

Guide sur la rétro réflexion du marquage routier

Principes et évaluation



Guide sur la rétro réflexion du marquage routier (Principes et évaluation)



Janvier 2014

Le contenu de cette publication a été préparé par le ministère des Transports du Québec.

Cette publication a été produite par les :
Direction du soutien aux opérations
Ministère des Transports
700, boul. René-Lévesque Est, 22^e étage
Québec (Québec)
G1R 5H1

Direction du laboratoire des chaussées
Ministère des Transports
2700, rue Einstein
Québec (Québec)
G1P 3W8

Auteurs

Frédéric Boily, M. Sc., chimiste
Service des matériaux d'infrastructures

Michel Tremblay, ingénieur, MBA
Service de l'exploitation

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier M. Michaël Côté pour la réalisation des dessins et des schémas, M. Dominic Denis pour le pilotage informatique du système de gestion du marquage et le comité technique sur le marquage pour leurs commentaires constructifs.

Cette publication est disponible en version électronique à l'adresse suivante :
http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/accueil/publications/banque_publications

Janvier 2014

© Gouvernement du Québec

ISBN : 978-2-550-69744-2 (PDF)

Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 1^{er} trimestre de 2014

Préface

Le *Guide sur la rétro réflexion du marquage routier - Principes et évaluation* édition 2013 a pour but d'informer le lecteur sur les principes de base de la visibilité de nuit du marquage routier et sur les différentes procédures d'évaluation de la rétro réflexion. Il s'adresse principalement aux techniciens, ingénieurs et différents professionnels œuvrant dans le domaine du marquage routier.

Cette première édition du *Guide sur la rétro réflexion du marquage routier* s'inscrit dans un processus de formation des différents intervenants et d'amélioration de la signalisation horizontale par une meilleure compréhension de la rétro réflexion du marquage routier.

Ce guide s'appuie sur plusieurs sources d'informations pour décrire adéquatement les principaux concepts de rétro réflexion et les procédures d'évaluation. J'invite donc les différents intervenants à prendre connaissance de ces concepts et ainsi contribuer à l'amélioration de la sécurité routière par l'amélioration de la visibilité de nuit.



Anne-Marie Leclerc, ing., M. Ing.
Sous-ministre adjointe
Direction générale des infrastructures
et des technologies

Introduction

Ce guide a pour but d'informer le lecteur sur les principes de base de la rétro réflexion et d'établir une procédure d'évaluation de la rétro réflexion du marquage routier. Cette évaluation est essentielle, puisqu'elle permet de vérifier la conformité de la visibilité de nuit de la signalisation horizontale avec les spécifications du ministère des Transports du Québec et, par le fait même, contribue à l'amélioration de la sécurité routière.

Ce guide traite, dans un premier temps des concepts généraux de la lumière, de la visibilité de nuit du marquage routier (rétro réflexion et microbilles de verre) et des différentes procédures d'évaluation de la rétro réflexion (évaluation visuelle, avec un rétro réflectomètre portable ou mobile). Par la suite, il présente l'intégration et le traitement des données dans le système de gestion du marquage «www.gerer.prod». En annexe, la fabrication des microbilles de verre, un graphique de suivi annuel sur des sites ponctuels, la procédure de vérification des rétro réflectomètres portables au laboratoire du Service des matériaux d'infrastructures et un exemple de rapport d'évaluation sont exposés.

Puisque le Ministère possède déjà 12 rétro réflectomètres portables LTL-X fabriqués par la compagnie DELTA du Danemark et un rétro réflectomètre mobile de marque ECODYN fabriqué par la compagnie Vectra en France, ce guide présente brièvement ces deux appareils. Cependant, les procédures décrites dans le présent guide pourraient être applicables aux autres appareils du même type, puisque les principes de base (géométrie et autres principes optiques) restent les mêmes.

La méthode ASTM D7585 *Standard Practice for Evaluating Retroreflective Pavement Markings Using Portable Hand-Operated Instruments* a servi de référence dans l'élaboration du présent guide. Cependant, pour tenir compte du contexte du Ministère, la procédure d'échantillonnage (longueur des sections à mesurer, nombre de mesures à prendre, etc.) a été ajustée.

PRÉFACE

INTRODUCTION

1 Définition des concepts	1
1.1 Phénomènes optiques de la lumière	1
1.2 Réflexion diffuse	1
1.3 Réflexion spéculaire	1
1.4 Rétroreflexion	2
2 Visibilité de nuit du marquage routier – rétroreflexion	3
2.1 Géométrie de la rétroreflexion	5
2.2 Microbilles de verre	5
2.3 Facteurs influençant la rétroreflexion	6
2.3.1 Facteurs assurant une rétroreflexion optimale	6
2.3.2 Facteurs externes influençant la rétroreflexion	9
2.4 Exigences générales (norme 14601)	10
3 Évaluation de la rétroreflexion	11
3.1 Évaluation visuelle de la rétroreflexion	11
3.2 Évaluation avec un rétroreflectomètre portable (LTL-X)	14
3.2.1 Procédure d'évaluation du marquage longitudinal	15
3.2.2 Symbole, ligne d'arrêt et passage pour piétons	17
3.3 Évaluation avec un rétroreflectomètre mobile (ECODYN)	18
3.3.1 Principe de l'ECODYN	19
4 Système de gestion du marquage (gerer.prod)	21
4.1 Classification fonctionnelle de la rétroreflexion	21
4.2 Cartographie de la rétroreflexion	23
CONCLUSION	25
ANNEXE I - Fabrication des microbilles de verre	26
ANNEXE II - Suivi annuel de la rétroreflexion sur des sites ponctuels (lignes de rive blanches)	28
ANNEXE III - Vérification des LTL-X en laboratoire (SMI)	29
ANNEXE IV - Exemple de rapport d'évaluation avec un rétroreflectomètre portable	32

Liste des figures

Figure 1	Réflexion diffuse du rayon incident.....	1
Figure 2	Réflexion spéculaire du rayon incident.....	1
Figure 3	Rétroreflexion du rayon incident.....	2
Figure 4	Microbilles de verre.....	3
Figure 5	Rétroreflexion de la lumière des phares vers l'œil du conducteur.....	4
Figure 6	Géométrie de la rétroreflexion.....	5
Figure 7	Épandage des microbilles de verre.....	6
Figure 8	Microbille de verre enfoncée entre 40 % et 60 % de profondeur.....	7
Figure 9	Microbille de verre trop enfoncée.....	7
Figure 10	Microbille de verre pas assez enfoncée.....	7
Figure 11	Pénétration insuffisante.....	8
Figure 12	Quantité suffisante.....	8
Figure 13	Quantité insuffisante.....	8
Figure 14	Rétroreflexion par temps de pluie.....	9
Figure 15	Détermination visuelle de jour de la rétroreflexion.....	12
Figure 16	Détermination visuelle de la rétroreflexion (Réf. : 3M).....	13
Figure 17	Section d'évaluation typique pour un tronçon de 2 km et moins.....	15
Figure 18	Sections d'évaluation typique pour un tronçon entre 2 km et 5 km.....	16
Figure 19	Sections d'évaluation typique pour un tronçon de 5 km et plus.....	16
Figure 20	Rétroreflexion problématique d'une flèche.....	17
Figure 21	Rétroreflectomètre mobile (ECODYN).....	19
Figure 22	Coffret de mesure (ECODYN).....	20
Figure 23	Page d'accueil du système de gestion du marquage.....	21
Figure 24	Carte de rétroreflexion de la Direction de la Capitale-Nationale.....	23
Figure 25	Zoom sur la carte de la Direction de la Chaudière-Appalaches.....	24
Figure 26	Fabrication des microbilles de verre.....	27
Figure 27	Montage de rétroreflexion variable.....	29

Liste des tableaux

Tableau 1	Classification fonctionnelle de la rétroreflexion (mcd/lux/m ²).....	22
Tableau 2	Granularité des microbilles de verre.....	26

1

Définition des concepts

1.1 Phénomènes optiques de la lumière

Lorsqu'on circule en automobile de soir ou de nuit (faible luminosité) en l'absence d'une source lumineuse externe (lampadaire), la visibilité des lignes de marquage est assurée essentiellement par la lumière des phares. La réflexion de la lumière projetée par les phares peut alors être diffuse, spéculaire ou rétro-réfléchie (visibilité de nuit). Les sections suivantes expliquent brièvement ces trois phénomènes optiques de la lumière.

1.2 Réflexion diffuse

Lorsque la surface est irrégulière, la lumière incidente est réfléchie dans un grand nombre de directions. Dans le cas du marquage routier, même si une certaine partie des rayons incidents peut retourner vers l'œil du conducteur, elle n'est pas suffisante pour assurer une visibilité de nuit du marquage. La figure 1 illustre ce phénomène de réflexion diffuse de la lumière.

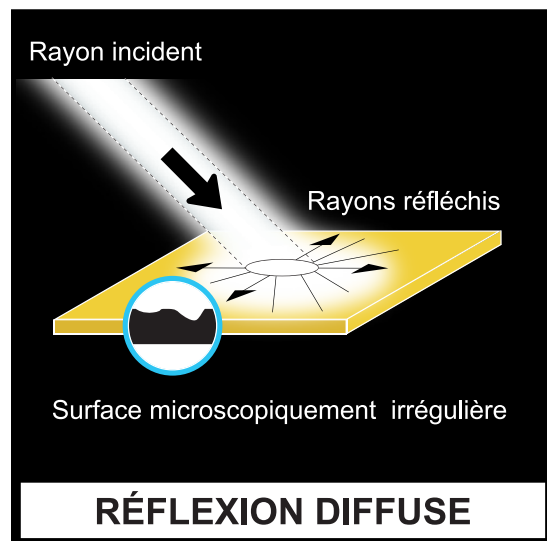


Figure 1 Réflexion diffuse du rayon incident

1.3 Réflexion spéculaire

Lorsque la surface est lisse, la lumière incidente provenant des phares est réfléchie en un rayon réfléchi unique dans la direction opposée à la source lumineuse avec un angle égal à l'angle du rayon incident. Cet « effet miroir » dépend principalement de la microsurface du substrat.

Plus la surface est lisse, meilleur est le phénomène de réflexion spéculaire. La figure 2 illustre ce phénomène de réflexion spéculaire de la lumière.

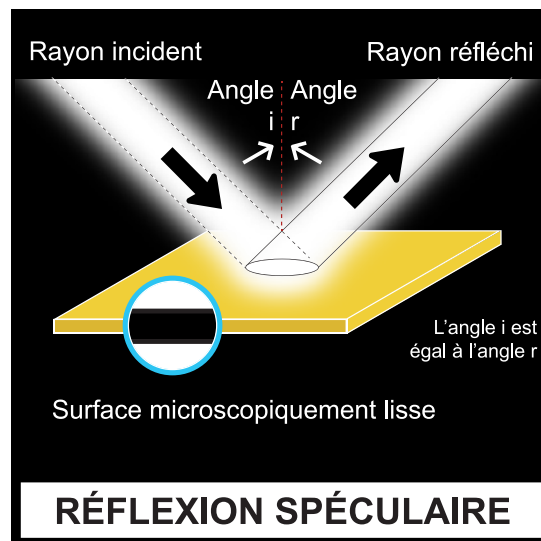


Figure 2 Réflexion spéculaire du rayon incident

1.4 Rétroreflexion

Lorsque la surface contient des éléments réfléchissants qui ont la capacité de retourner la lumière dans la même direction (ex. : microbilles de verre), la lumière incidente provenant des phares est rétrorefléchiée vers l'œil du conducteur. Idéalement, l'énergie du rayon incident se retrouve totalement rétrorefléchiée vers l'œil du conducteur. La figure 3 montre ce phénomène de rétroreflexion de la lumière.

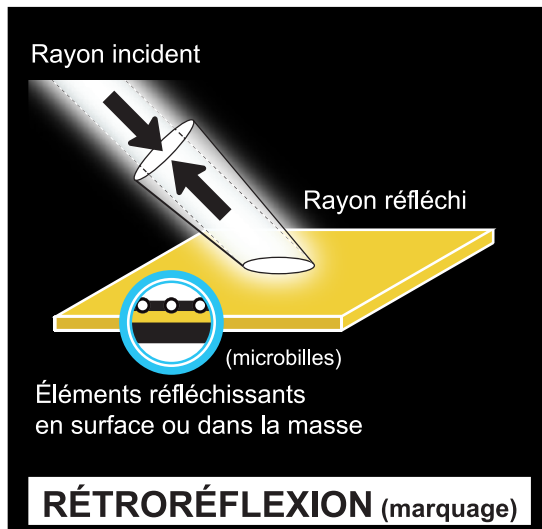


Figure 3 Rétroreflexion du rayon incident

2

Visibilité de nuit du marquage routier – Rétroreflexion

Dans la majorité des situations, la visibilité de nuit du marquage routier est assurée par le mélange des trois principes décrits précédemment. Cependant, le principe de rétroreflexion de la lumière est de loin le plus important pour détecter adéquatement les lignes de marquage et avoir une visibilité de nuit adéquate. Pour obtenir cette rétroreflexion, des microbilles de verre sphériques (figure 4) ayant un diamètre se situant majoritairement entre 0,3 mm et 0,6 mm sont ajoutées aux produits de marquage. Sans l'ajout de ces microbilles, il serait plus difficile pour un conducteur de percevoir adéquatement les lignes de marquage lorsque l'éclairage diffus est faible ou inexistant.



