

DÉVELOPPEMENT DES ENROBÉS A MODULE ÉLEVÉ EME AU CANADA



Marc Proteau, Ing.
Directeur Technique Amériques
Groupe Eurovia
CÉRIU, Montréal 21 novembre 2016

01 | Plan de la Présentation

- . Définition des Enrobés a module élevé EME;
- . Premières réflexions sur l'adaptation des EME aux régions froides (résistances aux retraits thermique);
- . Première application 2012;
- . Développement des spécifications Bitume Québec;
- . Application chantiers 2015-16;
- . Perspectives de développement Eurovia
 - . Québec
 - . Ouest Canadien
 - .USA

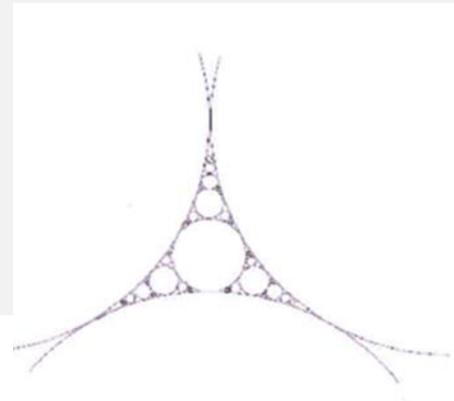
Définition des enrobés a module élevé EME:

- Les EME sont des enrobés bitumineux a module de rigidité élevé (2 à 3 fois plus que les enrobés conventionnels) pour couche de base et intermédiaire, ils se caractérisent par un répartition granulaire dense et semi-grenu 0-14 mm principalement. Les performances mécaniques et rhéologiques des EME sont significativement supérieures aux enrobés usuel permettant la réalisation de structures de chaussées performantes. Les EME peuvent également êtres produit selon des granularités 0-20 mm et 0-10 mm.



Développement EME au Québec, les considérations:

- Considérant les évolutions majeures des contraintes dues aux augmentations exceptionnel du trafic, on constate que les structures Bitumineuses sont de plus en plus sollicitées au niveau de leurs capacité structurales;
- Travailler sur l'élaboration d'une alternative techniquement supérieur et plus économique pour les chaussées fortement sollicitées (structures routières et industrielles);
- Prise en compte de l'adaptation de ces enrobés structurants aux très base températures;
- Développement d'un liant bitumineux spécialement adapté;
- Optimisation de la composition granulaire pour des propriétés optimales.



Développement EME au Québec

- Optimisation de la composition granulaire à l'aide de logiciel spécialisé;
 - Vides minimales = Optimisation de la compacité du mélange
 - Vides minimales = Moins sensible à l'eau ITSR
 - Vides minimales = Meilleure résistance en fatigue
- Formulation d'un liant bitumineux Haute performance grade PG 88-28;
 - Résistance à l'orniérage exceptionnelle
 - Pas de fissuration thermique jusqu'à -32°C min. (temp. air $\pm -40^{\circ}\text{C}$)
- Développement d'analyses Rhéologiques adaptées
 - Module Complexe
 - Résistance en fatigue TCD
 - Résistance aux retraits thermique TSRST
 - Résistance au désenrobage (adhésivité passive) ITSR
- Instrumentation de section expérimentales
 - Température dans la structure
 - Déformation sous chargement dynamique FWD



