

Formulation d'un enrobé bitumineux coloré pour le Québec

Michèle ST-JACQUES
Ingénieur et professeure
Département de génie de la construction
École de technologie supérieure
Université du Québec, Montréal, Canada

Mélanie BERTRAND
Ingénieur jr
Groupe Séguin
Montréal, Canada

RÉSUMÉ

Les plus récentes statistiques du ministère des Transports du Québec démontrent que 26 % des accidents de la circulation se produisent dans des zones où la vitesse est comprise entre 50 et 60 km/h. La modération de la vitesse dans le but d'améliorer la sécurité routière conduit à une nouvelle conception des aménagements routiers et à l'utilisation de nouveaux matériaux, tels que les revêtements bitumineux colorés, qui facilitent la lecture des espaces disponibles et délimitent les territoires tout en créant des ambiances urbaines. Compte tenu des avantages de ces revêtements, parmi lesquels leur meilleure résistance à l'orniérage, et de l'intérêt qu'il y aurait à les utiliser au Québec, notamment dans les entrées de ville, une étude de formulation d'enrobés bitumineux colorés de type ESG-10 pour le Québec a été réalisée au Laboratoire Universitaire sur les Chaussées, Routes et Enrobés Bitumineux (LUCREB) de l'École de technologie supérieure. Les résultats obtenus lors du programme expérimental montrent que des enrobés bitumineux colorés conformes aux normes peuvent être réalisés au Québec.

DOMAINE : Route.

ABSTRACT

MIX DESIGN OF A COLORED BITUMINOUS OVERLAY FOR USE IN QUEBEC

The most recent statistics released by the Quebec Ministry of Transportation attest that 26% of all traffic-related accidents occur within zones where speeds lie in the range of 50-60 km/hr. Lowering speeds in the aim of improving road safety has led to a new conception of road layouts as well as to the use of new materials, such as colored bituminous surfacing, which serve to both enhance the visibility of available space within the road environment and demarcate territories while creating urban backdrops. Given the advantages associated with this type of surfacing, including improved resistance to rutting, and the potential benefit of their use in Quebec (especially at city outskirts), a mix design study for colored bituminous overlays of the type ESG-10 for the province of Quebec has been conducted at the University Laboratory on Pavements, Roads and Bituminous Overlays (LUCREB) of the École de Technologie Supérieure. The results obtained during the experimental program demonstrate that colored bituminous overlays in compliance with applicable standards can indeed be produced in Quebec.

FIELD: Roads.

Introduction

Les mesures réglementaires seules ne suffisent pas à modérer la vitesse en milieu urbain ou suburbain. Ainsi, l'utilisation des revêtements colorés est de plus en plus fréquente dans les aménagements routiers, notamment en France. Une meilleure perception des espaces urbains par les conducteurs entraîne une modification du comportement et une modération de la vitesse ; c'est là que les revêtements colorés peuvent jouer un rôle. La couleur est un moyen pour le concepteur de répondre aux objectifs qu'il s'est fixés dans le but d'améliorer le niveau de sécurité, comme la valorisation de l'espace, la modération de la vitesse ou, encore, la promotion d'usages particuliers [Brailly et Rennesson, 1995]. De nombreuses études ont démontré les avantages de l'utilisation de revêtements bitumineux colorés. Compte tenu de ces études et de l'intérêt porté à ces revêtements au Québec, notamment dans les entrées de ville [Lessard, St-Jacques et Williams, 2000], cet article présente les résultats de l'étude de formulation d'enrobés bitumineux colorés de type ESG-10 pour le Québec, réalisée au Laboratoire Universitaire sur les Chaussées, Routes et Enrobés Bitumineux (LUCREB) de l'École de technologie supérieure.

Composants d'un enrobé bitumineux coloré

Tout comme un enrobé noir traditionnel, un enrobé bitumineux coloré est composé d'un liant et de granulats.

Domecq et Sicard [1995] répartissent les liants utilisés dans les enrobés colorés en deux groupes principaux : les liants bitumineux (bitumes purs classiques, bitumes dits pigmentables, bitumes synthétiques colorables) et les liants à base de résines (époxydes, polyuréthanes, polyméthacryliques, acryliques et vinyliques). L'ajout de pigments de couleur, de nature minérale, permet d'obtenir des tonalités variées et durables, particulièrement pour les zones peu soumises à des dépôts et salissures importants [Serres et *al.*, 1993].