Figure 4 Microbilles de verre

L'ajout des microbilles fait en sorte que les rayons incidents provenant des phares d'une automobile sont rétro réfléchis vers l'œil du conducteur (figure 5), ce qui accroît la visibilité du marquage.

De plus, puisque très peu de lumière se disperse lorsqu'elle est réfléchiée, les lignes de marquage semblent plus brillantes pour un observateur situé près de la source lumineuse d'origine. Ainsi, un individu au volant d'une voiture se trouve dans la position idéale pour percevoir la lumière réfléchiée par les microbilles.

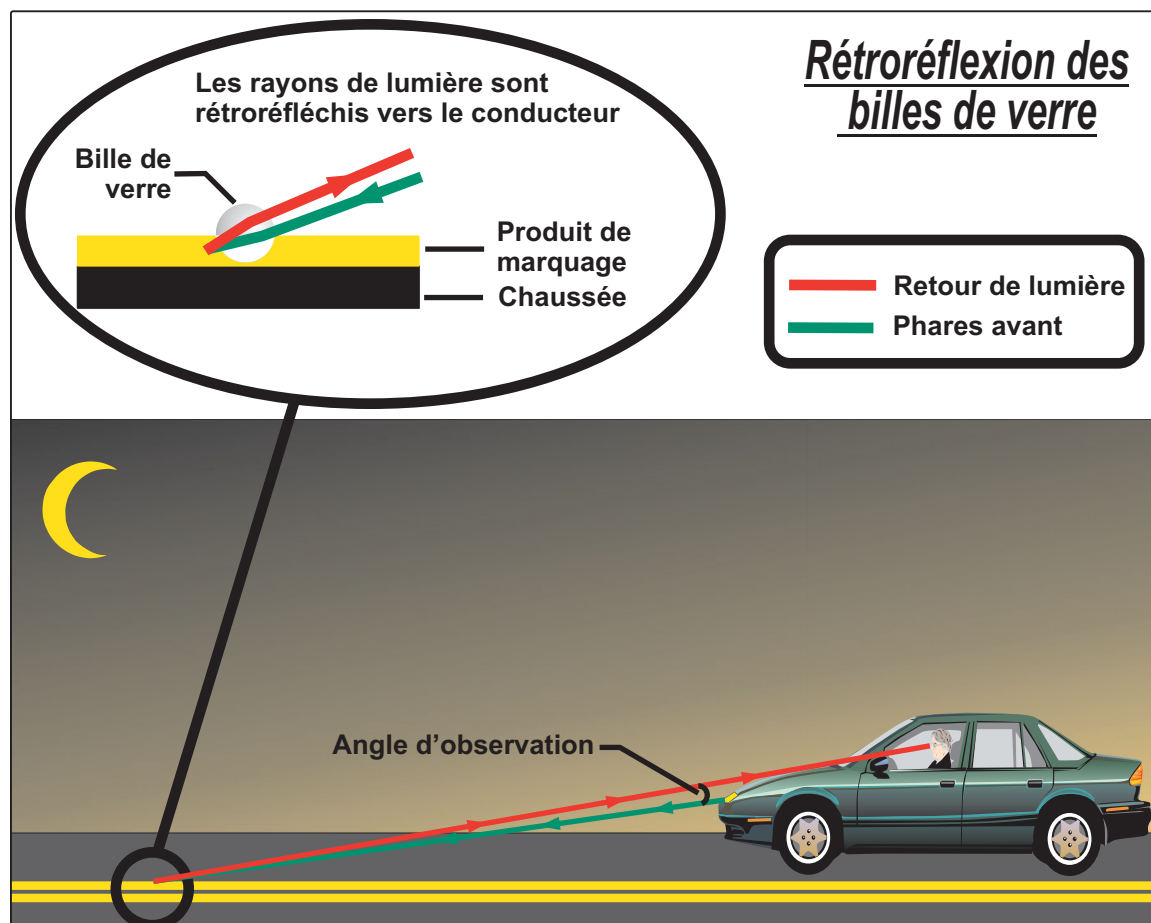


Figure 5 Rétroreflexion de la lumière des phares vers l'œil du conducteur

La rétroreflexion (visibilité de nuit du marquage) est exprimée par le coefficient de luminance rétrorefléchie (R_L). Celui-ci est mesuré par le ratio de luminance (L) de la ligne de marquage dans la direction d'observation divisée par l'illumination (E_L) mesurée à la normale par rapport à la chaussée¹ (voir figure 6).

$$R_L = L/E_L$$

Ce coefficient de luminance rétrorefléchie (R_L) est exprimé en millicandelas par lux par mètre carré (mcd/lux/m²).

Pour obtenir une visibilité de nuit adéquate, la revue de littérature, réalisée par Nicolas Saunier et collab., indique que la rétroreflexion minimale devrait être de 100 mcd/lux/m² et initialement être supérieure à 200 mcd/lux/m². Les seuils déterminés par le Ministère sont présentés dans la section 4.1 du présent document.

1. Pour plus de détails sur la description de la rétroreflexion, consulter la méthode ASTM E808 *Standard Practice for Describing Retroreflection*.

2.1 Géométrie de la rétro réflexion

La rétro réflexion est mesurée selon des paramètres géométriques définis par des normes internationales telles que les normes européenne (CEN EN 1436 *Road Marking Materials - Road Marking Performance for Road Users*) et américaine (ASTM E1710 *Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using portable Retroreflectometer*) et correspond à un angle d'éclairage (β) de $88,76^\circ$ par rapport à la normale et à un angle d'observation (V) de $1,05^\circ$ (angle entre l'angle d'éclairage et l'axe d'observation). Dans la littérature, on exprime souvent l'angle d'éclairage à $1,24^\circ$ qui correspond à l'angle d'éclairage complémentaire ($\beta_c = 90^\circ - \beta$).

Ces paramètres géométriques simulent la visibilité, par le conducteur, du marquage à une distance de 30 m lorsque celui-ci est éclairé avec les phares d'une automobile (standard) situés à 0,65 m de hauteur et que l'observateur (yeux) se trouve à 1,20 m de hauteur. La figure 6 montre les différents paramètres géométriques représentant la mesure de la rétro réflexion avec les différents appareils.

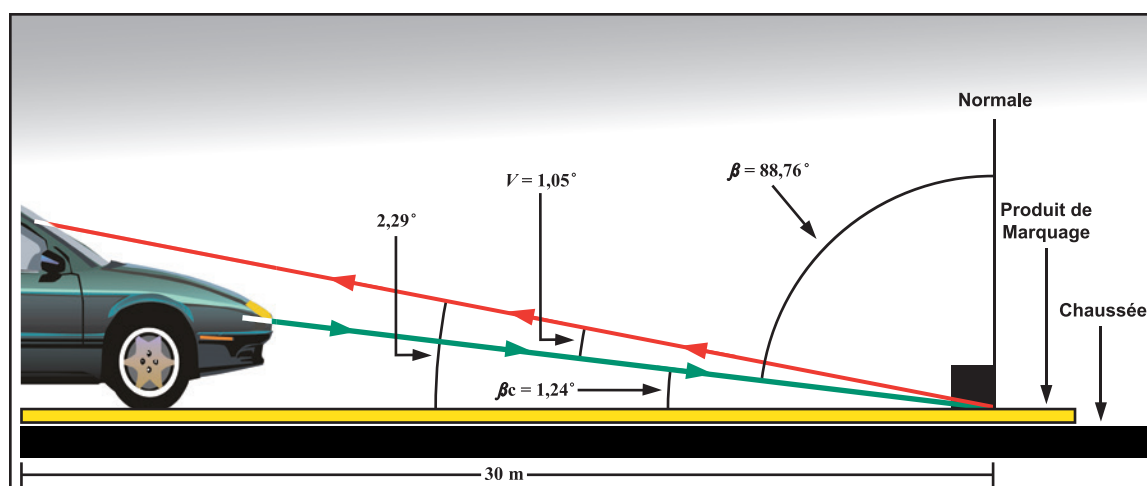


Figure 6 Géométrie de la rétro réflexion

2.2 Microbilles de verre

Comme mentionné précédemment, la rétro réflexion est obtenue en ajoutant des microbilles de verre sur et dans le produit de marquage en même temps que la pose de ce dernier. Généralement, l'ajout de microbilles se fait par saupoudrage, soit par jet à pression ou par gravité au moyen de fusils applicateurs situés directement à l'arrière de celui servant à appliquer le produit de marquage (figure 7). La fabrication des microbilles de verre est décrite à l'annexe I.

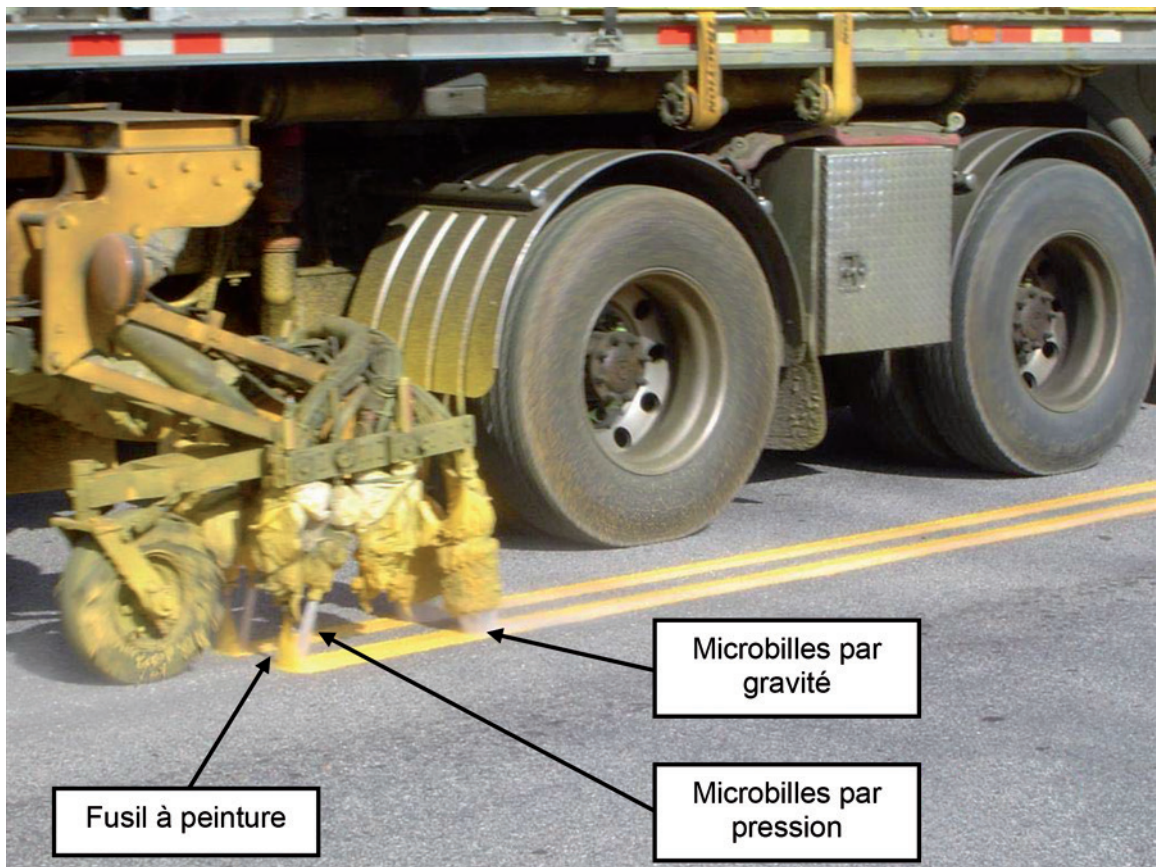


Figure 7 Épandage des microbilles de verre

Ces microbilles de verres agissent comme des petits miroirs qui rétrofléchissent la lumière des phares vers l'observateur. La rétroflexion de la lumière provenant des phares s'opère selon le principe de physique optique décrit à la section 1.4. Tout d'abord, la lumière subit une réfraction en pénétrant dans la microbille (principe par lequel la direction d'un rayon de lumière change de direction lorsqu'il passe d'un milieu transparent (air) à un autre (verre)). Par la suite, cette lumière est rétrofléchie à l'arrière de la microbille dans la direction d'où elle provenait.

Ce retour de lumière est principalement attribuable aux pigments à l'intérieur de la peinture. Pour finir, la lumière subit une deuxième réfraction lorsqu'elle sort de la microbille.

2.3 Facteurs influençant la rétroflexion

2.3.1 Facteurs assurant une rétroflexion optimale

Pour que le retour de lumière soit optimal, sept caractéristiques de la microbille de verre doivent être respectées :

Qualité

- Les microbilles de verre doivent être sphériques, avoir une surface lisse et lustrée, et être exemptes des imperfections suivantes : aspect blanchâtre, fractures et inclusions gazeuses excessives.

Indice réfractaire

- L'indice réfractaire des microbilles doit être d'au moins 1,50 pour permettre que la déviation de la lumière au contact de la microbille de verre soit optimale.

