

R&D, tendances, avenues prometteuses et considérations environnementales

Michel Paradis, ing. M.Sc.
Service des matériaux d'infrastructures

**Formation sur les enrobés bitumineux
Montréal - novembre 2006**



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Plan de la présentation

1. Mise en contexte
 - Pourquoi créer de nouveaux enrobés?
 - Enrobés 4201 vs 4202;
 - Chaussée à durée de vie prolongée;
2. Nouveaux enrobés formulés à la PCG
 - GB-20;
 - ESG-5;
 - SMA-10;
 - Autres enrobés en développement;
 - Enrobés tièdes;
 - Enrobés coulés à froid.
3. Retrait thermique et fatigue
4. Appareil de traction entre les couches

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Mise en contexte

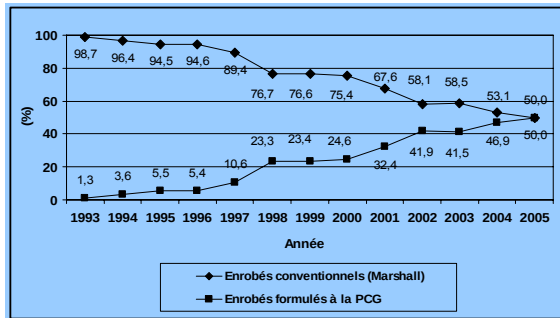
Pourquoi créer de nouveaux enrobés?

1. Compléter la série d'enrobés de la norme 4202 (formulation avec la PCG);
2. Formuler des enrobés adaptés au concept des chaussées à durée de vie prolongée.

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



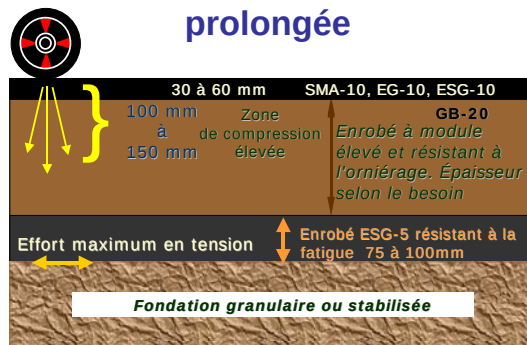
Enrobés LC vs enrobés Marshall



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. - Montréal 2006.



Chaussée à durée de vie prolongée



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. - Montréal 2006.



Nouveaux enrobés formulés à la presse à cisaillement giratoire

ESG-5

GB-20

SMA-10

Enrobés en développement

Enrobés avec additifs

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. - Montréal 2006.



ESG-5

- Enrobé semi grenu 5 mm;
- Formulé à la presse à cisaillement giratoire;
- Enrobé couche de base (Chaussée à durée de vie prolongée);
- Enrobé anti-fissure (fatigue);
- Pas d'exigence à l'essai à l'orniériste.

Caractéristiques recherchées

- Forte teneur en bitume;
- Résistance à la fissuration de fatigue;
- Bonne maniabilité.

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Nouveaux enrobés formulés à la presse à cisaillement giratoire

ESG-5

GB-20

SMA-10

Enrobés en développement

Enrobés avec additifs

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



GB-20

- Grave bitume 20 mm;
- Équivalent au EB-20 mais formulé à la presse à cisaillement giratoire;
- Enrobé de base;
- Enrobé couche intermédiaire (chaussée à durée de vie prolongée).

Caractéristiques recherchées

- Résistant à l'orniérage;
- Résistance à la fissuration thermique;
- Haut module.

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Nouveaux enrobés formulés à la presse à cisaillement giratoire

ESG-5

GB-20

SMA-10

Enrobés en développement

Enrobés avec additifs

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Définition

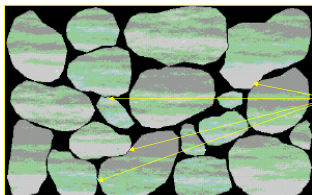
Enrobé discontinu ayant une fort pourcentage de granulats grossiers (> 5mm), une forte teneur en bitume et contenant des fibres d'amiante ou un ajout de cellulose.

L'enrobé à matrice de pierre correspond au terme anglais Stone Matrix Asphalt (SMA).

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Propriétés



La forte proportion de gros granulats (>5 mm) concassés maximise les contacts entre les granulats.

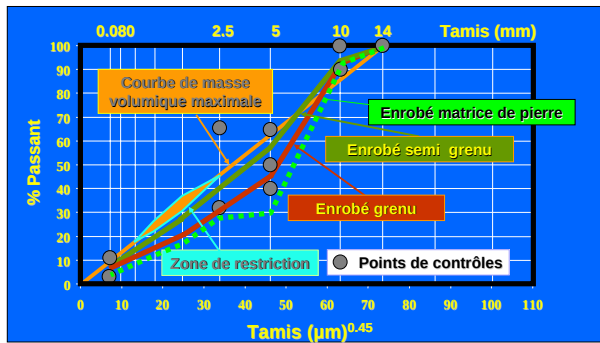
Excellent squelette granulaire.