En ce qui concerne le granulat, sa couleur, pour une couche de roulement, a un effet prépondérant à moyen et long terme sur ce qui peut être considéré comme la couleur finale du revêtement [Domecq et Sicard, 1995]. Afin de déterminer les matières premières disponibles au Québec pour la fabrication d'enrobés bitumineux colorés, un inventaire, par région, des différentes sources de granulats présentant une bonne rugosité, une bonne durabilité et des couleurs variées a été réalisé.

Inventaire des granulats colorés au Québec

Selon l'inventaire des roches québécoises de Hébert et Hébert [1994], ce sont les granulats verts et roses qui se trouvent de façon plus abondante au Québec. Sur les 76 carrières de pierre et de minéraux en exploitation au Québec en 2000, 26 exploitaient des matériaux colorés tels que le quartzite et le granite [Gaudreau et *al.*, 2001].

Pour visualiser l'emplacement des différentes carrières du Québec, leur localisation est précisée en fonction des régions touristiques. La figure 1 présente les 20 régions touristiques du Québec.

Granulats de couleur verte

Dans certaines régions du Québec, il est possible de trouver de la roche de couleur verte, dont du quartzite à muscovite dans le Témiscamingue (Abitibi-Témiscamingue), de la farsundite porphyroïde et de la mangérite quartzifère à Rivière-à-Pierre (Québec), de la jotunite quartzifère au Mont-Apica (Saguenay-Lac-Saint-Jean), de la serpentine dans les régions de Black Lake et d'Asbestos (Cantons-de-l'Est), ainsi que de l'ortho-quartzite à Bernierville (Centre du Québec) [Gaudreau et *al.*, 2001].

Granulats de couleur rose

En ce qui concerne les granulats rose-brunâtre, on trouve le gneiss granitique de Saint-Donat-de-Montcalm (Lanaudière), la mangérite quartzifère à Saint-Didace (Lanaudière), le fardundite porphyroïde à Rivière-à-Pierre (Québec) et la syénite à hypersthène de Magpie (Duplessis) [Gaudreau et *al.*, 2001].

Il y a aussi des roches de couleur rose rougeâtre dont les monzogranites à Guénette (Laurentides), la farsundite porphyroïde à Rousseau-Mills (Québec) et à Métabetchouan (Saguenay-Lac-Saint-Jean), l'orthogneiss à Grandes-Bergeronnes (Manicouagan) et la mangérite quartzifère et porphyroïde à Bégin (Saguenay-Lac-Saint-Jean) [Gaudreau et *al.*, 2001].

Granulats de couleur beige

Les gisements de roches beiges sont beaucoup moins nombreux que ceux de couleur verte ou rose. Deux sites font l'exploitation de grès au Québec, soit un à Saint-Canut (Laurentides) et un à Havelock (Montérégie) [Gaudreau et *al.*, 2001].

Ainsi, il est possible de trouver au Québec des granulats de qualité et de couleur autre que le gris ou le noir.

Composants retenus pour l'étude de formulation

Le type d'enrobé bitumineux retenu pour la présente étude de formulation est un enrobé pour couche de surface semi-grenu de type ESG-10. La coloration d'un enrobé bitumineux reposant sur un choix