Niveau de pénétration

- Afin d'obtenir un retour de lumière optimal, le niveau de pénétration des microbilles dans le produit de marquage est extrêmement important. Idéalement, les microbilles doivent être enfoncées entre 40 % et 60 % dans le produit de marquage (figure 8).

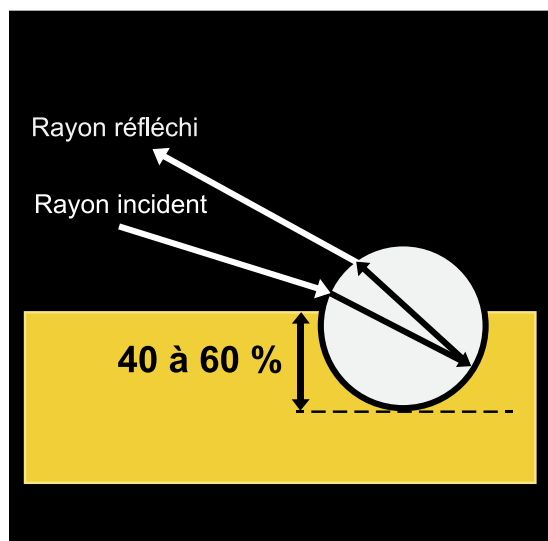


Figure 8 Microbille de verre enfoncée entre 40 % et 60 % de profondeur

Lorsque les microbilles sont trop enfoncées dans le produit de marquage, peu de lumière provenant des phares peut y pénétrer et les rayons qui entrent à l'intérieur des microbilles subissent une réflexion interne et ne retournent pas vers l'œil du conducteur (figure 9).

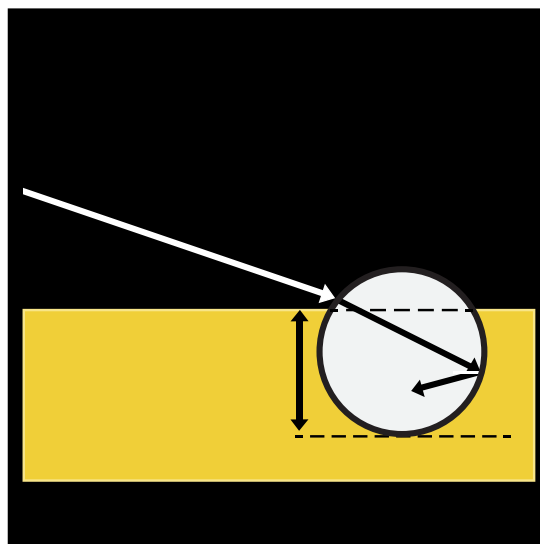


Figure 9 Microbille de verre trop enfoncée

Lorsque les microbilles ne sont pas suffisamment enfoncées, la lumière provenant des phares traverse directement les microbilles sans être rétrofléchie vers le conducteur (figures 10 et 11). De plus, si l'enfoncement est insuffisant, les microbilles adhèrent moins bien au produit de marquage et peuvent être plus facilement arrachées.

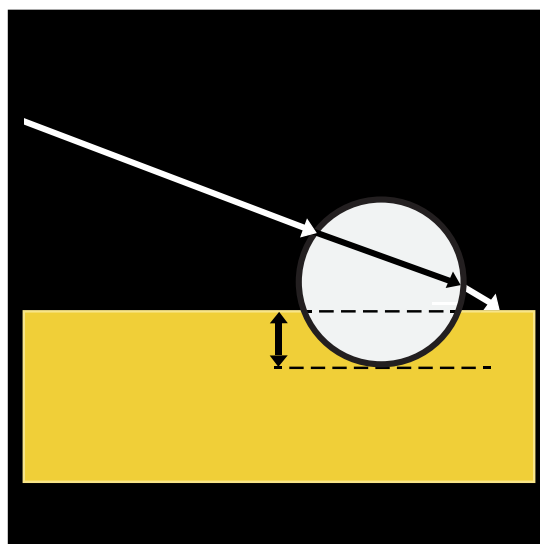


Figure 10 Microbille de verre pas assez enfoncée

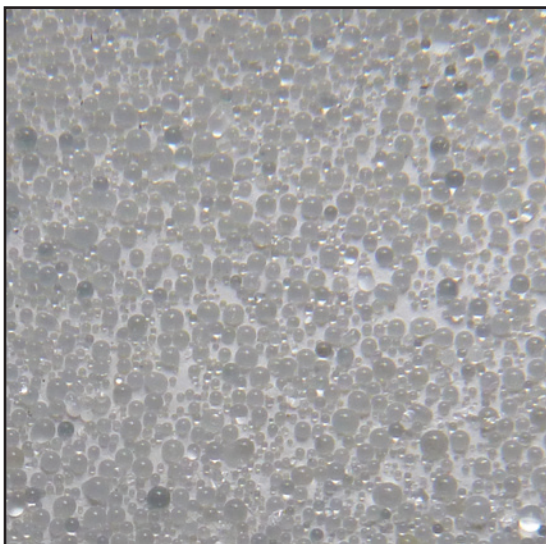


Figure 11 Pénétration insuffisante

Quantité

- La quantité de microbilles de verre ajoutées au produit de marquage joue aussi un rôle important dans la rétro réflexion (figure 12). Si la quantité est trop faible (figure 13), il y aura peu de lumière qui sera rétro-réfléchi vers l'œil du conducteur et si la quantité est trop élevée, il y aura un phénomène «d'ombrage» entre les microbilles de verre.



Figure 12 Quantité suffisante

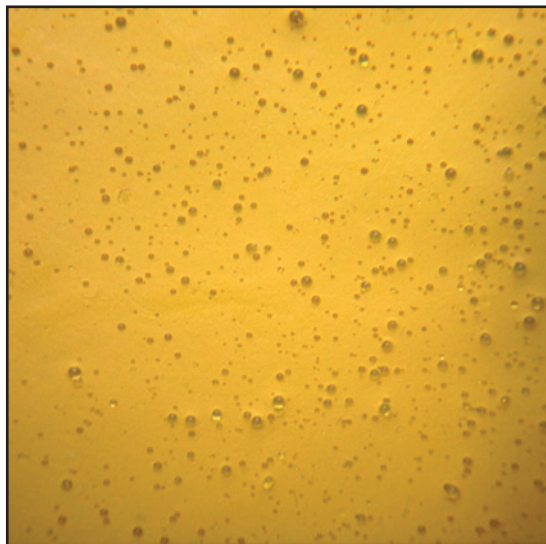


Figure 13 Quantité insuffisante

Dispersion

- La dispersion des microbilles de verre à l'intérieur du produit de marquage est très importante pour être en mesure d'assurer une rétention de cette rétro réflexion. Au fur et à mesure que le marquage use, de nouvelles microbilles apparaissent à la surface du marquage et assurent la rétro réflexion.

Revêtement

- Le revêtement de chacune des microbilles de verre est aussi très important pour assurer une rétention de la rétro réflexion. Actuellement, le Ministère utilise des microbilles ayant un premier revêtement hydrofuge à base de silicone empêchant ces dernières de s'agglomérer et un second revêtement d'adhérence à base de silane favorisant le lien entre les microbilles et le produit de marquage.

Qualité du pigment

- La qualité du pigment (couleur) entrant dans la fabrication des produits de marquage peut avoir une influence directe sur la rétro réflexion. Le pigment joue le rôle de «miroir» pour rétro-réfléchir la lumière vers l'œil du conducteur.

En général, c'est le dioxyde de titane (TiO_2) qui agit de concert avec les microbilles dans le phénomène de rétro réflexion. Comme la peinture blanche contient un niveau supérieur de TiO_2 , sa valeur de rétro réflexion est généralement 20 % à 35 % supérieure à celle obtenue pour les produits de couleur jaune.

2.3.2 Facteurs externes influençant la rétro réflexion

Outre les facteurs se rapportant directement aux microbilles de verre (absence, fracturation et autres facteurs décrits à la section 2.3.1), plusieurs facteurs externes peuvent aussi avoir une grande influence sur la rétro réflexion. La plupart du temps, la rétro réflexion diminue considérablement lorsque les microbilles sont recouvertes d'un « corps étranger ».

La saison hivernale joue un rôle important dans la diminution de la rétro réflexion. Comme on peut le remarquer sur le graphique de l'annexe II, la rétro réflexion diminue grandement dès la première chute de neige. En plus de la neige et des abrasifs (sable et autres) qui peuvent recouvrir les microbilles de verre, le sel appliqué sur la route a un impact direct sur la visibilité de nuit (parfois même de jour). Lorsque la chaussée sèche, le sel en solution se dépose à la surface des microbilles de verre et les obstrue. Donc, comme dans le cas des autres substances masquant les microbilles, le sel fait en sorte que la lumière provenant des phares est réfléchi de façon diffuse à la surface. La visibilité de nuit est donc fortement diminuée. De plus, une revue de littérature réalisée pour le Ministère tend à démontrer que la cause principale de la perte de rétention de la rétro réflexion est l'entretien hivernal (Projet R687.1).

La pluie agit aussi directement sur le niveau de rétro réflexion. Comme on peut le remarquer sur le graphique de l'annexe II, la rétro réflexion est très affectée par la pluie. Même une légère bruine fait diminuer la rétro réflexion. Lorsque les microbilles de verre sont recouvertes d'une mince couche d'eau, la lumière provenant des phares subit une réflexion diffuse au contact de l'eau (figure 14), ce qui fait en sorte que peu de rayons incidents pénètrent dans les microbilles de verre et sont rétro réfléchis vers l'œil du conducteur.

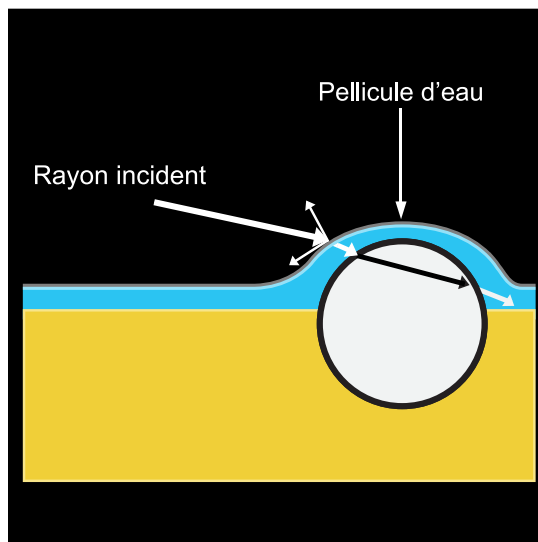


Figure 14 Rétro réflexion par temps de pluie

Pour essayer de contrer ce phénomène, les fabricants de microbilles de verre ont conçu des microbilles ayant un diamètre 2 à 4 fois plus grand que les microbilles habituelles. Cependant, les essais effectués au Ministère n'ont pas démontré de gain, puisque ces microbilles n'ont pas une bonne résistance face aux équipements de déneigement utilisés au Québec. De plus, cette perte peut être aléatoire aux endroits qui sont recouverts d'eau. Donc, il n'est pas rare d'observer sur une courte section des endroits avec ou sans rétro réflexion.

La technique de projection des microbilles de verre utilisée peut aussi avoir un impact majeur sur la rétro réflexion. Tout d'abord, lors de l'application par le camion-traceur, une légère bruine de peinture peut être projetée à la surface des microbilles de verre et venir les « masquer ». Deuxièmement, la technique de projection des microbilles peut faire en sorte qu'elles roulent au contact de la peinture et ainsi créer un léger ourlet de peinture sur un des côtés des microbilles.

Ces deux problématiques disparaissent après le passage répété des véhicules d'où la période d'attente minimale de 2 semaines entre l'application et la prise de mesures de rétro réflexion. Le Ministère développe des techniques de projection des microbilles de verre pour minimiser ces problématiques et ainsi améliorer les valeurs de rétro réflexion.

Les autres substances masquant les microbilles influencent également la rétro réflexion. Lorsque les microbilles de verre sont masquées par une autre substance (débris, saletés, traces de freinage, huile, etc.), la lumière provenant des phares n'atteint pas les microbilles de verre et par le fait même ne peut pas être rétro réfléchi vers l'œil du conducteur. Les rayons incidents subissent plutôt une réflexion diffuse, ce qui fait en sorte d'affecter grandement la visibilité de nuit.

Finalement, **l'irrégularité du pavage** fait en sorte qu'il peut y avoir un phénomène d'ombrage faisant en sorte de diminuer la rétro réflexion. Puisque l'angle d'éclairage et celui d'observation sont très faibles, la moindre bosse peut avoir un effet sur la visibilité de nuit.

2.4 Exigences générales (norme 14601)

Étant donné l'importance des microbilles de verre sur la sécurité routière, le Ministère en applique sur les routes du Québec depuis 1944. Annuellement, il utilise plus de 2,5 millions de kg de microbilles de verre. Comme mentionné dans la norme 14601 - Microbilles de verre pour peinture servant au marquage des routes, les microbilles utilisées par le Ministère doivent avoir un contenu minimal de 90 % de résidus de verre. Les résidus peuvent provenir de verre résultant d'un procédé industriel (**préconsommation**), ou de verre dont le consommateur s'est débarrassé après usage (**postconsommation**), et qui auraient normalement rejoint le flux des déchets s'ils n'en avaient pas été détournés.

