc un lien linéaire entre ces deux variables :

$$V = a * R + b \quad (6)$$

Où V est la visibilité;
R est la réfectivité;
a et b sont des constantes.

Cependant, Parker et Meja (2003) montrent que la visibilité (évaluée subjectivement) ne varie pas linéairement avec la rétroreflectivité. Ce serait plutôt une relation polynomiale d'ordre 4 qui lierait les deux ($R^2=0,97$) :

$$V = a * R^4 + b * R^3 + c * R^2 + d * R + e \quad (7)$$

Où V est la visibilité;
R est la réflectivité;
a b, c, d et e sont des constantes.

Gibbons et Hankey (2007b) utilisent quant à eux un modèle logarithmique pour lier la visibilité du marquage à sa rétro-réflectivité :

$$V = a * \log(R) + b \quad (8)$$

Où V est la visibilité;
R est la réflectivité;
a et b sont des constantes.

S'appuyant sur le modèle décrit par l'équation (8), Gibbons (2006) établit le lien entre la vitesse d'un véhicule et la rétro-réflectivité minimale pour que le marquage soit adéquatement visible pour le conducteur du véhicule. Il utilise à cette fin des temps de réaction de 2 et 3 secondes (Figure 6).

Encore une fois, la diversité des modèles proposés dans la littérature démontre la difficulté de contrôler tous les paramètres influençant la rétro-réflexion lors des expérimentations afin de pouvoir connaître le véritable lien entre la visibilité et la rétro-réflectivité d'un marquage.

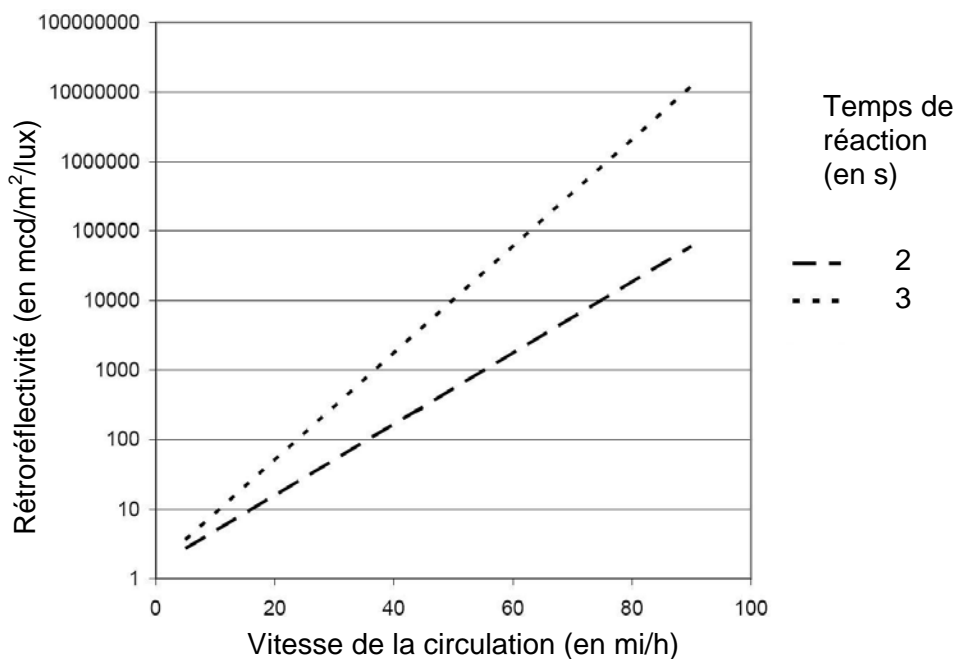


Figure 6: Rétro-réflectivité minimale à offrir selon la vitesse de circulation pour différents temps de réaction

Source : adapté de Gibbons (2006)

4.2.3. Modèle d'évaluation de la rétroreflectivité dans diverses conditions

Pike et *al.* (2007b) ont étudié la rétroreflectivité de plusieurs matériaux de marquage par temps humide grâce à un montage en laboratoire (Figure 8). Il apparaît que, quel que soit le matériau considéré, la rétroreflectivité est presque systématiquement plus faible par temps humide que par temps sec. Il est cependant à noter que dans certaines conditions et pour certains matériaux, la rétroreflectivité peut augmenter avec la quantité d'eau présente sur le matériau. Les auteurs recommandent d'ailleurs d'approfondir la recherche dans ce domaine.