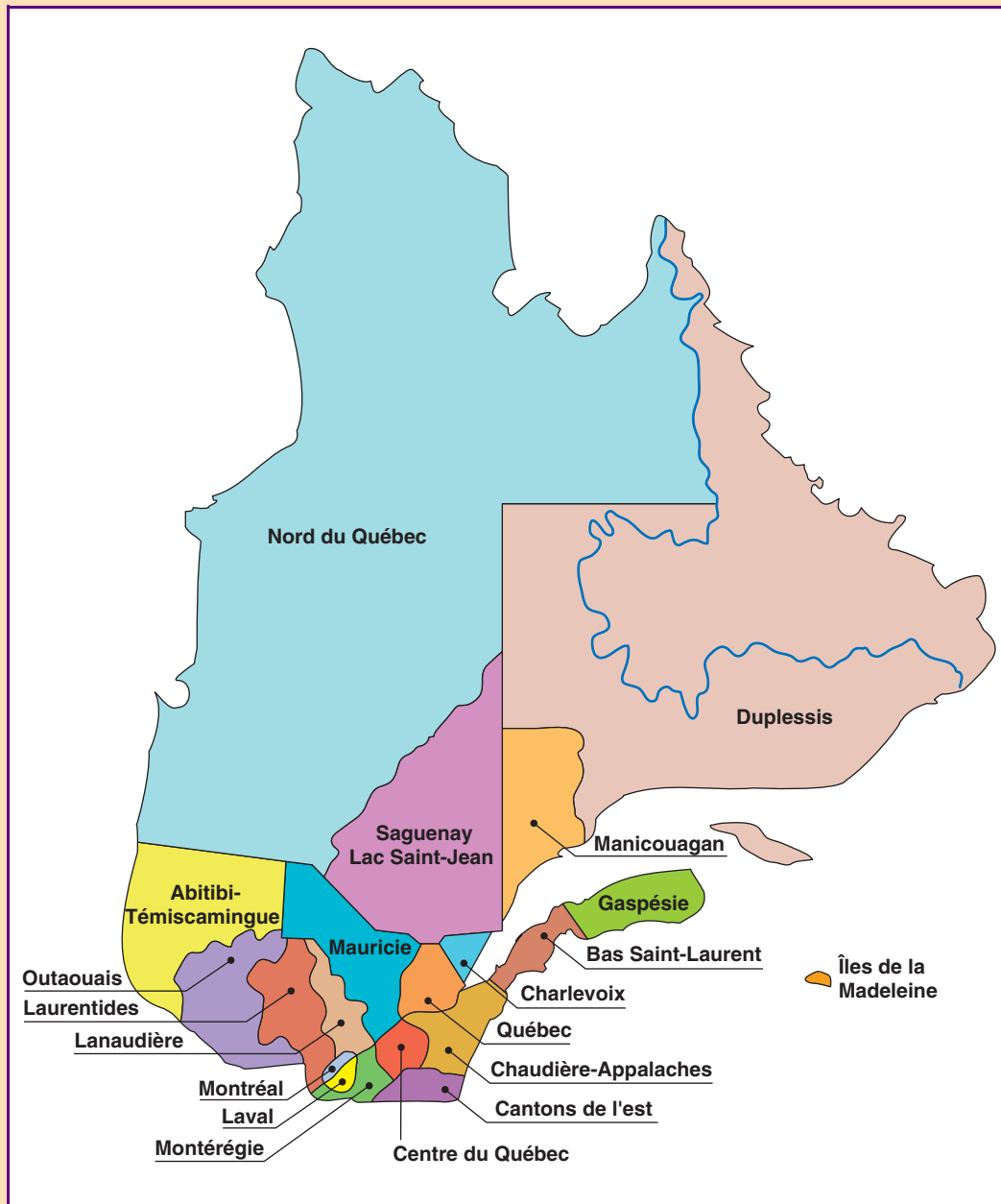


Fig. 1 - Régions touristiques du Québec.

Source : adapté de http://www.quebecvacances.com/regions/regions_quebec.asp

judicieux de ses constituants, une attention particulière a été portée à la sélection des différents composants de l'enrobé. Quatre formulations d'enrobés ont été analysées.

Granulats

Les granulats utilisés pour l'étude proviennent de « Les carrières Saint-Ferdinand Inc. » à Bernierville (Centre-du-Québec). Deux types de pierre concassée ont été utilisés pour la fraction grossière (5-10 mm), soit du granite de couleur rose (fig. 2), soit de l'ortho-quartzite (fig. 3) de couleur vert pâle qui ont des duretés respectives de 6,0 et 9,0 sur l'échelle de Mohs.

Puisque le granulat servira à la formulation d'un enrobé semi-grenu pour couche de surface de type ESG-10, deux classes granulaires ont été utilisées pour satisfaire les exigences de la norme 4202 du ministère des Transports du Québec.



Fig. 2 - Granite rose.



Fig. 3 - Ortho-quartzite vert.