Le Ministère a été l'une des premières administrations publiques à imposer aux fabricants de microbilles de verre l'utilisation des résidus de verre en plus d'imposer des limitations quant aux teneurs d'antimoine, d'arsenic et de plomb et en décembre 2012, de mercure et de cadmium.

3 Évaluation de la rétroreflexion

Il est important de noter que, avant de faire une évaluation sur la route, il faut s'assurer d'avoir la signalisation nécessaire pour pouvoir travailler de façon sécuritaire. La signalisation doit être conforme aux planches de signalisation des travaux du Tome V – *Signalisation routière* du ministère des Transports. De plus, si la situation est jugée dangereuse, il est préférable d'utiliser un rétroreflectomètre mobile pour procéder à l'évaluation.

Lorsque l'évaluation est faite sur du marquage nouvellement appliqué, **il est recommandé d'attendre environ 2 semaines** avant de procéder à la prise de mesures, mais sans dépasser 6 semaines après l'application. Cette période d'attente minimale est nécessaire pour limiter les facteurs externes pouvant mener à des valeurs erronées. Par exemple, l'excès de microbilles de verre, la présence d'une fine couche de peinture sur les microbilles ou un curage incomplet des produits peuvent mener à des valeurs de rétroreflexion plus basses qu'elles ne le sont réellement. Le passage des automobiles pendant cette période permet de «nettoyer» le produit de marquage et d'obtenir des résultats significatifs. Il est à noter que, lors de l'homologation des produits de marquage longitudinal au ministère des Transports, une période minimale de deux semaines est allouée entre l'application du marquage et la prise de mesures de rétroreflexion initiale. De plus, les 50 premiers mètres d'un marquage nouvellement appliqué (contrat) devraient être évités, car souvent ils ne sont pas représentatifs de l'ensemble du contrat (ajustements normaux).

Lorsque l'évaluation est faite sur du marquage existant (quelques mois ou années), une précaution particulière doit être prise pour choisir une section représentative du marquage. La section choisie doit être exempte de débris, de saletés, de traces de freinage ou d'huile. De plus, on ne doit pas choisir une section d'évaluation à proximité d'une carrière, d'une ferme ou de tout autre endroit pouvant «contaminer» la ligne de marquage.

Les courbes ou toute autre section extrêmement dégradée ne devraient pas non plus être choisies lors de l'évaluation de la rétroreflexion, sauf si l'on veut l'évaluer dans ces cas précis. Si l'évaluation doit être faite dans une courbe, il est important d'augmenter le nombre de mesures comparativement à ce qui est décrit dans la section 3.2.

Que ce soit dans le cas de l'évaluation d'un nouveau marquage ou d'un marquage existant, il faut absolument que la ligne de marquage soit sèche lors de la prise de rétroreflexion. La prise de mesures doit donc être interrompue dès l'apparition des premières gouttes de pluie, puisque l'eau à la surface de la ligne de marquage a un effet très négatif sur la rétroreflexion. Si la prise de mesures doit être faite tôt au printemps, il faut attendre au moins deux averses de pluie abondante pour permettre à la chaussée de se nettoyer (sel déglacant, abrasif, etc.).

La prise de mesures en hiver est à proscrire, puisque la présence d'une couche de sel sur la ligne de marquage aurait pour effet de diminuer considérablement la rétroreflexion. De plus, l'appareil serait utilisé à des températures inférieures à celles prescrites par le fabricant (0 °C à 45 °C).

3.1 Évaluation visuelle de la rétroreflexion

Pour évaluer rapidement la rétroreflexion d'un nouveau marquage ou d'un marquage existant, on peut se servir d'une méthode d'évaluation visuelle qui peut être réalisée de jour ou de nuit. Dans les deux cas, les méthodes ne servent qu'à établir un ordre de grandeur et ne peuvent être utilisées pour établir si la rétroreflexion est conforme aux spécifications du Ministère. Lorsqu'une évaluation visuelle est faite sur

un marquage existant et non nouvellement appliqué, plusieurs personnes expérimentées devraient participer à l'évaluation. L'utilisation d'un rétroreflectomètre portable ou mobile devrait toujours être privilégiée pour mesurer la rétroreflexion. Cependant, l'évaluation visuelle permet de repérer rapidement les zones problématiques devant faire l'objet d'une évaluation avec un rétroreflectomètre.

L'évaluation visuelle de jour permet d'évaluer rapidement la qualité de la pose des microbilles de verre et de déterminer les sections problématiques. Le principe est de simuler la rétroreflexion de nuit en remplaçant les phares d'un véhicule par la lumière du soleil. Pour obtenir un meilleur résultat, l'évaluation doit être faite lorsque le soleil est le plus bas, donc tôt le matin ou en fin de journée. Pour procéder à l'évaluation visuelle de jour, suivre les recommandations suivantes :

- avant de procéder à l'évaluation visuelle du marquage, s'assurer d'avoir la signalisation nécessaire pour pouvoir travailler de façon sécuritaire. Se référer au *Tome V – Signalisation routière*;
- s'assurer que le marquage est propre et sec;
- se placer dos au soleil de sorte que votre ombrage arrive légèrement en avant de la section que vous voulez évaluer (figure 15);
- noter les zones où il y a absence de rétroreflexion (brillance);
- se déplacer légèrement de façon à couvrir toute la section d'évaluation.

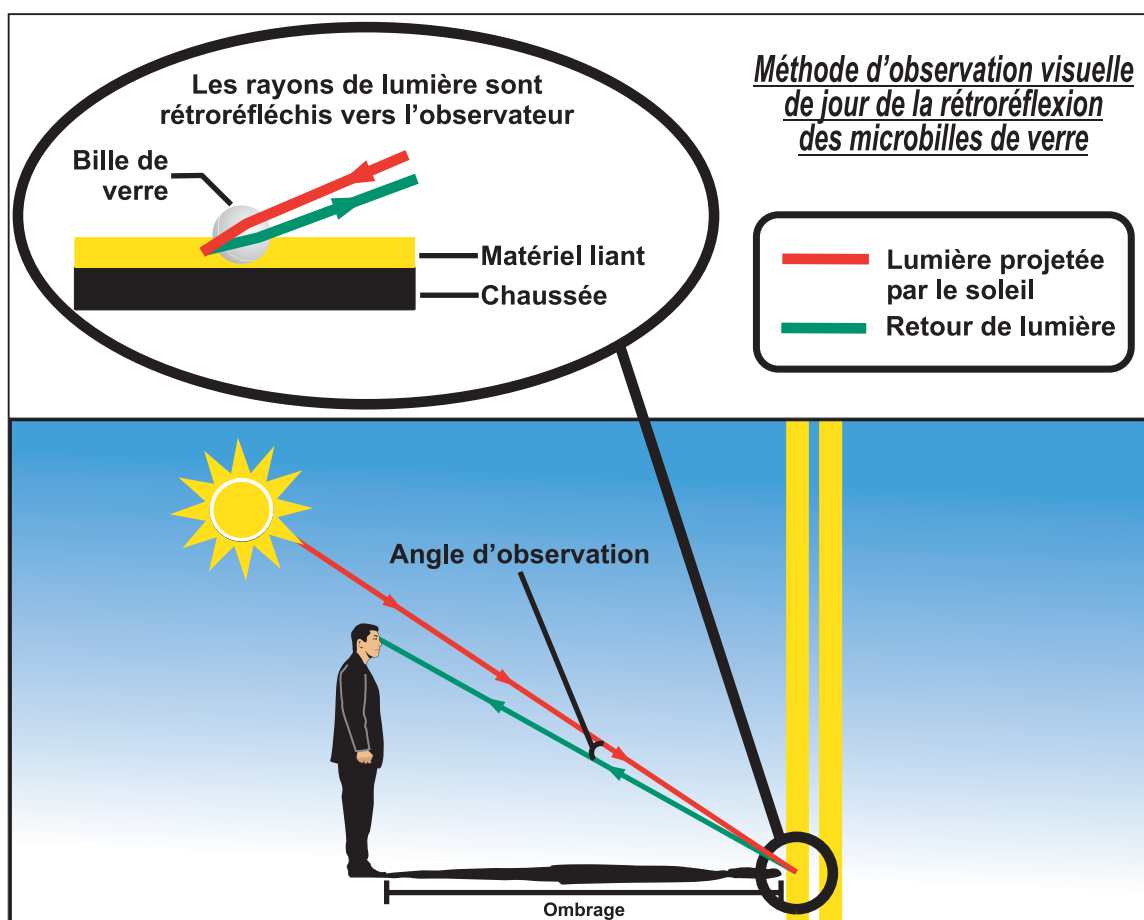


Figure 15 Détermination visuelle de jour de la rétroreflexion

L'évaluation visuelle de nuit permet aussi de déterminer rapidement les sections problématiques. Pour procéder à l'évaluation visuelle de nuit, suivre les recommandations suivantes :

- avant de procéder à l'évaluation visuelle du marquage, s'assurer que c'est suffisamment sombre, que le marquage est sec et qu'il n'y a pas apparence de pluie, de brouillard ou de tout autre type de précipitation;
- utiliser une automobile ou une camionnette avec les phares à la position basse intensité pour procéder à l'inspection. Plusieurs personnes avec de l'expérience devraient participer à l'évaluation;
- regarder droit devant (par le pare-brise) et conduire à la vitesse légale;
- chercher les zones où la rétro réflexion semble plus basse que sur l'ensemble de la route à inspecter ou les zones où la rétro réflexion n'est pas uniforme. Par exemple, sur une seule des deux lignes pour une ligne double. Dans le cas d'un nouveau marquage, les zones où la rétro réflexion n'est pas uniforme sont souvent caractérisées par l'absence de microbilles de verre ou une dispersion inadéquate;
- si des zones problématiques ont été observées, retourner les inspecter de jour pour s'assurer que ce n'est pas un facteur externe qui a fait diminuer la rétro réflexion (saleté, usure excessive, etc.) Si ce n'est pas le cas, l'évaluation avec un rétro réflectomètre est nécessaire.

La figure 16 montre différents niveaux de rétro réflexion. Comme on peut le remarquer, il est difficile d'établir visuellement avec exactitude la mesure de la rétro réflexion.

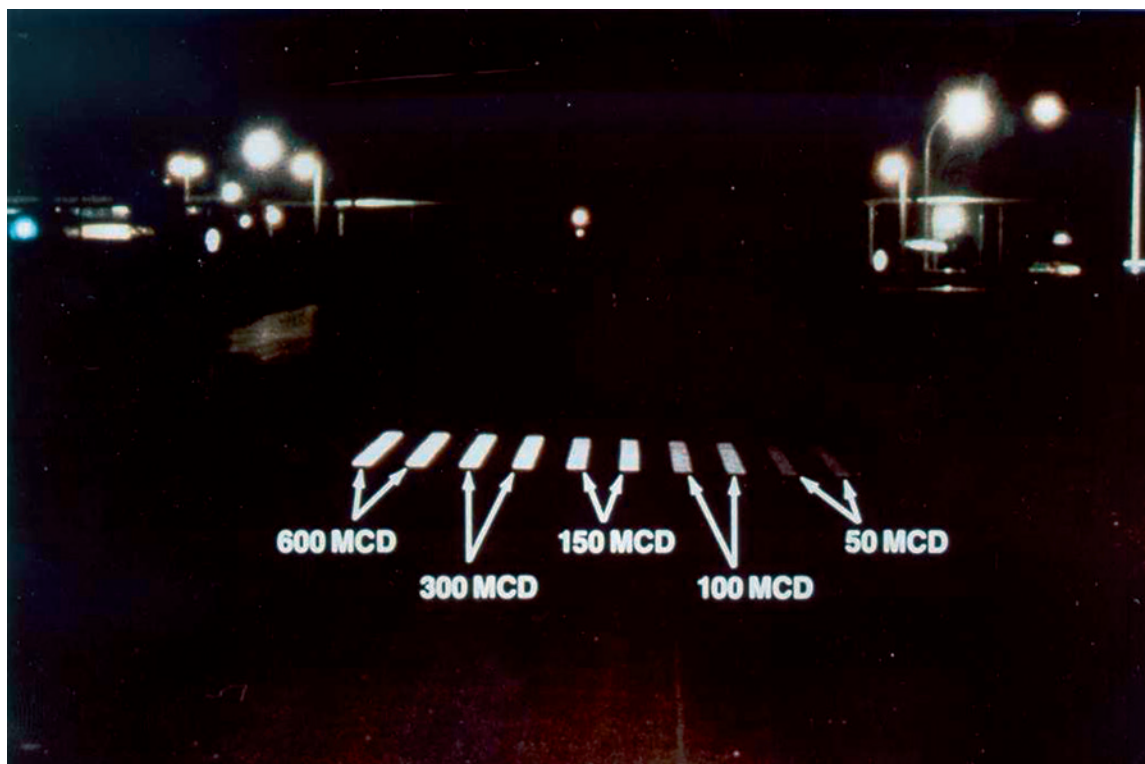


Figure 16 Détermination visuelle de la rétro réflexion (Réf. : 3M)

Comme le montre la figure 16, lorsque la valeur de la rétro réflexion est très basse, la détection des lignes de marquage est difficile. De même, lorsque la valeur de la rétro réflexion est très élevée, il est difficile d'établir visuellement la mesure avec exactitude. De plus, passé un certain niveau, il n'y a plus nécessairement de gain pour la sécurité routière.