	WEATHER STATISTICS STATISTIQUES MÉTÉOROLOGIQUES									
CHARACTERISTICS	CITY									
	QUEBEC	MONTREAL	EDMONTON	VANCOUVER	ORLANDO	CHARLOTTE	NEW-YORK	PARIS	BORDEAUX	TORONTO
Localisation										
.Latitude (°)	46,8	45,5	53,4	49,2	28,3	35,1	40,4	45,5	44,5	43,4
.Altitude (m)	74,4	35,7	668,0	4,3	28,0	240,0	9,0	65,0	61,0	76
Temperature (°C)										
.Annual Average	4,2	6,8	3,9	10,1			12,9	12,1	13,8	9,4
.Annual average Max	9,2	11,5	9,0	13,7	33,3	22,0	17,1	15,5	18,5	12,9
.Annual average Min	-0,8	2,0	-1,9	6,5	9,0	11,0	8,8	8,6	9,1	5,9
.Highest temp.	35,6	37,6	38,3	33,3	38,3	40,0	41,0	40,4	41,9	40,6
.Lowest Temp.	-36,1	-37,8	-48,3	-17,8	-7,2	-21,0	-25,5	-23,9	-16,4	-32,8
.Delta Max.	71,7	75,4	86,6	51,1	45,5	61,0	66,5	64,3	58,3	73,4
Precipitation (Annual Total)										
.Rain (mm)	923	763,0	365,7	1154,0	1223	1227	1117	650	851	831
.Snow (cm)	315	217	124	48	0	18	69,0			122
Degrés-jours										
. < 0°C	1248	941		38	4	68	88		26	
LTPP Bind										
.Low temp. in the pavement, 98%										
0 mm	-28,4	-26,5	-38,9	-15,9						-20,8
100 mm	-24,0	-22,1	-34,5	-11,5						-16,4

Développement EME au Québec / Comparaison avec les références

Essai	Classification Européenne du bitume				Québec (EME)
	10/20 pén.	20/30 pén.	35/50 pén	50/70 pén.	PG 88-28
Densité à 25°C (gr/cm ³)	1,041	1,033	1,033	1,026	1,013
Pénétration (dmm)	16	28	47	50	57
Point de ramollissement (°C)	73	66	63	60	92
Recouvrance d'élasticité à 10 °C (%)	<5	<5	<5	7,5	71
Viscosité Brookfield (cP)					
à 135°C	1875	980	595	439	1928
à 165°C	390	234	156	124	424
Grade PG					
T _{haute} (°C)	88,24	80,6	71,7	69,3	90,7
T _{basse} (°C)	-14,6	-18,8	-21,2	-22,7	-29,2
Grade	PG 88-10	PG 76-16	PG 70-16	PG 64-22	PG 88-28
PG-MSCR à 64°C					
J _{nr} à 3,2kPa	0,10	0,38	1,50	2,17	0,013
Recouvrance (%)	29,3	12,5	2,3	1,3	95,6
Grade (*)	PG 64E-10*	PG 64E-16*	PG 64H-16	PG 64S-22	PG 64E-28

(*) Ces grades ont échoué à l'essai de recouvrance

Définition de performances des EME en régions froides:

- . $|E^*| > 14\ 000\ \text{MPa}$ à **T. eq.**, 10 Hz
- . $\epsilon_6 > 130 - 150\ \mu\text{def}$ à 10°C , 10 Hz (10^6 cycles), Essai TCD
- . TSR $> 85\ \%$
- . TSRST $\leq -22,0^\circ\text{C}$ à $-28,0^\circ\text{C}$
- . Résistance a l'orniérage: $\leq 5,0\ \%$ à $7,5\ \%$, après 30 000 cycles à 60°C sur plaques de 100 mm

ADAPTATION des PERFORMANCES aux CONDITIONS CLIMATIQUES

Module E* , MPa	Vancouver Toronto USA	Montréal	Régina	NF EN 13108-1 EME Classe 2
.15°C, 10 Hz .10°C, 10 Hz . 5°C, 10 Hz	> 14 000	> 11 000 > 14 000	> 11 000 > 14 000	> 14 000
Fatigue, 10 ⁶ cycles, μ def				
.10°C, 10 Hz, TCD .10°C, 25 Hz, Trapèze	> 130	> 130	> 150	> 130
Orniérage, 30 cycles, %				
100 mm, 60°C	< 5,0	< 5,0	< 7,5	< 7,5
Retrait Thermique, °C	< -22	< -28	< -28	---

Note: Grave-Bitume GB-20 PG 58-28: Module 10°C, 10 Hz = 7- 8 000 MPa

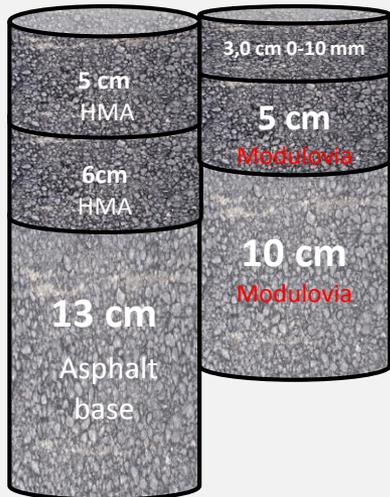
Premières réflexions sur l'adaptation des EME aux régions froides (résistances aux retrait thermique)