La dimension maximale du gros granulat est fixée à 10 mm puisque les enrobés bitumineux colorés sont utilisés en couche de roulement et en couche mince. Les gros granulats sont donc de classe granulatoire 5-10 mm. Le granite est utilisé pour les enrobés roses et l'ortho-quartzite pour les enrobés verts.

Les granulats fins sont de classe granulatoire 0-5 mm. La fraction fine est composée d'ortho-quartzite. L'ortho-quartzite en fraction 0-5 mm est de couleur blanche, ce qui permet de l'utiliser autant avec le granulat rose qu'avec le vert. Le blanc étant une couleur neutre, il ne viendra pas altérer les couleurs souhaitées [CERTU, 1997].

Liants

Le type de liant utilisé a une influence moindre que le type de granulats sur la coloration finale de l'enrobé coloré puisque le liant est usé par le passage des véhicules et laisse apparaître la couleur naturelle des granulats [Domecq et Sicard, 1995]. Le choix du liant est tout de même important. Deux types de liants ont été utilisés lors de l'étude de formulation, soit un bitume standard provenant de « Les produits Shell Canada » (Montréal) et un bitume synthétique de couleur claire provenant de « Bitumar Inc. » (Montréal).

Pigments

Les pigments minéraux sont insensibles à la température, à l'action des éléments chimiques, à la lumière et aux intempéries ; c'est pourquoi ils sont utilisés pour colorer les enrobés bitumineux [Bayer, 1994]. Le choix des colorants utilisés pour les mélanges expérimentaux s'est arrêté sur deux types de pigments minéraux. Ainsi, le pigment utilisé pour colorer l'enrobé de couleur rouge est de l'oxyde de fer synthétique Bayferrox 130 C (fig. 4) et celui utilisé pour l'enrobé de couleur verte est de l'oxyde de chrome Grün GN standard (fig. 5). Les deux types de pigments proviennent de « Bayer Inc. » (Montréal).

Les pigments rouges, de composition chimique $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, sont utilisés sous forme de granulés qui permettent une bonne manipulation et un dégagement de poussière faible. Les pigments verts, de formule chimique Cr_2O_3 , sont utilisés sous forme de poudre, ce qui nécessite des précautions pour éviter le dégagement de poussière.

Puisque la coloration du bitume standard nécessiterait une grande quantité de pigments d'oxyde de chrome (plus de 4 %) et que l'utilisation d'un bitume noir standard ne permettrait pas d'obtenir un enrobé de couleur vert vif comme le permet l'utilisation d'un bitume synthétique, un bitume synthétique a été utilisé pour les enrobés verts. Cela a permis de diminuer la quantité de pigments utilisée.



Fig. 4 - Oxyde de fer.



Fig. 5 - Oxyde de chrome.

Programme expérimental

Bien que le programme expérimental comporte les mêmes essais que pour les enrobés bitumineux noirs traditionnels, le but est d'optimiser les mélanges afin d'obtenir des enrobés d'une couleur intéressante.

Formulations étudiées

Quatre formulations d'enrobés ont été étudiées. Dans tous les cas, il s'agit d'enrobés bitumineux de type ESG-10 pour un usage en couche de surface. Le premier mélange (MEL-1) est composé de bitume standard noir et de granulats fins et grossiers de type ortho-quartzite. Le second mélange (MEL-2) est composé de bitume standard noir, de granulats fins de type ortho-quartzite et de gros granulats de type granite. La coloration des enrobés MEL-1 et MEL-2 résulte de l'utilisation de granulats naturellement colorés. Ce sont les granulats qui donnent la coloration finale de ces enrobés une fois le film de bitume usé.

Le troisième mélange (MEL-3) est composé de bitume standard noir, de pigment d'oxyde de fer, de granulats fins de type ortho-quartzite et de granulats grossiers de type granite. Pour ce mélange, la coloration de l'enrobé est due à la couleur naturelle des granulats et au bitume coloré à l'aide du pigment d'oxyde de fer.

Le dernier mélange (MEL-4) est composé de liant synthétique, de pigment d'oxyde de chrome et de granulats fins et grossiers de type ortho-quartzite. La coloration du MEL-4 provient du liant synthétique qui permet, dès le malaxage, de voir la couleur naturelle des granulats. De plus, l'utilisation de pigment d'oxyde de chrome donne une coloration plus franche à l'enrobé.