3.2 Évaluation avec un rétro réflectomètre portable (LTL-X)

Le rétro réflectomètre LTL-X fabriqué par DELTA permet de prendre des mesures de rétro réflexion en conformité avec les normes internationales établies², c'est-à-dire qu'il respecte les paramètres géométriques décrits à la section 2.1. Il est très simple d'utilisation et ne nécessite aucune connaissance particulière. Pour obtenir des lectures de rétro réflexion valables, il est approprié de suivre les recommandations suivantes tirées du manuel technique :

- utiliser un appareil dont la batterie est entièrement chargée. Une batterie à pleine charge permet de travailler durant une journée complète;
- étalonner le LTL-X avant chaque nouvelle série de mesures;
- maintenir la fenêtre optique sous l'appareil propre. Dans le même ordre d'idées, garder aussi les blocs d'étalonnage propres;
- positionner l'appareil adéquatement sur le marquage routier qui est exempt de débris et vérifier sa stabilité. Un appareil instable ou des débris sous ce dernier peut modifier considérablement la lecture de rétro réflexion;
- ne pas appliquer de pression sur la poignée lors de la prise d'une mesure, car cela pourrait modifier la géométrie et donc la mesure;
- prendre plusieurs lectures au même endroit si la précision est très importante. Par exemple, prendre au moins trois mesures et noter la moyenne (calculée par l'appareil). Il n'est pas inhabituel d'observer des variations de 5 % à 20 % lorsque l'appareil est déplacé de quelques millimètres;
- s'assurer qu'il n'y a pas d'objet, de personne ou de matériau rétro réfléchissant (ex. : délinéateur de surface, bottes de travail, etc.) à moins de 1 m devant le LTL-X. Puisque le champ d'observation s'étend au-delà de l'ouverture frontale, la présence d'un objet pourrait modifier la lecture de rétro réflexion;
- utiliser le rétro réflectomètre entre 0 °C et 45 °C.

En respectant ces recommandations, la marge d'erreur sur les mesures prises avec le LTL-X devrait être inférieure à 10%.

Pour en connaître plus sur l'utilisation du rétro réflectomètre LTL-X, se référer au manuel technique ou à l'aide-mémoire de DELTA.

Puisque le Ministère possède déjà 12 appareils LTL-X fabriqués par DELTA et que les coûts liés à la calibration de ces appareils sont très élevés, le Service des matériaux d'infrastructures (SMI) a élaboré un programme de vérification qui a pour but d'établir le bon fonctionnement des différents appareils du

2. ASTM E1710 *Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using portable Retroreflectometer.*

ASTM D4061 *Standard Test Method for Retroreflectance of Horizontal Coatings* et CEN EN 1436 *Road Marking Materials - Road Marking Performance for Road Users.*

Ministère et ultimement de conseiller si une calibration à l'externe est nécessaire. Le programme de vérification du SMI est présenté à l'annexe III.

3.2.1 Procédure d'évaluation du marquage longitudinal

Les procédures d'évaluation avec un rétroréflexomètre portable décrites ci-dessous sont une modification de l'ASTM D7585 et s'appliquent à du marquage longitudinal comme les lignes de rive, les lignes de centre, les pointillés. Des spécifications en fonction de la longueur du segment à évaluer sont présentées à la suite de la procédure. Ainsi, afin de procéder à l'évaluation du marquage longitudinal, le personnel du Ministère devrait procéder de la façon suivante :

- choisir aléatoirement une ou des sections d'évaluation de 100 mètres selon la longueur du segment à évaluer (figure 17) et s'assurer d'avoir la signalisation nécessaire pour pouvoir travailler de façon sécuritaire. Se référer au *Tome V – Signalisation routière*;
 - o Si plus d'une section est évaluée, chaque section de 100 mètres devrait être espacée également pour permettre de couvrir l'ensemble du tronçon.
- calibrer le rétroréflexomètre à l'aide du standard terrain;
- prendre 20 lectures de rétroréflexion sur chacune des lignes continues dans le sens de la circulation³. Comme il se peut qu'une seule ligne soit problématique, noter les résultats (mcd/lux/m²) de chaque ligne continue individuellement dans un rapport d'inspection (annexe IV). Il est nécessaire de prendre les 20 lectures à intervalles réguliers de 5 mètres;
- prendre 2 lectures de rétroréflexion par «pointillé» dans la section d'évaluation et noter chacun des résultats (mcd/lux/m²) dans un rapport d'inspection (annexe IV);
- pour plus de représentativité de la rétroréflexion, les lectures ne doivent pas être prises à moins de 30 cm du début ou de la fin du marquage.

Lorsque l'évaluation de la rétroréflexion doit être faite sur un tronçon de 2 km et moins et que la rétroréflexion semble pratiquement identique sur l'ensemble du tronçon, choisir au moins une section d'évaluation de 100 mètres. Si la rétroréflexion semble variable, choisir plusieurs sections de 100 mètres. La ou les sections d'évaluation doivent être représentatives du tronçon. Cependant, on peut choisir une section problématique si c'est cette section qui est d'intérêt.

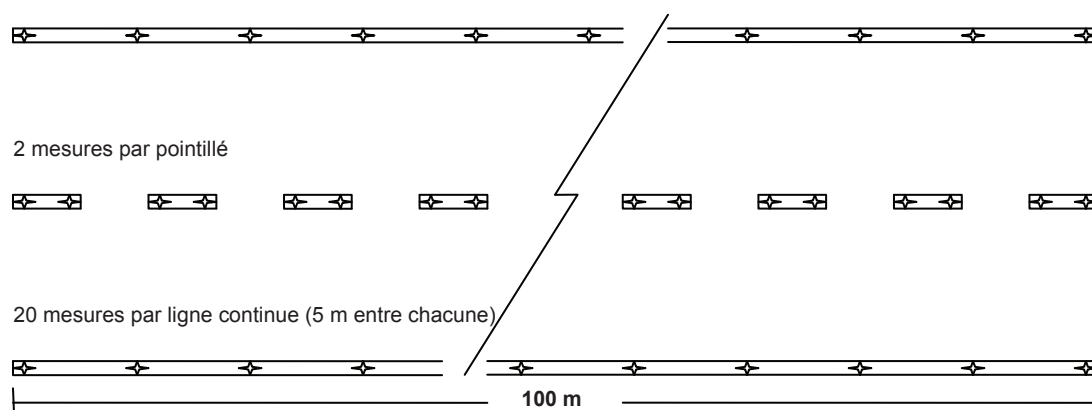


Figure 17 Section d'évaluation typique pour un tronçon de 2 km et moins

3. Pour les lignes doubles, les mesures doivent être prises dans les deux sens, puisqu'il se peut que la rétroréflexion soit différente selon le sens d'observation.

Lorsque l'évaluation de la rétro réflexion doit être faite sur un tronçon entre 2 km et 5 km et que la rétro réflexion semble presque identique sur l'ensemble du tronçon, choisir au moins 3 sections d'évaluation de 100 mètres (figure 18). Si la rétro réflexion semble variable, choisir plus de 3 sections de 100 mètres. Les sections d'évaluation doivent être représentatives du tronçon.

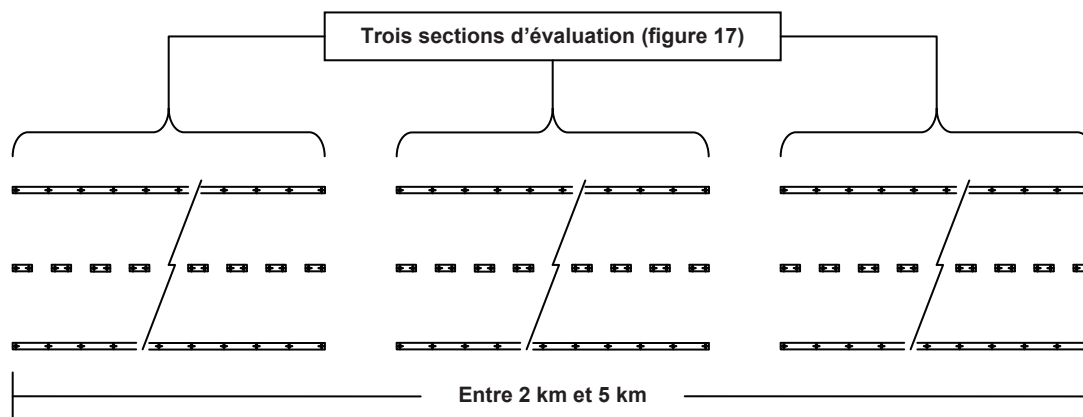


Figure 18 Sections d'évaluation typique pour un tronçon entre 2 km et 5 km

Note : Si l'évaluation de la rétro réflexion doit être faite sur un tronçon de 5 km et plus, l'utilisation d'un rétro réflectomètre mobile devrait être privilégiée (section 3.3.).

Cependant, lorsqu'on doit utiliser un rétro réflectomètre portable et que la rétro réflexion semble presque identique sur l'ensemble du tronçon, choisir au moins une section d'évaluation de 100 mètres par kilomètre (figure 19). Chaque section de 100 mètres devrait être espacée également pour permettre de couvrir l'ensemble du tronçon.

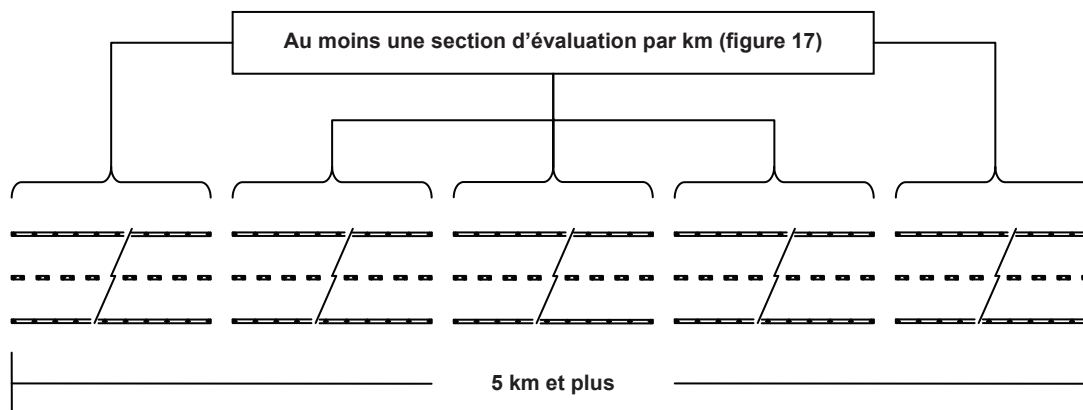


Figure 19 Sections d'évaluation typique pour un tronçon de 5 km et plus

S'il a été décidé de mesurer la rétro réflexion sur plus d'une section d'évaluation, suivre la même procédure pour chacune des sections de 100 mètres. Pour déterminer la conformité de la rétro réflexion, vous pouvez utiliser la moyenne de toutes les mesures sur la section de 100 mètres. Si plus d'une section de 100 mètres a été mesurée, vous pouvez utiliser la grande moyenne.

Cette grande moyenne est obtenue à partir de la moyenne de chacune des sections mesurées. Si l'écart est trop grand entre les sections d'évaluation, il peut être préférable d'utiliser un rétro réflectomètre mobile.

De plus, il se peut qu'une seule ligne (ex. : ligne de rive droite) soit problématique et non conforme aux spécifications du Ministère. Dans ce cas, la moyenne de la ligne problématique peut être utilisée pour entreprendre des actions envers l'applicateur du marquage.

3.2.2 Symbole, ligne d'arrêt et passage pour piétons

Lors de l'évaluation de la rétroréflexion d'un symbole (ex. : flèche), d'une ligne d'arrêt, d'un passage pour piétons ou tout autre marquage non longitudinal, chaque élément doit être considéré individuellement comme une section d'évaluation. L'évaluation visuelle de jour ou de nuit (section 3.1) donne une bonne indication si les microbilles de verre sont distribuées uniformément. Pour procéder à l'évaluation d'un symbole ou d'un autre marquage non longitudinal à l'aide d'un rétroreflectomètre portable, suivre la procédure suivante :

- s'assurer d'avoir la signalisation nécessaire pour pouvoir travailler de façon sécuritaire en se référant au *Tome V – Signalisation routière*;
- calibrer le rétroreflectomètre à l'aide du standard terrain;
- prendre 6 lectures de rétroréflexion aléatoires de façon à couvrir tout le symbole (ou autre marquage non longitudinal). Dans le cas d'un passage pour piétons, prendre 6 lectures aléatoires sur chacune des lignes. Toujours prendre les lectures dans le sens de la circulation. Dans certains cas particuliers (ex. : ligne transversale), la rétroréflexion peut être prise dans un autre sens;
- noter les résultats (mcd/lux/m²) de chaque élément individuellement dans un rapport d'inspection (annexe IV).

Suivre la même procédure pour chacun des éléments à évaluer. Pour déterminer la conformité de la rétroréflexion d'un élément, vous pouvez utiliser la moyenne de toutes les mesures prises sur cet élément. Puisque la rétroréflexion peut être très variable d'un élément à l'autre, il est recommandé d'évaluer la rétroréflexion sur chaque élément individuellement.