Bonne répartition des charges appliquées.

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



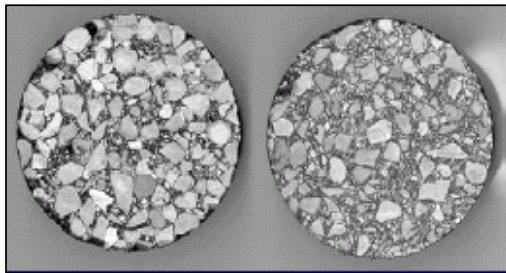
Exigences granulométriques (10 mm)



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Enrobé à matrice de pierre VS enrobé conventionnel



Enrobé à matrice de pierre

Enrobé conventionnel

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Enrobé à matrice de pierre SMA

- Enrobé à matrice de pierre 10 mm;
- Formulé à la presse à cisaillement giratoire;
- Enrobé pour couche de surface;
- Épaisseur de pose peut être inférieure à 40 mm.

Utilisé sur autoroute 20, autoroute 55,
autoroute 10 et route 108 !

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Propriétés

- Bonne résistance à l'orniérage;
- Bonne texture de surface;
- Flexible à basse température;
- Peut se poser à des faibles épaisseurs;
- Moins bruyant;
- Pas de ségrégation;
- Durée de vie plus longue.

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Nouveaux enrobés formulés à la presse à cisaillement giratoire

ESG-5

GB-20

SMA-10

Enrobés en développement

Enrobés avec additifs

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Enrobés en développement

- Enrobé de correction formulé à la PCG (EC-10);
- Enrobé mince pour correction palliative (EGM-10);
- SMA avec additif autre que l'amiante.



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



EGM-10

Granulométrie

14 mm	100
10 mm	90-100
5 mm	35-45
2.5 mm	20-30
0,08mm	5-11

Bitume

Vbe = 11,5%

Vides PCG

10 girations	≥11%
80 girations	4-7%
200 girations	≥2%

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. - Montréal 2006.



Enrobés tièdes

Avantages environnementaux

- Diminution des température de malaxage et de compactage
- Moins de fumées pour les travailleurs

Avantages économiques

- demande moins d'énergie pour chauffer les constituants

Deux planches d'essais réalisés en 2006

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. - Montréal 2006.



Enrobés tièdes



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. - Montréal 2006.



ECF - Formulation

- Objectifs
 - Mélange stable $\Rightarrow$ 15 mm
 - Forte macrotexture $\Rightarrow$ sécurité
 - Cure rapide $\Rightarrow$ durée des travaux
- Normes ISSA
 - Cohésion humide (30 min et 60 min)
 - Compatibilité « granulat/bitume »
 - Perte à l'abrasion (WTAT) (1 hrs , 6 jrs)
 - Déformation latérale
 - Temps de malaxage



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



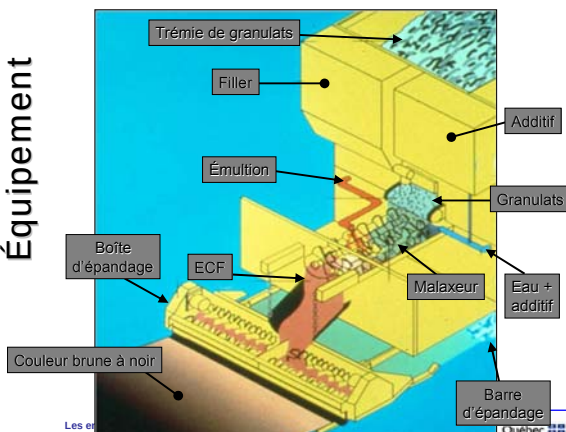
Fuseaux granulométriques ECF

TAMIS	« TYPE 1 »	« TYPE 2 »
	% Passant	
10 mm	100	100
5 mm	85-100	90-100
2.5 mm	50-70	40-48
1.25 mm	30-50	-
80µm	5-12	6-12

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Équipement



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Autoroute 30 – août 2006



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Autoroute 30 – août 2006



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Autoroute 30 – août 2006



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Autoroute 30 – août 2006



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Conditions de mise en oeuvre

- $T > 10^{\circ}\text{C}$, humidité relative $< 80\%$
- Pas de pluie
 - 4 heures suivant la mise en oeuvre
- Pas de gel
 - 24 heures suivant la mise en oeuvre
- Surface propre au moment des travaux
 - Nettoyage et balai mécanique
- Lignes de marquages
 - Traitées ou enlevées.