Paramètres retenus

Les mélanges ont été conçus en fixant le volume de bitume effectif (V_{be}) à 12,2 %, tel que le prescrit la norme 4202 du MTQ pour les enrobés de type ESG-10. Par la suite, les granulométries de chacun des types d'enrobés ont été ajustées afin de répondre aux exigences du fuseau granulométrique et aux restrictions imposées par la méthode de formulation du Laboratoire des chaussées (LC) du ministère des Transports du Québec.

Le tableau I montre les paramètres utilisés pour chacun des mélanges étudiés.

Essais réalisés en laboratoire

Des essais sur les granulats retenus, les liants et les mélanges bitumineux ont été réalisés en laboratoire afin de s'assurer qu'ils sont conformes aux normes du ministère des Transports du Québec pour un enrobé de type ESG-10.

TABLEAU I
Paramètres de formulation des enrobés bitumineux colorés étudiés

		Type d'enrobé bitumineux coloré			
		MEL-1	MEL-2	MEL-3	MEL-4
Couleur visée de l'enrobé		Vert	Rouge	Rouge	Vert
Gros granulat (5-10 mm)	Type	Ortho-quartzite	Granite	Granite	Ortho-quartzite
	Dosage	58,98 %	51,52 %	55,72 %	60,03 %
Granulat fin (0-5 mm)	Type	Ortho-quartzite	Ortho-quartzite	Ortho-quartzite	Ortho-quartzite
	Dosage	34,64 %	42,15 %	35,12 %	31,67 %
Pigment	Type	Aucun	Aucun	Oxyde de fer	Oxyde de chrome
	Dosage	0,00 %	0,00 %	2,81 %	2,84 %
Liant	Grade	PG 58-28	PG 58-28	PG 58-28	PG 64-28
	Dosage	6,38 %	6,33 %	6,35 %	5,46 %
Volume de bitume effectif (V _{be} %)		Fixé à 12,2 % pour tous les mélanges			

Essais sur granulats

Différents essais sur les granulats ont été réalisés, dont une analyse granulométrique par tamisage conformément aux exigences de la norme LC 21-040. Tous les résultats de ces essais satisfont aux critères de formulation d'un enrobé bitumineux de type ESG-10 selon la norme 4202.

La norme 2101 « Granulats » du ministère des Transports du Québec donne les limites permettant de classer les matériaux selon des essais préétablis. Les gros granulats sont classés selon leurs caractéristiques intrinsèques et leurs caractéristiques de fabrication. Les granulats fins sont classifiés seulement selon leurs caractéristiques intrinsèques. Les tableaux 2101-2, 2101-3 et 2101-4 de la norme précisent les catégories de gros granulats et de granulats fins selon leurs caractéristiques intrinsèques et de fabrication.

Le tableau 4202-2 de la norme 4202 « Enrobés à chaud formulés selon la méthode de formulation du Laboratoire des chaussées » montre que les caractéristiques intrinsèques des gros granulats sont associées aux catégories « 4, 3, 2 ou 1 » tandis que les caractéristiques de fabrication des gros granulats se rapportent aux catégories « d, c, b ou a ». Les caractéristiques intrinsèques des granulats fins mènent aux catégories « 2 ou 1 ».

Les essais en laboratoire qui permettent de déterminer les catégories des gros granulats et des granulats fins sont le micro-Deval (fig. 6), le Los Angeles (fig. 7), le pourcentage de fragmentation, le pourcentage de particules plates, le pourcentage de particules allongées et la friabilité. Ainsi, selon les essais de laboratoire et les caractéristiques intrinsèques des gros granulats, le granite se retrouve dans la catégorie « 3 » tandis que l'ortho-quartzite se retrouve dans la catégorie « 2 ». En considérant les caractéristiques de fabrication des gros granulats, le granite se retrouve dans la catégorie « d » tandis que l'ortho-quartzite se retrouve dans la catégorie « a ». Il est à noter que les granulats d'ortho-quartzite ne sont pas soumis à l'essai sur particules plates et allongées puisqu'ils sont dans la catégorie « 2 » selon la norme 4202 du ministère des Transports du Québec. Les granulats fins de type ortho-quartzite sont de catégorie « 1 ».