Très souvent, l'épandage des microbilles de verre est fait manuellement par saupoudrage, ce qui explique que la rétroréflexion n'est pas uniforme sur les symboles. La figure 20 illustre très bien cette grande variabilité de la rétroréflexion. Les zones grises sont celles où il y a abondance de microbilles de verre tandis que les zones blanchâtres en sont exemptes.



Figure 20 Rétroreflexion problématique d'une flèche

3.3 Évaluation avec un rétroréfectomètre mobile (ECODYN)

Le rétroréfectomètre ECODYN (figure 18), fabriqué par Vectra, est un appareil à grand rendement qui permet de prendre des mesures de rétroréflexion en conformité avec les normes internationales établies (ASTM E1710, ASTM D4061 et CEN EN 1436), c'est-à-dire qu'il respecte les paramètres géométriques décrits à la section 2.1. Il permet à son utilisateur de circuler à la même vitesse que l'ensemble des autres usagers de la route (maximum de 100 km/h).

Cela fait en sorte de mesurer en continu la rétroréflexion sur plusieurs dizaines de kilomètres en un seul passage sans l'utilisation d'une signalisation particulière, ce qui réduit le risque d'accident et rentabilise cette opération. De plus, l'utilisation d'un rétroréfectomètre mobile permet de réduire les risques d'accident pour les travailleurs lorsque le débit journalier moyen annuel (DJMA) est trop élevé.

Comme décrit à la section 3.2.1, l'utilisation de l'ECODYN devrait être privilégiée si l'évaluation de la rétroréflexion doit être faite sur un tronçon de 5 km et plus et sur les routes ayant un DJMA élevé (ex. : autoroutes). Comme dans le cas de l'évaluation avec un rétroréfectomètre portable de type LTL-X, une période d'attente de 2 semaines est nécessaire entre l'application du marquage et la prise de mesures de rétroréflexion. De plus, lors de l'évaluation, les mêmes précautions doivent être prises (section 3).

Puisque le Ministère ne possède qu'un rétroréfectomètre mobile et que le technicien l'utilisant doit avoir suivi une formation, la procédure d'évaluation ne sera pas entièrement élaborée dans la présente section. Cependant, il est important de noter que l'ECODYN ne sert pas exclusivement à mesurer la rétroréflexion sur un tronçon donné, mais aussi à contrôler la qualité de la rétroréflexion de l'ensemble des lignes de marquage de certaines routes (ex. : autoroutes 20 et 40 entre Québec et Montréal). À titre d'exemple, en 2012, l'ECODYN a permis de mesurer la rétroréflexion sur 20 283 km.

Pour une planification de l'évaluation de la rétroréflexion sur un tronçon donné, veuillez communiquer avec monsieur **Michel Tremblay**, ing., MBA, au Service de l'exploitation de la Direction du soutien aux opérations.

- Téléphone : 418 644-4490, poste 2690
- Cellulaire : 418 953-3261
- Courriel : Michel.tremblay@mtq.gouv.qc.ca

3.3.1 Principe de l'ECODYN

Le principe de l'ECODYN consiste à fixer une tête de mesure (rétroreflectomètre) sur un véhicule dont la garde au sol est suffisamment élevée pour permettre une prise de lecture adéquate.

Le Ministère a acquis son unique rétroreflectomètre mobile en 1998. Depuis, soit en 2010, le véhicule transportant l'appareil a été changé (figure 21).



Figure 21 Rétroreflectomètre mobile (ECODYN).

Le rétroreflectomètre (figure 22) est relié à un ordinateur qui permet de sauvegarder les mesures de rétroflexion et par la suite de les transférer dans le système de gestion du marquage (section 4). Il est à noter que la calibration de l'ECODYN est très sensible au moindre changement sur le véhicule le transportant, notamment la pression des pneus, le nombre de litres dans le réservoir d'essence et même le poids ou le nombre de personnes à l'intérieur du véhicule.

Cependant, si la calibration est effectuée correctement, la marge d'erreur de l'appareil est inférieure à 10 % et dépend grandement des conditions d'utilisation (température et humidité relative).

Présentation du coffret de mesure

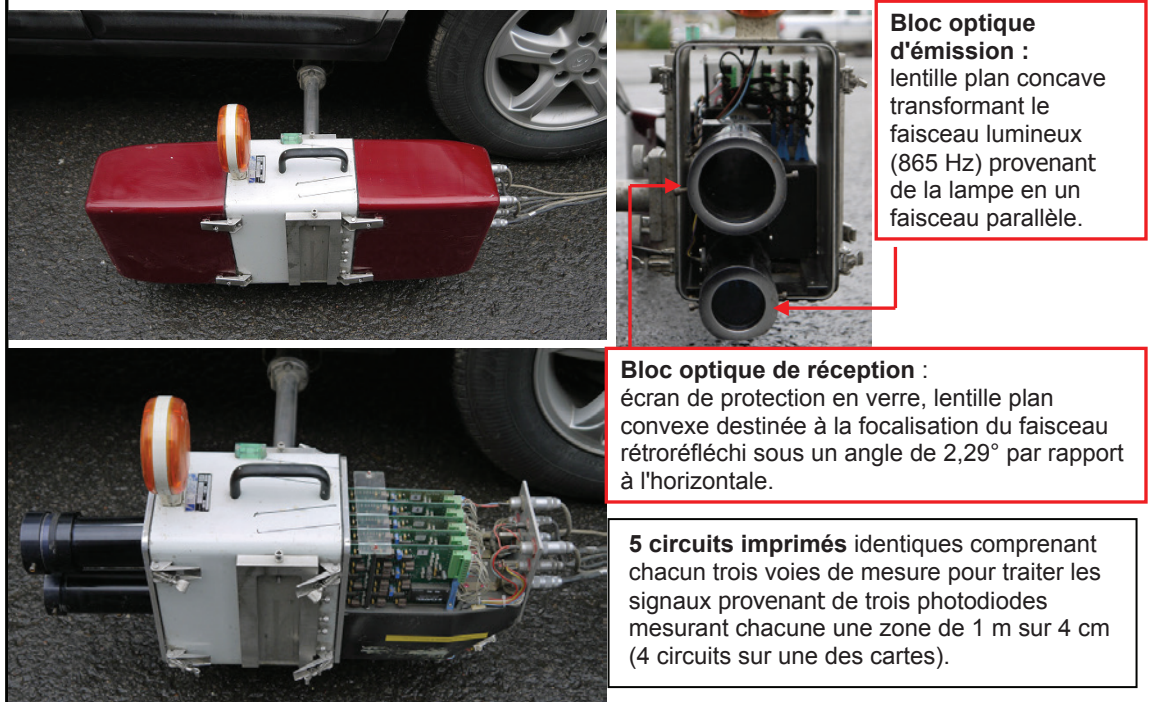


Figure 22 Coffret de mesure (ECODYN)

Le texte qui suit est tiré du manuel technique version 2.3 février 2006 :

« Une source de lumière blanche, dont le flux est mesuré en permanence et modulé à 865 Hz, crée sur la bande de marquage et sur la chaussée environnante, par l'intermédiaire d'un dispositif optique, à une distance de 6 m et sous un angle d'éclairage de $1,24^\circ$ par rapport à la surface de la chaussée, une surface lumineuse elliptique. La lumière rétro réfléchée, issue de la bande et de la chaussée, est focalisée sur un détecteur à 14 photodiodes par un second dispositif optique faisant un angle de divergence de $1,05^\circ$ par rapport au précédent; soit un angle, dit d'observation, de $2,29^\circ$ par rapport à la surface de la chaussée. Un ensemble électronique à 14 voies assure les amplifications et filtrages des signaux détectés en séparant les signaux rétro réfléchés des signaux relatifs à la lumière ambiante. Le micro-ordinateur embarqué effectue les traitements en temps réels et stocke les résultats sur disque dur.

Il permet la visualisation sur écran, en fonction de la distance parcourue, ou du GPS, des informations suivantes, généralement par zone de 100 m :

- coefficient de luminance rétro réfléchée R_{LM} du marquage;
- contraste de jour C_J ;
- contraste de nuit C_N ;
- graphe des variations du coefficient de rétro réflexion. »

Pour ses besoins, le Ministère n'utilise présentement que le coefficient de luminance rétro réfléchée R_{LM} du marquage (rétro réflexion). De plus, contrairement à ce qui est indiqué, l'échelle utilisée dans le système de gestion du marquage est de 50 m. Pour en connaître plus sur l'utilisation du rétro réflectomètre ECODYN, se référer au manuel technique de Vectra.

4 Système de gestion du marquage (gerer.prod)

Présentement, seulement les mesures de rétro réflexion prises avec l'ECODYN peuvent être consultées au moyen du système de gestion du marquage. Dans l'avenir, les mesures prises avec les LTL-X pourront être déposées dans ce système et seront accessibles pour une visualisation sur des cartes.

Le système de gestion du marquage peut être consulté par tous les employés du Ministère via l'adresse Internet suivante : www.gerer.prod. Cependant, une demande d'accès doit préalablement être faite au moyen du formulaire disponible sur la page d'accueil (figure 23).

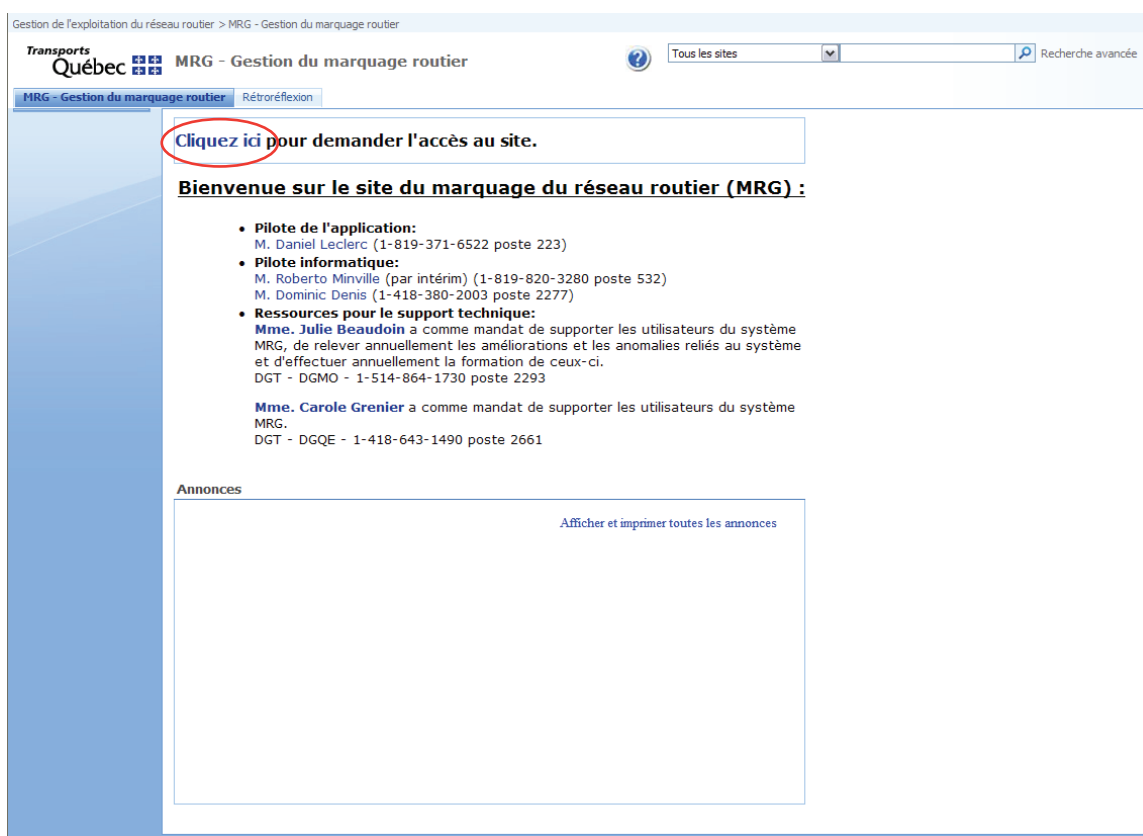


Figure 23 Page d'accueil du système de gestion du marquage

4.1 Classification fonctionnelle de la rétro réflexion

Le système de gestion du marquage est basé sur une classification fonctionnelle de la rétro réflexion ayant fait l'objet d'une révision en 2013 (tableau 1).

L'élaboration de cette classification a été la première étape permettant de cartographier les mesures de rétroréflexion et la visualisation de celle-ci sur une carte.

Tableau 1
Classification fonctionnelle de la rétroréflexion (mcd/lux/m²)

A	250 et plus	BLEU	
B	175 à 249	VERT	
C	100 à 174	JAUNE	
D	50 à 99	ORANGE	
E	Moins de 50	ROUGE	
F	Non mesurée	NOIR	

À la suite de la recension des écrits et des prises de lectures sur le terrain effectués au cours de l'été 2012, la révision de la classification fonctionnelle de la rétroréflexion a été nécessaire pour tenir compte du contexte actuel. Voici une description des classes retenues et ce que chacune d'elle représente :

- A.** Rétroréflexion minimale du marquage de couleur blanche que tous les types de produits doivent obtenir lors de l'application initiale.
- B.** Rétroréflexion minimale du marquage de couleur jaune que tous les types de produits doivent obtenir lors de l'application initiale.
- C.** Minimum de rétention de la rétroréflexion que le marquage doit obtenir selon les données probantes des chercheurs pour maintenir un niveau de visibilité minimale.
- D.** Rétroréflexion en dessous du seuil minimal. Normalement, lorsque le marquage atteint ce seuil, il devrait être refait.
- E.** Rétroréflexion en dessous du seuil de visibilité de nuit du marquage.