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Appareil TSRST



Thermal Stress Restrained Specimen Test

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Appareil TSRST

Dimensions de l'éprouvette :

$\theta = 62 \text{ mm}$

$L = 250 \text{ mm}$

Refroidissement :

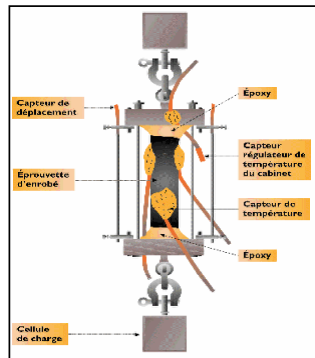
$10^\circ\text{C}/\text{heure}$

Norme :

AASHTO TP10-93

Durée de l'essai :

2 à 4 heures

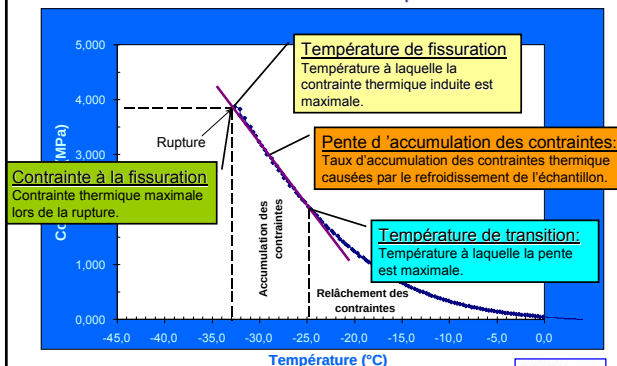


Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. - Montréal 2006.



Courbe typique

Essai de retrait thermique



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. - Montréal 2006.



Mise en situation

Susceptibilité thermique est influencée par:

– Matériaux: bitume, granulat.

– Environnement: température, taux de refroidissement et âge du pavage.

– Géométrie de la route: friction avec la fondation, largeur du pavage, type d'infrastructure, défauts de construction.

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. - Montréal 2006.



Faits à remarquer

- Le facteur le plus important qui affecte la fissuration thermique en laboratoire est le type de bitume. Par contre, le EGA-10 se démarque des autres enrobés vérifiés.
- La température de fissuration d'un enrobé fraîchement compacté se compare à la la température obtenue à l'essai BBR sous le critère de $S(60) = 300 \text{ MPa}$

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Fatigue



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



CARACTÉRISATION DU MODULE COMPLEXE ET DE LA RÉSISTANCE À LA FATIGUE DES ENROBÉS



$$E^* = \frac{\sigma \sin(\omega t)}{\varepsilon \sin(\omega t - \phi)}$$

Déformation = $50 \mu\epsilon$
Fréquences =
0.1, 0.3, 1, 3 et 10 Hz
Températures =
-20, -10, 0, 10, 20, 30, 40, 50°C

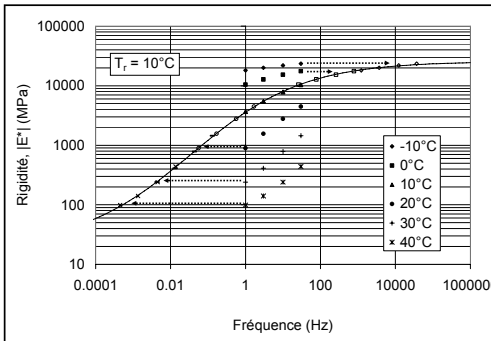
Essai de tension-compression cyclique sur cylindre.

Le **module complexe** est le rapport entre la contrainte et la déformation pour un matériau viscoélastique. (Méthode LC 26-700)

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



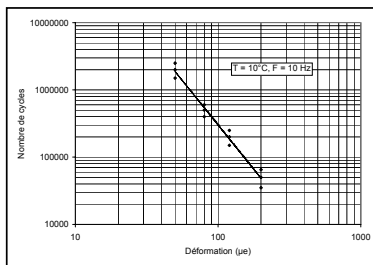
Courbe maîtresse de rigidité



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Courbe de résistance à la fatigue



$$N = a\varepsilon^b$$

Déformations = 50 à 200 µε
Fréquence = 10 Hz
Température = 10°C

La **résistance à la fatigue** est le nombre de cycles nécessaire pour atteindre la rupture par fatigue d'un matériau à un niveau de sollicitation donné.

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



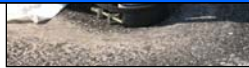
Appareil de mesure de l'adhésion entre les couches

Appareil de traction - AMAC

Système d'extraction



Selon une étude internationale terminée en 2001 par l'IBEF (International Bitumen Emulsion Federation), l'appareil de traction du MTQ pour évaluer le collage des couches apparaît être le plus prometteur.



Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Système de préhension de la DLC



• Avantages

- Fiabilité
- Rapidité d'installation
- Permet la réalisation d'essais non destructifs
- Coût/essai faible

• Inconvénients

- Température de l'enrobé de surface $< 25^{\circ}\text{C}$
- L'enrobé de surface doit avoir plus de 35 mm d'épaisseur

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Critères en chantier

Force de liaison (20°C) (MPa)	Évaluation du collage des couches
Inférieur à 0,15	Non liées
Entre 0,15 et 0,20	Peu liées
Entre 0,21 et 0,30	Bien liées
Entre 0,31 et 0,40	Très bien liées
Supérieure à 0,40	Parfaitement liées

Les enrobés bitumineux : formulation, fabrication, mise en place. – Montréal 2006.



Questions?