En plus des essais normalisés, un essai d'adhésivité, selon la norme française XP T 66-043, a été réalisé (fig. 8). L'adhésion entre le liant et les granulats a été vérifiée car il est fréquent de rencontrer des modifications de l'adhésivité avec les granulats colorés qui sont dues à la présence de certains oxydes. Des dopes d'adhésivité sont parfois nécessaires lorsque l'adhésivité mesurée en laboratoire est trop faible. Dans le cas de l'ortho-quartzite et du granite, aucun dope d'adhésivité n'est nécessaire. Bien que le liant synthétique soit translucide, l'essai d'adhésivité avec ce liant s'est bien effec-



Fig. 6 - Essai micro-Deval.



Fig. 7 - Essai Los Angeles.



Fig. 8 - Essai d'adhésivité.

tué car les granulats étaient très pâles, tirant sur le blanc, et le liant était plutôt de couleur ambrée. Le contraste était donc bien visible.

Les résultats des différents essais réalisés en laboratoire sur les granulats sont présentés dans le tableau II.

Les granulats retenus, soit l'ortho-quartzite et le granite, sont conformes à la norme 2101 du ministère des Transports du Québec.

Essais sur liants

La norme 4101 du ministère des Transports du Québec permet de déterminer, à l'aide d'essais en laboratoire, les caractéristiques et les critères d'évaluation des bitumes standards utilisés pour les enrobés bitumineux. Toutefois, en ce qui concerne le bitume synthétique utilisé pour la formulation de l'enrobé de couleur verte, aucune norme québécoise n'est applicable.

Puisque le bitume synthétique et le bitume standard ont le même comportement viscoélastique, la norme 4101 a été utilisée pour déterminer les caractéristiques du bitume synthétique. Quatre essais ont été réalisés sur le liant synthétique afin d'obtenir les informations requises pour la formulation du mélange MEL-4. Il s'agit de la viscosité Brookfield, de la rhéologie à haute température (DSR), de la rhéologie à basse température (BBR) et de la densité du bitume. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.

TABLEAU II
Résultats des essais sur granulats

Propriétés	Norme	5-10 mm Granite	5-10 mm Ortho- quartzite	0-5 mm Ortho- quartzite	
Densité relative brute (D_{gb})	LC 21-065 LC 21-067	2,580	2,630	2,590	
Absorption en eau (%)	LC 21-065 LC 21-067	0,81	0,89	6,40	
Adhésivité liant/granulats (%)	XP T 66-043	100	75-90	n.d.	
Friabilité (%)	LC 21-080	n.d.	n.d.	37	
Fragmentation (%)	LC 21-100	100	100	n.d.	
Particules plates (%)	LC 21-265	25,74	n.d.	n.d.	
Particules allongées (%)	LC 21-265	25,74	n.d.	n.d.	
Coefficient d'écoulement (C_e)	LC 21-075	n.d.	n.d.	94	
Résistance à la fragmentation Los Angeles (%)	LC 21-400	49,02	30,60	n/a	
Résistance à l'usure micro-Deval (%)	LC 21-070 LC 21-101	16,10	14,65	20,25	
Granulométrie (tamisats %)	14,0 mm	100	100	100	
	10,0 mm	100	88	100	
	5,0 mm	21	25	95	
	2,5 mm	1	5	74	
	1,25 mm	LC 21-040	1	4	54
	630 μ m	1	4	37	
	315 μ m	1	4	22	
	160 μ m	0,4	4	14	
	80 μ m	0,3	3,2	8,2	

TABLEAU III
Résultats des essais sur le bitume synthétique

Essai	Norme	Résultat	
Densité	ASTM D70-82	1,0138	
Viscosité Brookfield	AASHTO TP48-97	Compactage	165 °C
	LC 25-007	Malaxage	208 °C
Rhéologie à haute température (DSR)	AASHTO TP5-98	66 °C	
Rhéologie à basse température (BBR)	AASHTO TP1-98	31 °C	

L'essai du rhéomètre à cisaillement dynamique (DSR) (fig. 9) permet de déterminer la température élevée de caractérisation du bitume. L'essai du rhéomètre à flexion de poutre (BBR) (fig. 10) permet de déterminer la température basse de caractérisation du bitume. Les résultats des essais donnent des températures de 66 °C et – 31 °C, ce qui permet de déterminer le grade du liant utilisé selon la norme 4101 du ministère des Transports du Québec. Ainsi, le grade du liant synthétique est PG 64-28 et la densité est de 1,0138.