Initialement, le logiciel de l'ECODYN ne permettait pas d'obtenir des données cartographiées. De plus, l'interprétation des résultats était fastidieuse et les rapports très longs à produire. Avec la collaboration de plusieurs unités du Ministère, le transfert des données vers le système de gestion du marquage a été automatisé, la visualisation sur des cartes est possible et la génération de rapports est maintenant disponible.

Cela a grandement amélioré l'interprétation du niveau de visibilité de nuit du marquage routier présent sur le réseau du Ministère.

Lorsque l'opérateur de l'ECODYN transfère de nouvelles données sur un site Web du Ministère, une détection automatique des nouveaux fichiers est faite par le système. Le système de gestion du marquage importe alors tous les fichiers (MAR, GPS, EVE, RES) et en fait l'analyse dans une base de données BD SQL Server. Par la suite, le système indique l'endroit de la prise de mesures en fonction de l'enregistrement GPS et il le cartographie.

4.2 Cartographie de la rétroréflexion

Comme mentionné précédemment, le système de gestion du marquage permet de visualiser sur des cartes les mesures de rétroréflexion prises avec l'ECODYN. Les figures 24 et 25 présentent des exemples de cartes que le système permet de générer. Le système permet à l'utilisateur de visualiser l'ensemble d'une région, d'un centre de services ou même d'effectuer un zoom sur un tronçon donné. De plus, plusieurs filtres peuvent être appliqués pour raffiner les cartes.

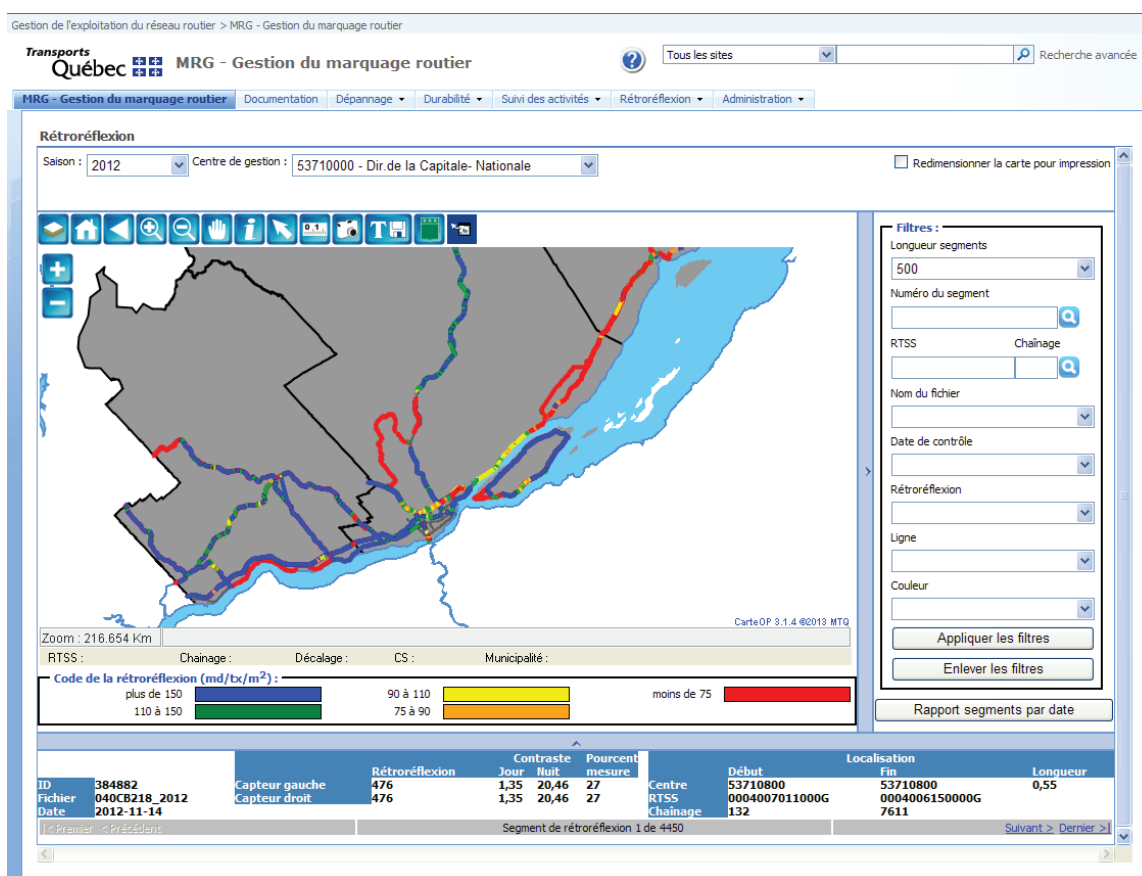


Figure 24 Carte de rétroreflexion de la Direction de la Capitale-Nationale

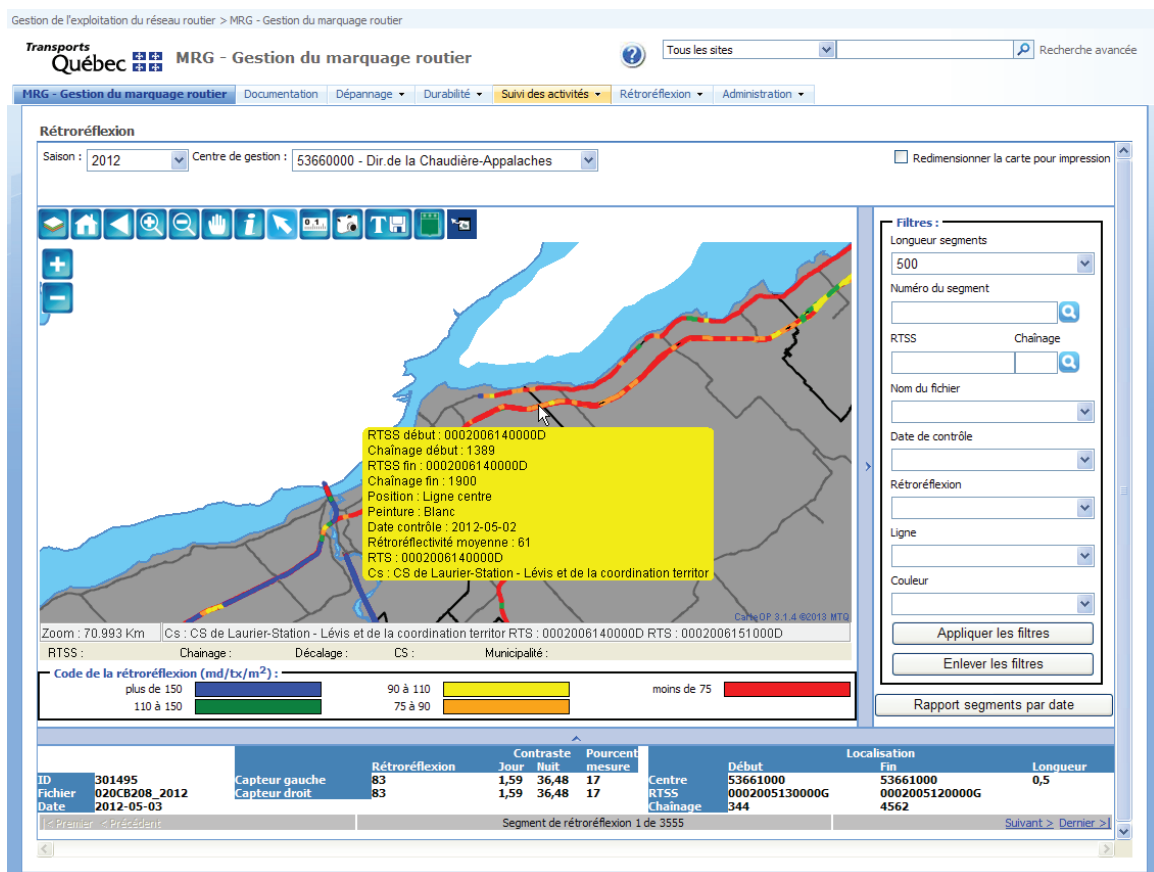


Figure 25 Zoom sur la carte de la Direction de la Chaudière-Appalaches

Conclusion

La rétro réflexion du marquage routier est directement liée à l'amélioration de la sécurité routière. Cette rétro réflexion est obtenue en ajoutant des microbilles de verre sur et dans les produits de marquage.

Pour évaluer la rétro réflexion dans le but de vérifier sa conformité avec les spécifications du ministère des Transports, on peut utiliser un rétro réflectomètre portable (LTL-X) ou un rétro réflectomètre mobile (ECODYN). De plus, pour repérer rapidement les zones problématiques, une méthode visuelle (jour ou nuit) peut être utilisée.

Le rétro réflectomètre portable permet d'évaluer ponctuellement le marquage longitudinal comme les lignes de rive, les lignes de centre, les pointillés, mais aussi les autres marques tels les symboles, les flèches et les bandes de passage, tandis que le rétro réflectomètre mobile permet d'évaluer en continu le marquage longitudinal sur plusieurs dizaines de kilomètres en un seul passage. Ce type d'appareil devrait être privilégié pour l'évaluation des tronçons de 5 km et plus, lorsque la sécurité de l'utilisateur est compromise ou lorsque le DJMA est trop élevé.

ANNEXE I

Fabrication des microbilles de verre

Comme montré à la figure 24, la fabrication des microbilles de verre conformes à la norme 14601 nécessite plusieurs étapes intermédiaires.

Concassage du verre

- Le verre provenant de différentes sources d'approvisionnement est concassé pour obtenir des morceaux homogènes de plus petite dimension.

Élimination des corps étrangers

- Selon la qualité initiale du verre, des corps étrangers (métal, plastique, etc.) peuvent se retrouver en quantité plus ou moins grande avec les morceaux de verre et doivent être enlevés mécaniquement.

Séchage

- Les morceaux de plus petite dimension sont séchés pour faciliter la manutention et les étapes subséquentes.

Broyage

- Les morceaux de verre concassés sont broyés en fines particules de verre facilitant ainsi la fabrication des microbilles.

Stockage intermédiaire des grains de verre

- Les particules de verre sont stockées pour une utilisation ultérieure selon la demande en microbilles.

Sphérification des microbilles de verre

- Les particules de verre sont introduites par le bas dans une colonne contenant des brûleurs permettant d'atteindre plusieurs centaines de degrés Celsius.
- Les particules de verre en fusion sont ensuite entraînées vers le haut de la colonne et, durant leur ascension, elles deviennent sphériques.
- Les microbilles sont récupérées à différents niveaux dans la colonne en fonction de leur grosseur. La grosseur des microbilles dépend de celle des particules introduites dans la colonne.

Tamissage granulométrique

- Les microbilles sont tamisées pour obtenir un mélange homogène de microbilles ayant une granulométrie conforme aux exigences des différentes administrations. Le Ministère utilise des microbilles ayant la granularité suivante :

Tableau 2
Granularité des microbilles de verre

Tamis n°	Tamis – Dimension des mailles (µm)	% Passant
20	850	100,0
30	600	80,0 – 95,0
50	300	20,0 – 35,0
100	150	0,0 – 10,0
200	75	0,0 – 2,0

Traitement de surface

- Les microbilles sont enrobées de différents revêtements de surface pour être conformes aux normes des différentes administrations.