Exemple pour une durée de vie

› 30 millions Ecas (80kN)

› 20 ans



	Structure MODULOVIA	Enrobés Conventioneel
Couche de surface	3,0 cm Rugovia	5,0 cm ESG-10
Intermédiaire	5,0 cm HM 0-14 mm	6,0 cm ESG -14
Base	10 cm HM 0-19 mm	13 cm GB-20
Fondation Granulaire	15,0 cm granular	15,0 cm MG-20
Sous-Fondation	25,0 cm granular	25,0 cm MG-56
Plateforme	50 MPa, CBR 10	
Épaisseur totale	72,5 cm	79 cm

Réduction de l'épaisseur des enrobés de 25%

EME-14, section d'essai rue Bourgogne, Brossard, Novembre 2012



Compaction 98%



EME-14, section d'essais rue Bourgogne, 48 Mois après les travaux



TECHNO-BITUME

BULLETIN TECHNIQUE

PUBLIÉ PAR BITUME QUÉBEC

NUMÉRO

09

LES ENROBÉS À MODULE ÉLEVÉ
ADAPTÉS AUX CLIMATS FROIDS

INTRODUCTION

Dans le domaine des chaussées bitumineuses, les enrobés à module élevé constituent une approche performante pour pallier aux problèmes d'accroissement et d'agressivité du trafic. Les enrobés à module élevé (EME) permettent un apport structural supérieur aux chaussées bitumineuses comparativement aux enrobés conventionnels. Les premières applications des EME sont apparues en France dans les années 1980. Tout récemment, le développement de spécifications a été réalisé afin d'adapter ce type d'enrobés à aux conditions climatiques du Québec. Ce bulletin présente les notions générales ayant permis de formuler les enrobés à module élevé EME-10 et EME-14.

1) DÉFINITION

Les EME sont des matériaux permettant un renforcement structurant très important aux chaussées bitumineuses grâce à leur performance élevée sur trois plans : la résistance à l'orniérage, le module complexe et la tenue en fatigue. L'optimisation et la combinaison de ces facteurs permettent conséquemment de diminuer les épaisseurs de couches de la chaussée. La rigidité des EME peut être jusqu'à trois fois plus élevée que celle des enrobés conventionnels. C'est grâce à cette augmentation de la rigidité qu'il est possible, pour une durée de vie égale, de diminuer la quantité de matériaux nécessaires à la réalisation d'une chaussée bitumineuse, ou, pour une même épaisseur d'enrobés, d'augmenter la durée de vie de la chaussée. Dans les deux cas, cette approche contribue aux valeurs préconisées de développement durable.

2) LES AVANTAGES

L'utilisation des EME dans les structures de chaussées bitumineuses augmente la résistance aux sollicitations élevées provenant du trafic lourd et du débit de circulation. Les EME sont très résistants à l'orniérage et à la fatigue et offrent les avantages suivants :

- **augmentent la durée de vie** de la chaussée pour une épaisseur équivalente aux enrobés à chauds ;
- **diminuent les épaisseurs de couches** pour une durée de vie égale. Cette fonction est particulièrement utile lorsque le chantier a des contraintes de hauteur avec, par exemple, un passage sous un ouvrage et une restriction de profil en milieu urbain ;
- **diminuent les coûts** grâce aux épaisseurs de couches plus minces ou à une durée de vie prolongée pour la chaussée ;
- **favorisent les gains environnementaux** puisque la diminution des épaisseurs des couches bitumineuses et l'augmentation de la durée de vie diminuent les émissions de gaz à effet de serre (GES) et l'utilisation des ressources naturelles.