Il ressort également de l'étude de Pike et *al.* (2007b) que la rétroreflectivité par temps sec n'est pas un bon indicateur de la rétroreflectivité par temps humide. Lindly et Wijesundera (Lindly et Wijesundera, 2003) ont également tenté de vérifier s'il existe une corrélation entre la rétroreflectivité du marquage sec et celle du marquage mouillé. Leur étude montre des corrélations médiocres avec des R^2 de 0,2 et 0,4 pour les FTM et les PPM respectivement. Dans leur étude, Carlson et *al.* (2005) ne trouvent quant à eux aucune relation statistiquement significative entre la rétroreflectivité par temps sec et celle par temps humide. Donc, c'est probablement une raison pour laquelle on ne pourrait pas extrapoler la visibilité d'un marquage par temps humide grâce à la seule mesure de rétroreflectivité par temps sec.

Pour leur part, Lundkvist et Isacson (2007) montrent pourtant que la rétroreflectivité par temps humide est une fonction linéaire de la rétroreflectivité par temps sec et de la macrorugosité du marquage lui-même. D'autres études semblent nécessaires afin de déterminer le lien exact entre la rétroreflectivité par temps sec et la rétroreflectivité par temps humide.



Figure 7: Dispositif expérimental en laboratoire

Source : Pike et *al.* (2007b)

4.3. Système de gestion du marquage routier

La mise en place et l'utilisation d'un système de gestion du marquage routier présentent de nombreux avantages pour le gestionnaire. Les sous-sections suivantes présentent, sans ordre particulier, différentes avenues de développement des systèmes de gestion des chaussées.

4.3.1. Synchronisation avec la gestion des chaussées

De façon générale, Hawkins et *al.* (2006) montre que le Iowa DOT tire des bénéfices de la synchronisation de ses systèmes de gestion des chaussées et du marquage routier. Le resurfaçage de certaines sections de route permet ainsi de suivre et comparer le comportement du marquage sur différentes chaussées.

4.3.2. Analyse sur le cycle de vie

Lindly et Wijesundera (2003) et Cottrell et Hanson (2001) prônent l'utilisation d'une analyse sur le cycle de vie pour déterminer quel marquage est le plus performant sur l'ensemble de la période d'analyse. Lindly et Wijesundera (2003) utilisent ainsi comme données d'entrée :

- Les coûts de pose;
- Les coûts d'entretien;
- La période de performance;
- La période d'étude.

4.3.3. Utilisation des systèmes d'information géographique

Par ailleurs, l'utilisation du GPS⁵ offre des possibilités accrues pour la gestion des données issues de l'inspection de l'état du marquage. Les *Iowa DOT* et *South Carolina DOT* profitent ainsi du géoréférencement des données et utilisent un SIG⁶ afin de gérer ces données, de les visualiser et de les analyser (Hawkins, Smadi et Hans, 2005; Sarasua et al., 2001). Cet outil de gestion est d'ailleurs déjà utilisé au Québec (Tremblay, 2005). Elle permet de gérer et d'organiser facilement les données issues des relevés effectués sur le terrain tout en offrant une interface pratique pour le gestionnaire du réseau.

L'*Iowa DOT* utilise les SIG non seulement pour organiser une base de données sur les relevés de rétroreflectivité, mais également pour gérer une deuxième base de données contenant les informations relatives à l'application des produits de marquages (Hawkins, Smadi et Hans, 2005).

⁵ GPS : système de positionnement global

⁶ SIG : système d'information géographique

5. CONCLUSION

Le marquage routier a pour principales fonctions de guider la circulation et d'en assurer la sécurité. La visibilité du marquage contribue significativement aux bons résultats de sécurité routière. Ainsi, il est important qu'il reste visible tout au long de l'année, quelles que soient les conditions climatiques et de luminosité.

Actuellement, les recherches universitaires ainsi que les préoccupations des administrations routières portent sur deux types de problèmes : le développement de produit de marquage efficace et efficient ainsi que la mise en place de système de gestion du marquage routier.

Dans un premier temps, on remarque ainsi qu'un gros effort de recherche est consenti sur la durabilité des produits de marquage et sur le développement de solution visant le maintien de la visibilité nocturne, notamment lorsque la chaussée est humide ou lorsqu'il pleut. Les solutions avancées semblent être principalement orientées vers l'utilisation de billes de verre incrustées dans les produits de marquage à différentes profondeurs et la texturisation du matériau de marquage.