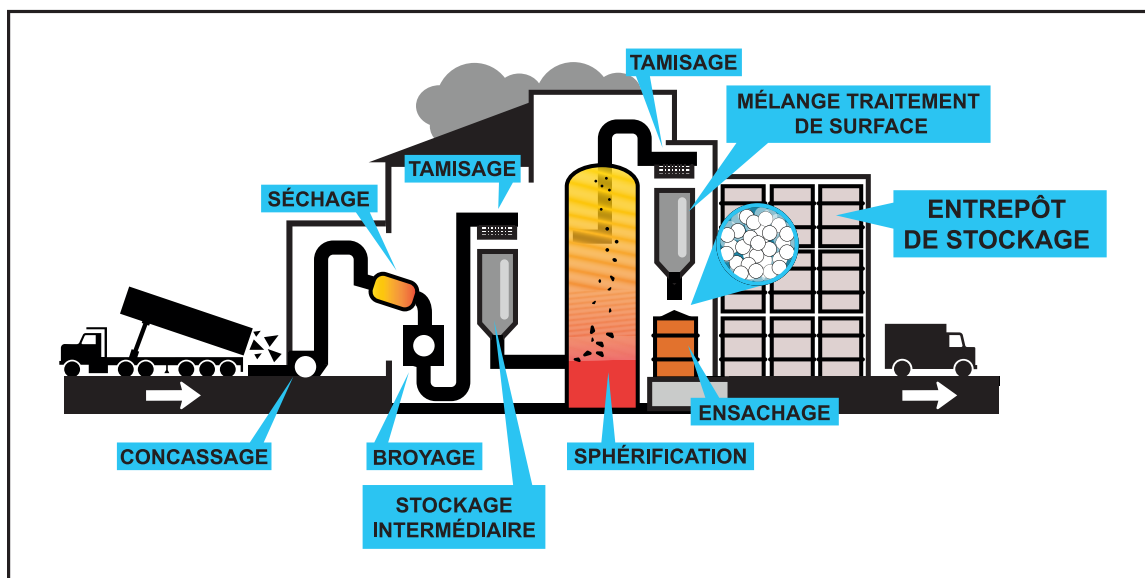
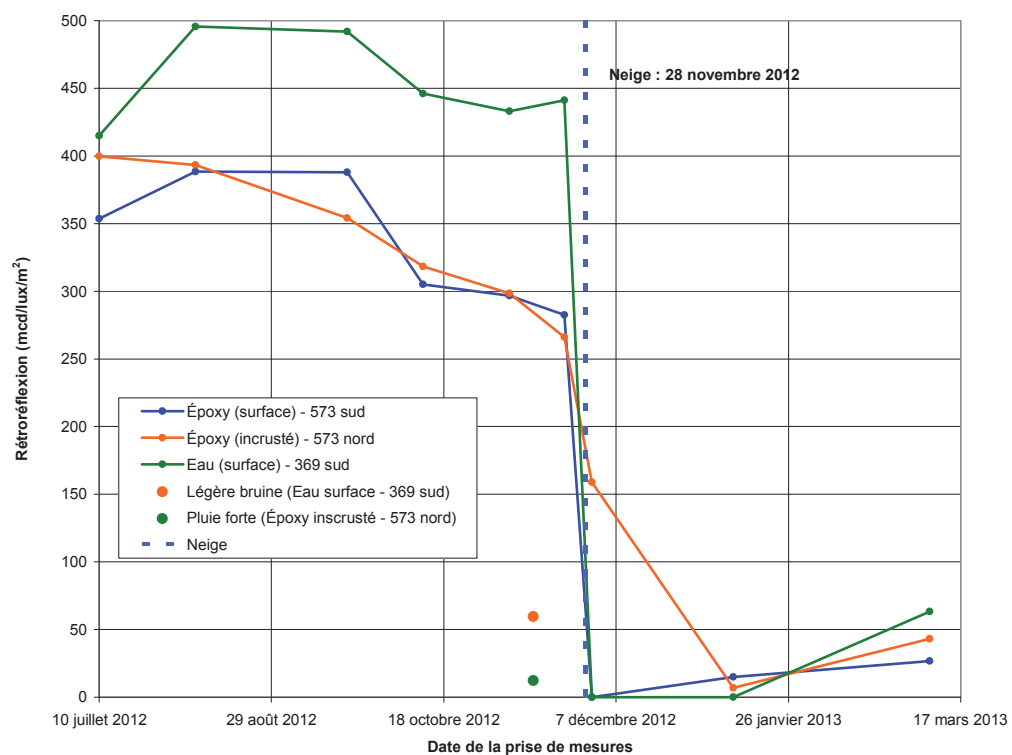


Figure 26 Fabrication des microbilles de verre

ANNEXE II

Suivi annuel de la rétroréflexion sur des sites ponctuels (lignes de rive blanches)



ANNEXE III

Vérification des LTL-X en laboratoire (SMI)

Le programme de vérification du Service des matériaux d'infrastructures (SMI) se résume aux points suivants :

Vérification de la propreté

- Dès la réception des appareils et avant de procéder aux différentes vérifications, la propreté de la fenêtre optique et des standards (terrain et de référence) est vérifiée. Au besoin, les différentes parties sont nettoyées selon les indications du fabricant (DELTA).

Recharge de la batterie du rétroreflectomètre

- Les appareils sont ensuite rechargés pendant une nuit, puisque la batterie doit toujours être complètement chargée avant d'effectuer une série de mesures.

Vérification de la justesse des lectures du rétroreflectomètre avec le standard terrain certifié du SMI

- Pour cet essai, les appareils ne sont pas préalablement étalonnés avec un standard (valeur lue). Cet essai tend à démontrer qu'il est très important de toujours étalonner le rétroreflectomètre avant la prise de lectures en chantier. Par la suite, le rétroreflectomètre est étalonné et une seconde lecture du même standard est prise (valeur finale). Il est à noter que plus la période d'inactivité est longue, plus l'étalonnage est nécessaire.

Comparaison des lectures de rétroreflexion (entre les participants)

- Pour cet essai, les appareils sont étalonnés avec le standard terrain du SMI avant de procéder à la prise des 7 mesures (45, 100, 140, 200, 300, 400 et 500 mcd/lux/m²) avec notre montage de rétroreflexion variable (figure 27). Ce montage possède les mêmes dimensions que les standards fournis par DELTA et se bloque exactement à la même place que ceux-ci sous l'appareil. Cela évite les erreurs de manipulation d'un LTL-X à l'autre.

Le montage permet d'obtenir des lectures de rétroreflexion variant entre 36 mcd/lux/m² et 1625 mcd/lux/m².

- Trois mesures sont prises à tous les points et la moyenne est rapportée dans le rapport de vérification. Pour cet essai, l'intervalle de confiance a été établi à 2σ .
- Après toutes les lectures, les appareils sont revérifiés avec le standard terrain du SMI.

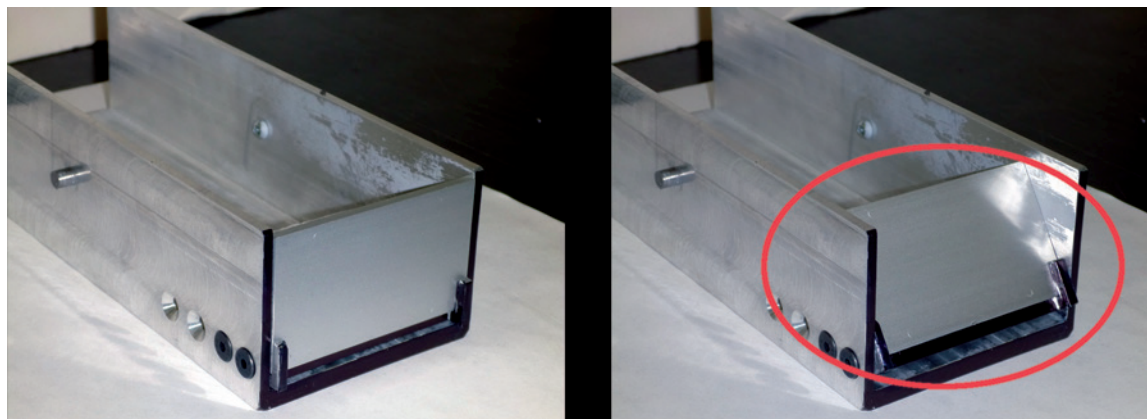


Figure 27 Montage de rétroreflexion variable

Vérification des standards (terrain et de référence) avec le LTL-X du SMI

- En dernier lieu, les standards des participants (terrain et de référence) sont vérifiés avec les rétroreflectomètres du SMI. Pour ces essais, le LTL-X du SMI est préalablement étalonné avec le standard terrain du SMI.

Par la suite, chaque participant reçoit un rapport de vérification qui inclut les différents résultats ainsi que les recommandations du SMI. Ce rapport permet de se comparer avec les autres participants et d'établir si une calibration est nécessaire.

Exemple de rapport de vérification des rétrorélectomètres LTL-X



Service des matériaux d'infrastructures

Programme de vérification - Rétrorélectomètre LTL-X

N° de rapport : MS-xx-xxx

Fabricant :	DELTA	Code du fabricant :	LTL-X
Envoyeur :		N° de série :	
Norme :	ASTM E 1710	Date de réception :	
Type d'appareil :	Rétrorélectomètre	Analyste :	

Comparaison des lectures de rétroréflexion ($\text{mcd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7
Laboratoire SMI							
Baie-Comeau							
Sherbrooke							
Laurier-Station-Lévis							
Chicoutimi							
Trois-Rivières							
Cacouna							
Moyenne							
(2fi)							

Vérification de la justesse de lecture de votre LTL-X avec le standard terrain du SMI ($\text{mcd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

Valeur inscrite	
Valeur lue	
Valeur finale	

Vérification de votre standard terrain avec le LTL-X du SMI ($\text{mcd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

Valeur inscrite	
Valeur lue	

Vérification de votre standard de référence avec le LTL-X du SMI ($\text{mcd} \cdot \text{lx}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

Valeur inscrite	
Valeur lue	

Copie(s) à :

Remarques :

Analyste

Frédéric Boily, M. Sc., chimiste

Date

Approuvé par

Ce rapport est pour l'usage exclusif du client et ne peut être reproduit, sinon en entier, sans la permission écrite du laboratoire des chaussées

2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
Téléphone : (418) 644-0181
Télécopieur : (418) 646-6692
www.mtq.gouv.qc.ca

Page 1 / 2

ANNEXE IV

Exemple de rapport d'évaluation avec un rétroréflexomètre portable

RÉTRORÉFLEXION DU MARQUAGE

Date:

RTS - chaînage :	Rétroreflexion (mcd/lx/m ²)				
LM ☐ RD ☐ RG ☐ SD ☐ SG ☐					
Type/couleur :					
Date de marquage :					
Entrepreneur :					

RTS - chaînage :	Rétroreflexion (mcd/lx/m ²)				
LM ☐ RD ☐ RG ☐ SD ☐ SG ☐					
Type/couleur :					
Date de marquage :					
Entrepreneur :					

RTS - chaînage :	Rétroreflexion (mcd/lx/m ²)				
LM ☐ RD ☐ RG ☐ SD ☐ SG ☐					
Type/couleur :					
Date de marquage :					
Entrepreneur :					

RTS - chaînage :	Rétroreflexion (mcd/lx/m ²)				
LM ☐ RD ☐ RG ☐ SD ☐ SG ☐					
Type/couleur :					
Date de marquage :					
Entrepreneur :					

Remarques :

Références bibliographiques

- ASTM D4061 *Standard Test Method for Retroreflectance of Horizontal Coatings*.
- ASTM D7585 *Standard Practice for Evaluating Retroreflective Pavement Markings Using Portable Hand-Operated Instruments*.
- ASTM E808 *Standard Practice for Describing Retroreflection*.
- ASTM E1710 *Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using portable Retroreflectometer*.
- AUSTIN, Richard L., et Robert J. SCHULTZ. *Guide To Retroreflection Safety Principles And Retroreflective Measurements*, (janvier 2009).
- CEN EN 1436 *Road Marking Materials - Road Marking Performance for Road Users*.
- CENTRE D'ÉTUDE ET DE CONSTRUCTION DE PROTOTYPES – Angers (Vectra), ECODYN (février 2006, version 2.3).
- DELTA. *Rétroreflectomètre LTL-X*, manuel technique (janvier 2005).
- DELTA : <http://www.madebydelta.com>.
- DENEUVILLERS, C., L. DURIVAUT-REYMOND et H. CHARLES. *Nouveaux produits de marquage routier « double sécurité » [Partie 1]*, RGRA – Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, N° : 896 [2011], p. 52-57.
- DENEUVILLERS, C., L. DURIVAUT-REYMOND et H. CHARLES. *Nouveaux produits de marquage routier « double sécurité » [Partie 2]. Exemples de formulations et d'applications*, RGRA – Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, N° : 897 [2011], p. 69-72.
- HITEC (Highway Innovative Technology Evaluation Center). *Evaluation findings of the LTL 2000 pavement marking retroreflectometer*, Rapport # 40469 (janvier 2000).
- HITEC (Highway Innovative Technology Evaluation Center). *Evaluation findings of the ECODYN mobile pavement marking retroreflectometer*, Rapport # 40470 (janvier 2000).
- HITEC (Highway Innovative Technology Evaluation Center). *Summary of evaluation findings for 30 Meter handheld and mobile pavement marking retroreflectometers*, Rapport n° 40525 (mars 2001).
- IPRF (Innovative Pavement Research Foundation). *Airfield marking handbook*, Rapport n° 01-G-002-05-1 (septembre 2008).
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC. Norme 14601 *Microbilles de verre pour peinture servant au marquage des routes*.
- POTTERS INDUSTRIES LLC : <http://pottersbeads.com>.
- ROAD VISTA. Reflectometer for Pavement Markings : <http://www.roadvista.com>.
- SAUNIER, N., M. BROSSEAU et A. CARRASQUILA. *Revue de littérature et recensement auprès des administrations voisines sur l'existence d'une problématique de rétro réflexion et sur les moyens mis en place pour assurer une rétro réflexion d'une durée supérieure à une année*. Projet R687.1 (avril 2012).
- SOVITEC : <http://www.sovitec.com/sovitec-et-vous>.
- SWARCO : <http://www.swarco.com>.
- TREMBLAY, Michel. *Nouvelle approche de gestion de la signalisation horizontale au Québec*. Congrès annuel de l'Association des transports du Canada (ATC) 2004.
- TREMBLAY, Michel. *Système de gestion pour le marquage routier au ministère des Transports*. Colloque DGIT-DLC 2013.
- WIKIPÉDIA : http://fr.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:Accueil_principal.
- ZEHNTNER, *Basic principles Retroreflection of road Marking* (mai 2008). http://www.zehntner.com/download/prospekt_retroreflektion_glasperlen_e.pdf.