COMPOSITION TYPE ET PERFORMANCES

DE L'ENROBÉ À MODULE ÉLEVÉ EME-14

CATÉGORIE DU GROS GRANULAT

(≥ 5 mm) à utiliser : « 2 » et « a »
(NQ 2560-114/2002-M2 Travaux de génie civil - partie V - enrobés à chaud, tableau 2)

CATÉGORIE DU GRANULAT FIN

(< 5 mm) à utiliser : « 2 »
(NQ 2560-114/2002 - M2 Travaux de génie civil - partie V - enrobés à chaud, tableau 2)

FUSEAU GRANULOMÉTRIQUE

(LC 26-350 Analyse granulométrique des granulats et LC 26-007 Analyse granulométrique des granulats d'extraction)

TAMIS	% PASSANT (*) À titre indicatif
20 mm	100
14 mm	90-100
10 mm	80-90*
5,0 mm	58-70*
2,5 mm	40-52*
80 µm	8-16

COMPACTITÉ

(LC 26-320 Détermination du pourcentage de vides et de la compacité dans les enrobés à chaud compactés)

≥ 93 %

POURCENTAGE DE VIDES

(LC 26-320 Détermination du pourcentage de vides et de la compacité dans les enrobés à chaud compactés)

Vides à 10 girations	≥ 11,0 %
Vides à 100 girations	4,0 à 7,0 %
Vides à 200 girations	≥ 2,0 %

RÉSISTANCE À L'ORNIÉRAGE (%)

(LC 26-410 Résistance à la déformation des enrobés à l'essai d'orniérage)

Plaques de 100 mm, 60°C à 30 000 cycles ≤ 5,0

TENUE À L'EAU, TSR (%)

(AASHTO T283 - Standard Method of Test for Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture-Induced Damage)

≥ 75

TENEUR EN BITUME MINIMALE (%)

(LC 26-006 Détermination de la teneur en bitume par ignition)

3,75

RÉSISTANCE AU RETRAIT THERMIQUE
EMPÊCHÉ (°C)

TSRST - Température de rupture

≤ -28,0

(AASHTO TP10-93 Thermal Stress Restrained Specimen Test - TSRST)

GRADE DE BITUME

PG 88-28

RÉSISTANCE À LA FATIGUE (µ déformation)

(Mode opératoire de l'ÉTS - Détermination de la résistance en fatigue par essais de traction - compression)

Traction - compression, 10°C, 10Hz,
1 million de cycles, N_{f50%} > 130

MODULES COMPLEXES | E* | (MPa)

(LC 26-700 - Détermination du module complexe des enrobés)

Traction - compression directe, 10°C, 10Hz > 14 000

Traction - compression directe, 15°C, 10Hz > 11 000

Modulovia 4X 0-14mm + 0-10mm, Taschereau à Océanie



9 mois après les travaux

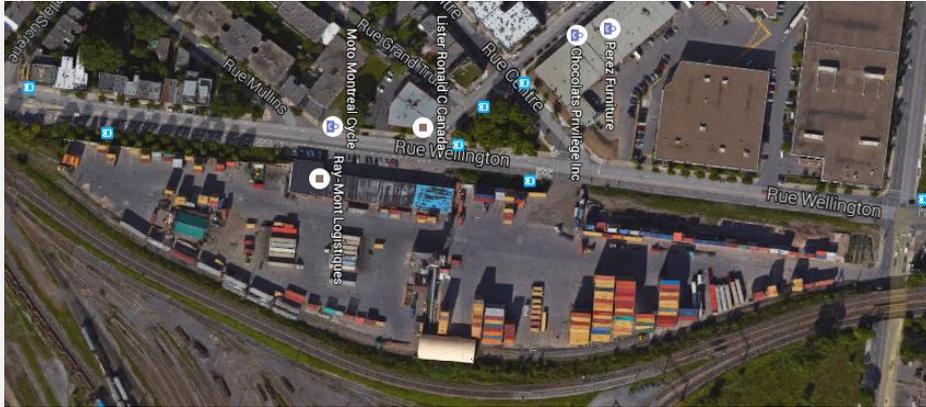
Appel d'offres avec EME-14 et EME-10 selon les spécifications de Bitume Québec