Le bitume standard utilisé pour les mélanges MEL-1, MEL-2 et MEL-3 est de grade PG 58-28 et a une densité de 1,0079.



Fig. 9 - Rhéomètre à cisaillement dynamique.

Fig. 10 - Rhéomètre à flexion de poutre.



Essais sur enrobés bitumineux

Les caractéristiques à respecter pour un enrobé bitumineux de type ESG-10 formulé selon la méthode de formulation du Laboratoire des chaussées, issues du tableau 4202-1 de la norme 4202 du ministère des Transports du Québec, sont présentées dans le tableau IV. Il s'agit de la quantité de vides à respecter à 10, 80 et 200 girations, de la compacité, de la résistance à l'orniérage sur plaques de 50 mm à 60 °C à 1 000 cycles et à 3 000 cycles.

Les essais sur enrobés bitumineux colorés ont été réalisés selon la norme LC 26-004 du ministère des Transports du Québec : « Formulation des enrobés à l'aide de la presse à cisaillement giratoire selon la méthode du Laboratoire des chaussées ».

La préparation des plaques a été réalisée selon les exigences de la norme française AFNOR P 98-250-2 Préparation des mélanges hydrocarbonés; Partie 2 : Compactage des plaques (fig. 11). L'essai de résistance à l'orniérage a été réalisé selon les exigences de la norme française AFNOR P-98-253-1 Déformation permanente des mélanges hydrocarbonés; Partie 1 : Essai d'orniérage (fig. 12).

TABLEAU IV

Caractéristiques à respecter selon la norme 4202 pour un enrobé bitumineux de type ESG-10

Essai	ESG-10 – Couche de surface	
Presse à cisaillement giratoire	Vides à 10 girations (%)	≥ 11,0
	Vides à 80 girations (%)	4,0 – 7,0
	Vides à 200 girations (%)	≥ 2,0
	Compacité (% minimal)	92,0
Résistance à l'orniérage (plaques de 50 mm)	1 000 cycles (%)	10
	3 000 cycles (%)	20



Fig. 11 - Compactage de plaques.



Fig. 12 - Essai d'orniérage.

Les essais de densité, de teneur en vides, de compacité et de résistance à l'orniérage ont été réalisés pour les mélanges MEL-1, MEL-2 et MEL-3. Pour le mélange MEL-4, seuls les essais de densité et de teneur en vides ont été réalisés compte tenu des matériaux disponibles.

Le tableau V présente la synthèse des résultats obtenus en laboratoire sur les mélanges bitumineux. Les valeurs inscrites dans ce tableau sont les valeurs moyennes obtenues sur deux échantillons pour un même essai.

TABLEAU V

Résultats obtenus en laboratoire sur les enrobés bitumineux colorés

Propriété	Norme	MEL-1	MEL-2	MEL-3	MEL-4
Densité maximale (D_{mm})	LC 26-045	2,437	2,412	2,453	2,488
Vides à 10 girations (%)		15,8	15,4	17,9	17,2
Vides à 80 girations (%)	LC 26-003	5,5	5,3	6,4	5,8
Vides à 200 girations (%)		2,4	2,3	3,0	2,5
Compacité (%)	LC 26-320	95,4	94,7	95,6	n.d.
Résistance à l'orniérage à 1 000 cycles (%)	NF P 98-253-1	4,34	4,15	5,21	n.d.
Résistance à l'orniérage à 3 000 cycles (%)	LC 26-XXX	6,23	6,79	5,51	n.d.

La figure 13 montre les briquettes obtenues à la suite des essais à la presse à cisaillement giratoire (PCG) pour chacun des mélanges. La figure 14 montre les plaques des enrobés MEL-3 et MEL-2 suite à l'essai d'orniérage.



Fig. 13 - Briquettes obtenues lors de l'essai à la PCG.



Fig. 14 - Essai d'orniérage sur MEL-3 et MEL-2.

Tous les résultats obtenus en laboratoire satisfont aux exigences de la norme 4202 du ministère des Transports du Québec.