Dans un second temps, il est important de noter que la plupart des avancées des chercheurs et administrations concernent la gestion du marquage routier et, plus particulièrement, de sa visibilité. Traditionnellement, la visibilité du marquage routier est évaluée soit par la mesure de sa rétroreflectivité soit par une évaluation visuelle subjective. Plusieurs travaux de recherche tendent toutefois à montrer l'importance de connaître la distance de visibilité du marquage (plutôt que sa rétroreflectivité) pour évaluer les conditions de sécurité optimales pour la circulation des automobilistes.

Par ailleurs, afin de soutenir la gestion du marquage routier, certains modèles de prévision de la performance (dégradation de la rétroreflectivité par temps sec ou humide par exemple) ont été développés dans les centres de recherche universitaires. Ces modèles, qui cherchent à expliquer et à prédire la visibilité du marquage, utilisent généralement la rétroreflectivité comme variable dépendante et l'âge du marquage ou le trafic cumulé comme variables indépendantes. Toutefois, la nature du lien entre ces variables diffère d'une étude à l'autre. Ceci s'expliquant, notamment, par la difficulté de contrôler la variabilité de nombreux paramètres externes (type de matériau de marquage, intensité du trafic, vitesse de circulation, intensité des opérations de déneigement, nature du revêtement routier).

6. BIBLIOGRAPHIE

Aktan, Fuat, et Thomas Schnell. 2004. « Performance Evaluation of Pavement Markings Under Dry, Wet, and Rainy Conditions in the Field ». *Transportation Research Record*, vol. 1877, p. 38-49.

Bahar, Geni, Maurice Masliah, Tara Erwin, Errol Tan et Ezra Hauer. 2006. *Pavement marking materials and markers: real-world relationship between retroreflectivity and safety over time*. 92. National Cooperative Highway Research Program, 206 p. Transportation Research Board.

-
- Burns, David, Neil Hodson, Dale Haunschild et Dave May. 2006. « Pavement Marking Photometric Performance and Visibility Under Dry, Wet, and Rainy Conditions: Pilot Field Study ». *Transportation Research Record*, vol. 1973, p. 113-119.
- Carlson, Paul J., Jeffrey D. Miles, Michael P. Pratt et Adam M. Pike. 2005. *Evaluation of Wet-Weather Pavement Markings: First Year Report*. Texas Transportation Institute; Texas Department of Transportation; Federal Highway Administration, 115 p. Transportation Research Board.
- Connor, B., et J. Bennett. 2000. *Selection of pavement marking materials - interim report*. Alaska Department of Transportation and Public Facilities, 23 p. p. Transportation Research Board.
- Cottrell Jr, B. H., et R. A. Hanson. 2001. *Determining the effectiveness of pavement marking materials*. Virginia Transportation Research Council, Virginia Department of Transportation, Federal Highway Administration, 31 p. p. Transportation Research Board.
- Dechaumet, Gérard. 2007. « L'ASQUER dans le contexte européen ». *Revue Générale des Routes et des Aérodrômes*, vol. 861, p. 64-66.
- Direction générale des autoroutes et routes. 2001. « Contrôle des marquages ». In *Catalogue des méthodes d'essais*.
- Gibbons, Ronald B. 2006. *Pavement Marking Visibility Requirements During Wet Night Conditions*. Virginia Tech Transportation Institute
Virginia Department of Transportation, 64p p. Transportation Research Board.
- Gibbons, Ronald, et Jonathan Hankey. 2007a. « Wet Night Visibility of Pavement Markings: Dynamic Experiment ». *Transportation Research Record*, vol. 2015, p. 73-80.
- Gibbons, Ronald, et Jonathan Hankey. 2007b. « Wet Night Visibility of Pavement Markings: Dynamic Experiment ». *Transportation Research Record*, vol. 2015, n^o -1, p. 73-80.
- Hawkins, Neal R., Omar Smadi, Zachary Hans et Thomas H. Maze. 2006. « Integrated Approach to Pavement Marking Management ». *Transportation Research Record*, vol. 1948, p. pp 99-107.
- Hawkins, Neil R., Omar G. Smadi et Zachary Hans. 2005. *Iowa pavement marking management system: initial phases*. Coll. « The 2005 Mid-Continent Transportation Research Symposium ». Iowa State University, Ames, 11 p. Transportation Research Board.
- Hivert, Pascal. 2006. « Sécurité urbaine: des marquages sûrs et efficaces ». *Revue Générale des Routes et des Aérodrômes*, vol. 854, p. 32-34.
- Horberry, Tim, Janet Anderson et Michael A. Regan. 2006. « The possible safety benefits of enhanced road markings: A driving simulator evaluation ». *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 9, n^o 1, p. 77-87.
- Kopf, Jaime. 2004. *Reflectivity of pavement markings: analysis of retroreflectivity degradation curves*. WA-RD 592.1. Seattle: Washington State Transportation Center, 48 p.
-