Chantier réalisé entre juillet et septembre 2015

- › Secteur Taschereau à Océanie
 - 60mm de Modulovia 4X 0-10mm (EME-10 PG 88-28)
 - 90mm de Modulovia 4X 0-14mm (EME-14 PG 88-28)
 - Fondations reconstruites (250mm de MG-20 + 300mm de MG-56)
- › Secteur Océanie à Orient
 - 60mm de ESG-10 PG 70-28
 - 90mm de Modulovia 4X 0-14mm (EME-14 PG 88-28)
 - Fondations reconstruites (200mm de MG-20 + 250mm de MG-56)

Applications chantiers 2015

Usage industriel, Ray-Mont Logistiques



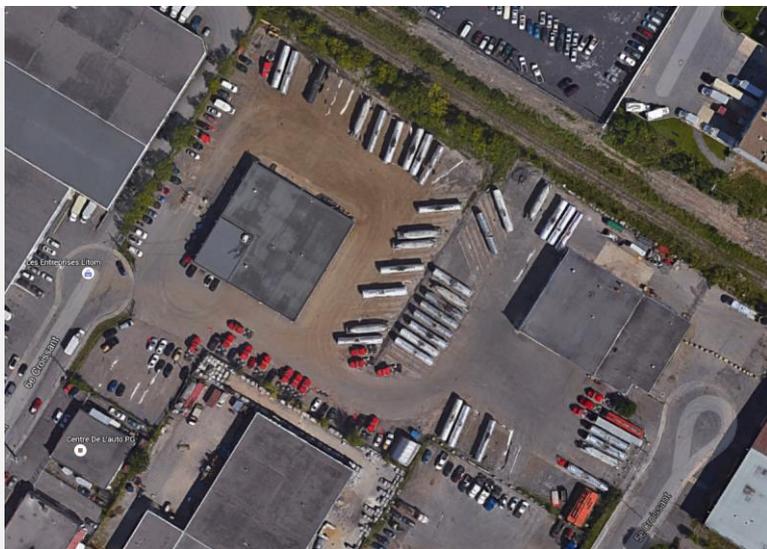
Client privé, remplacement du 400 mm de BCR

Chantier réalisé entre août et septembre 2015

- › 2 secteurs pour circulation des engins lourds
 - Zone Garage en Modulovia 4X 0-14mm
 - 70mm + 90mm + 100mm
 - 250mm de MG-20 + 425(+400) de MG-56
 - Surexcavation 400mm du sol mou
 - Zone Bascule en Modulovia 4X 0-14mm
 - 70mm + 120mm + 120mm
 - 200mm de MG-20 + 425mm de MG-56



9 mois après les travaux



Client privé, cour non-revêtue

Chantier réalisé en novembre 2015

- › Circulation des camions remorques
 - Modulovia 4X 0-14mm
 - 60mm surface + 70mm base
 - 200mm de MG-20 + 500 (+300) de MG-56

Concession public-privé

Chantier réalisé 2016-19

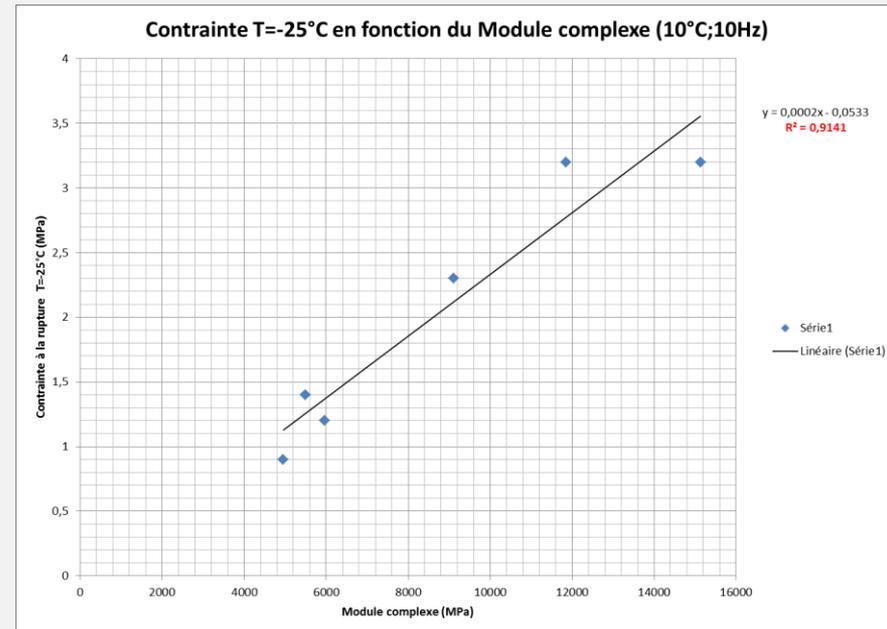
› Circulation type autoroutières

- Modulovia 4X 0-14mm
 - 50 mm surface
 - 115-135 mm Modulovia 0-14 mm



Sur le plan Technologique:

- › Promotion du calcul de dimensionnement Mécanistique
- › Mise en oeuvre:
 - Contraintes supérieures de retrait aux joints??
- › Comportement performantiels en fatigue:
 - Comparaison des méthodologies d'essais;
 - Pentas droites de fatigue;
 - Coefficient de calage en dimensionnement.



Applications Chantiers:

- › Secteurs Industriels
- › Projets D&B, PPP:
 - Regina Bypass;
- › Promotion aux USA

STRUCTURES DE CHAUSSÉES INDUSTRIELLES ET PORTUAIRES DES SOLlicitATIONS PARTICULIÈRES : UNE RÉPONSE ADAPTÉE

Les aires de circulation et de stockage industrielles et portuaires subissent des charges et des contraintes particulières de déformation, de poinçonnement et de cisaillement. Ces structures de chaussées doivent être spécialement conçues et dimensionnées.

Eurovia possède une **gamme complète de procédés** ainsi que l'**expertise technique pour la conception et la réalisation** des chaussées industrielles de haute performance.



UN LABORATOIRE SPÉCIALISÉ EXCLUSIF

Le groupe Eurovia dispose d'un **centre technique exclusif** permettant la conception et la réalisation d'analyses de laboratoire sur les matériaux, unique en Amérique.

Le Centre Technique CTNA est équipé de **matériel de laboratoire avancé, assurant la mise au point de matériaux routiers de haute performance.**

Le centre est notamment équipé de presses hydrauliques capables d'évaluer les performances à long terme des enrobés bitumineux et possède **une expertise reconnue** dans le domaine des structures routières et industrielles.

LA MAÎTRISE DES CALCULS DE CONCEPTION DE CHAUSSÉES

Eurovia met à la disposition de sa clientèle des **ingénieurs spécialisés** dans le domaine des structures de chaussées ayant l'**expertise des calculs de dimensionnement de chaussées**, quel que soit le type de véhicules ou d'engins de circulation.

L'équipe de spécialistes est en mesure de prendre en considération les contraintes particulières du site et des sollicitations pour l'**établissement de solutions optimisées** du point de vue de leurs performances, leur usage, et sur les plans économiques et écologiques.

DES SOLUTIONS VALIDÉES SUR LE TERRAIN

Les structures de chaussées industrielles proposées sont validées par les équipes techniques Eurovia lors des travaux, par :

- la réalisation de mesures en place de la portance des sols et des plateformes, avant la réalisation complète des structures ;

- un suivi qualité des différentes étapes des travaux ainsi que sur les matériaux.

EXEMPLE DE STRUCTURES INDUSTRIELLES

Enrobés MODULOVIA 4X [®]		RECYFLEX [®]		Étanchéité FLEXIPLAST [®]	
Structure neuve		Réhabilitation		Aire de lixiviation	
7 cm	MODULOVIA [®] 4X			7 cm	MODULOVIA [®] 4X
7 cm	MODULOVIA [®] 4X	7 cm	REXOVIA [®] C	7 cm	MODULOVIA [®] 4X
8 cm	MODULOVIA [®] 4X	7 cm	MODULOVIA [®] 4X	8 cm	MODULOVIA [®] 4X
20 cm	MG-20	20 cm	RECYFLEX [®]	20 cm	MG-20
30 cm	MG-56	30 cm	MG-56	30 cm	MG-56
30 cm	MG-56	30 cm	MG-56	30 cm	MG-56

FLEXIPLAST[®]

Plateforme
50 MPa

SOL EXISTANT
Capacité portante 25 MPa



Nous ouvrons la voie
aux idées neuves.