Conclusion

L'étude de formulation réalisée dans les laboratoires de l'École de technologie supérieure (université du Québec) a montré qu'il est possible de réaliser au Québec, avec les matériaux disponibles, des enrobés bitumineux colorés répondant aux différentes normes du ministère des Transports du Québec.

Lors de la phase II de l'étude, les essais sur l'enrobé vert seront complétés et des essais de tenue à l'eau et de gel-dégel seront réalisés.

Pour être compétitifs, les enrobés bitumineux colorés doivent présenter des avantages à court, moyen et long termes.

Les enrobés bitumineux colorés sont plus chers que les enrobés noirs traditionnels car ils font appel à des constituants spécifiques particulièrement coûteux. Le prix d'un enrobé rouge avec un bitume pigmentable est environ deux fois plus élevé que le prix d'un bitume noir traditionnel. Pour un enrobé de couleur avec un liant synthétique et des colorants variés, le prix est 4 à 6 fois plus élevé. Le bitume de synthèse, issu de la chimie du pétrole, est 10 à 12 fois plus cher qu'un bitume pur de distillation directe.

De plus, les enrobés bitumineux colorés nécessitent des attentions particulières lors des études de formulation (adaptation de la couleur sans modification des autres performances) et lors de leur fabrication et de leur mise en œuvre (stockage séparé des liants spéciaux, temps de malaxage plus long, nettoyage complet des équipements).

Les revêtements colorés ne sont peut-être pas économiques à la pose, mais ils peuvent le devenir à moyen et long termes en considérant les nombreux avantages qu'ils procurent [Brosseaud et St-Jacques, 2002A et B].

Des planches d'essais en enrobés bitumineux colorés devront être réalisées au Québec. Ces planches permettront de déterminer le comportement à court, moyen et long termes des enrobés colorés sous les conditions climatiques québécoises, et de vérifier si les avantages observés en France se retrouvent aussi au Québec.

Remerciements. Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement M. Dinh Duong de Bitumar Inc. pour le bitume synthétique, M. Werner Hans de Bayer Inc. pour les pigments de couleur et M. Jude Langlois de Les Carrières Saint-Ferdinand Inc. pour les granulats colorés.

- BAYER Inc., *Coloration des enrobés à chaud*, Notice technique, Division Produits Minéraux, Oxydes de fer, France, **1994**.
- BRAILLY M.-C., RENNESSON C. (1995), Coloration des revêtements routiers et sécurité routière, *RGRA*, **733**, **1995**, pp. 47-49.
- BROSSEAUD Y., ST-JACQUES M., Les revêtements bitumineux colorés en France, bilan d'utilisation 1^{re} partie, *RGRA*, **807**, **2002A**, pp. 33-38.
- BROSSEAUD Y., ST-JACQUES M., Les revêtements bitumineux colorés en France, bilan d'utilisation 2^e partie, *RGRA*, **809**, **2002B**, pp. 66-73.
- CERTU, *Guide technique - Le choix des revêtements colorés à base de bitume ou de résine pour la voirie urbaine – Recommandations*, Dossiers du CERTU, Paris, France, **1997**.
- DOMECQ J.-J., SICARD D., Les produits colorés à base de bitume ou de résines pour revêtements de voirie urbaine, *RGRA*, **730**, **1995**, pp. 42-45.
- GAUDREAU R., HOULE P., DOUCET P., STE-CROIX L., PERREAULT S., LACHANCE S., BELLE-MARE Y., JACOB H.-L., BUTEAU P., MARCOUX P., *Rapport sur les activités d'exploration minière au Québec*, DV 2001-01, Gouvernement du Québec, **2001**.
- HÉBERT Y., HÉBERT R., *Guide pratique d'identification des roches*, Les publications du Québec, Québec, **1994**.
- LESSARD M., SAINT-JACQUES M., WILLIAMS R., Constats sur les enjeux, la stratégie d'intervention et les instruments du projet d'entrée de villages et de petites villes, *Routes et paysages villageois*, Éd. Conseil du paysage québécois, section 6, 2000, pp. 1-14.
- SERRES A.-M., LEGILLON H., FAURE B., Couleur et clarté des surfaces routières, *RGRA*, **709**, **1993**, pp. 27-28.