-
- Lindly, J. K., et R. K. Wijesundera. 2003. *Evaluation of profiled pavement markings*. University of Alabama, Tuscaloosa; Alabama Department of Transportation; University of Alabama, Tuscaloosa, 112 p. Transportation Research Board.
- Lu, J. J. 1995. *Performance of traffic markings in cold regions*. University of Alaska, Fairbanks; Alaska Department of Transportation and Public Facilities; Federal Highway Administration, 93 p. Transportation Research Board.
- Lu, Jian John, et Tony Barter. 1998. « Evaluation of traffic markings in cold regions ». *Journal of Transportation Engineering*, vol. 124, n° 1, p. 42-51.
- Lundkvist, Sven-Olof. 2008b. « Evaluation of Road Equipment with Emphasis on Condition Assessment ». Stockholm, KTH.
- Lundkvist, Sven-Olof, et Ulf Isacsson. 2007. « Prediction of road marking performance ». *Journal of Transportation Engineering*, vol. 133, n° 6, p. 341-346.
- Migletz, James, Jerry Graham, Karin Bauer et Douglas Harwood. 1999. « Field Surveys of Pavement-Marking Retroreflectivity ». *Transportation Research Record*, vol. 1657, p. 71-78.
- Migletz, James, Jerry Graham, Douglas Harwood et Karin Bauer. 2001. « Service Life of Durable Pavement Markings ». *Transportation Research Record*, vol. 1749, p. 13-21.
- Parker, Neville, et Massawe Meja. 2003. « Evaluation of Performance of Permanent Pavement Markings ». *Transportation Research Record*, vol. 1824, p. 123-132.
- Pike, Adam, H. Hawkins et Paul Carlson. 2007a. « Evaluating the Retroreflectivity of Pavement Marking Materials Under Continuous Wetting Conditions ». *Transportation Research Record*, vol. 2015, p. 81-90.
- Pike, Adam, H. Hawkins et Paul Carlson. 2007b. « Evaluating the Retroreflectivity of Pavement Marking Materials Under Continuous Wetting Conditions ». *Transportation Research Record*, vol. 2015, n° -1, p. 81-90.
- Rich, Michael, Robert Maki et Jill Morena. 2002. « Development of a Pavement Marking Management System: Measurement of Glass Sphere Loading in Retroreflective Pavement Paints ». *Transportation Research Record*, vol. 1794, p. 49-54.
- Sarasua, Wayne, Yuchen Wang, David Clarke, Sashank Singulari, Ramana Kornik et Yinghua Zhan. 2001. « Multicriteria Dynamic Segmentation: Geographic Information System Application for Managing Retroreflectivity of Pavement Marking ». *Transportation Research Record*, vol. 1768, p. 250-259.
- Scheuer, Michael, Thomas Maleck et Dale Lighthizer. 1997. « Paint-Line Retroreflectivity over Time ». *Transportation Research Record*, vol. 1585, p. 53-63.
- Schnell, Thomas, et Helmut Zwahlen. 2000. « Computer-Based Modeling to Determine the Visibility and Minimum Retroreflectivity of Pavement Markings ». *Transportation Research Record*, vol. 1708, p. 47-60.
-

Syndicat des équipements de la route. 2005. *Mode d'emploi du référentiel de la Norme NF2 pour les produits de marquage routier.*

Texas Department of Transportation. 2004. *Pavement marking handbook.* 108 p.

Tremblay. 2008. « Classes Ecodyn ». (document non publié)

Tremblay, Michel. 2004. *Guide d'inspection de la durabilité du marquage.* Transport Québec, 14p.