



PRÉSERVONS NOTRE PATRIMOINE ROUTIER

L'entretien et la réhabilitation des chaussées bitumineuses

Les enrobés coulés à froid

ft2014
FORMATION TECHNIQUE

Montréal, 2 décembre 2014

B
Bitume Québec



SOMMAIRE

1. Définitions
2. Sélection des constituants
3. Fabrication et mise en œuvre
4. Les E.C.F. comme technique d'entretien des chaussées
 - Les caractéristiques de surface
 - ✓ Rugosité géométrique – mesure de HS
 - ✓ Mesures de CFL, CFT et BPN
 - ✓ Bruit de roulement
 - Les domaines d'emploi
 - Les conditions de réussite (limites d'emploi)
5. Conclusions

Définitions

Les Enrobés Coulés à Froid :

- Sont une technique d'entretien, très mince à froid, réalisé en place, de 10 à 15mm
- Sont voisins des micro-surfacing américains tels que définis dans le bulletin technique A143
- des enrobés pour couches de surface destinés à apporter une bonne adhérence et, selon les cas, à imperméabiliser les supports.





Définitions

Les Enrobés Coulés à Froid (suite)

Ce sont des mélanges d'une émulsion de bitume, de granulats minéraux, d'eau et d'additifs spécifiques dans des proportions définies, malaxés et appliqués de façon uniforme sur une surface proprement préparée.

Le produit final doit conserver une bonne adhérence sur des sections d'épaisseurs variables tout au long de la durée de vie de l'enrobé Coulé à Froid.

Le mélange doit avoir une vitesse de rupture rapide, et un temps d'ouverture au trafic court.

Normalement, ces systèmes doivent pouvoir être ouverts au trafic, pour une épaisseur de 12,7 mm, moins d'une heure après la mise en œuvre pour une température de 24°C et une humidité de 50 %.

Définitions

	Slurry Seal			Micro surfacing	Enrobés coulés à froid (France)	Enrobés coulés à froid (Québec)
Emulsion	Anionique ou cationique			Cationique	Cationique	Cationique
Liant	Bitume pur			Bitume-polymère	Bitume-polymère	Bitume-polymère
Granularité mm	Type 1 2,36	Type 2 4,75	Type 3 9,5	Type 2 4,75	Type 3 9,5	Type 1 ou Type 2 ≥ 5,0
Teneur en fines %	13 – 15	10-21	7-18	5 – 15	5-15	6 -12
Teneur en liant %	10 -16	7,5 – 13,5	6,5-12	5,5 – 9,5		≥ 7,0%
Épaisseur de mise en œuvre maximum	1,5 fois le diamètre maximum					
Temps d’ouverture au trafic	long			Inférieur à 1 heure	court	Inférieur à 1 heure

- Les **Slurry Seal** ont une **phase continue** constituée du **mastic bitumineux**. Ils sont donc très fermés et imperméables, mais sujets au fluage. De ce fait, ils ne doivent pas être appliqués en épaisseur supérieure à 1,5 fois la taille des granulats les plus gros.
- Les **ECF** ont une **phase continue** constituée du **squelette minéral**. Ils visent donc avant tout à restaurer l'adhérence et tolèrent de légères surépaisseurs sans fluier.

Sélection des constituants

Les granulats

- Constituent 85 – 90% en poids de l'ECF
- Ont une très grande influence sur les performances
- Sont issus de roches massives
- 100% concassées identiques à ceux pour enrobés à chaud pour couche de surface

Gros granulats : Classe 1a

Caractéristiques intrinsèques		1	2	3	4	5	6
Micro-Deval (MD), %	LC 21-070	≤ 15	≤ 20	≤ 25	≤ 30	≤ 35	≤ 40
Los-Angeles (LA), %	LC 21-400	≤ 35	≤ 45	≤ 50	≤ 50	≤ 50	≤ 50

Caractéristiques de fabrication		a	b	c	d	e
Particules fracturées, %	LC 21-100	100	≥ 75	≥ 60	≥ 60	≥ 50
Particules plates, %	LC 21-265	≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 30	s.o.
Particules allongées	LC 21-265	≤ 40	≤ 40	≤ 45	≤ 50	s.o.

Granulats fins : classe 1

Caractéristique s intrinsèques		1	2	3
Micro-Deval (MD), %	LC 21-070	≤ 30	≤ 35	≤ 35
Friabilité, %	LC 21-080	≤ 40	≤ 40	≤ s.o.

Sélection des constituants

Les granulats (suite)

- Généralement on utilise des granulométries 0-5mm type 1 (continue),
- Certaines formulations permettent la mise en œuvre de formulations discontinues (fuseau Type 2)
- Possibilité d'utiliser des 0-8 et 0-10mm
- recomposées en carrière avec humidification pour éviter la ségrégation lors du transport.
- La teneur en fines doit être la plus constante possible.

Tableau 2 : Fuseaux granulométriques de l'ECF

Tamis	« Type 1 »	« Type 2 »
	% Passant	
10,0 mm	100	100
5,0 mm	85-95	85-90
2,5 mm	50-70	35-50
1,25 mm	30-50	----
80,0 μ m	5-12	6-12

Les fuseaux granulométriques au Québec

Sélection des constituants



granulats concassés
0/4, 0/6, 0/8 ou 0/10
recomposés
environ 100 kg
Formule cont. ou discont.
(humidifié en carrière)



émulsion de bitume (modifié ou non)
60 %
environ 11 à 13 kg
5,5 à 8,5 ppc de bitume résiduel



eau
environ 10 kg



additif dilué
0 à 0,5 kg

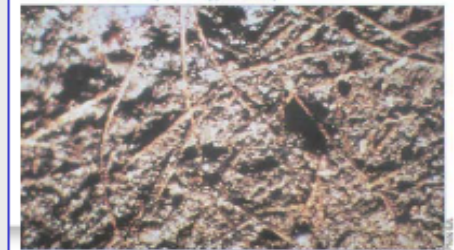


chaux ou ciment
0,75 à 1,5 kg

régulateur de rupture

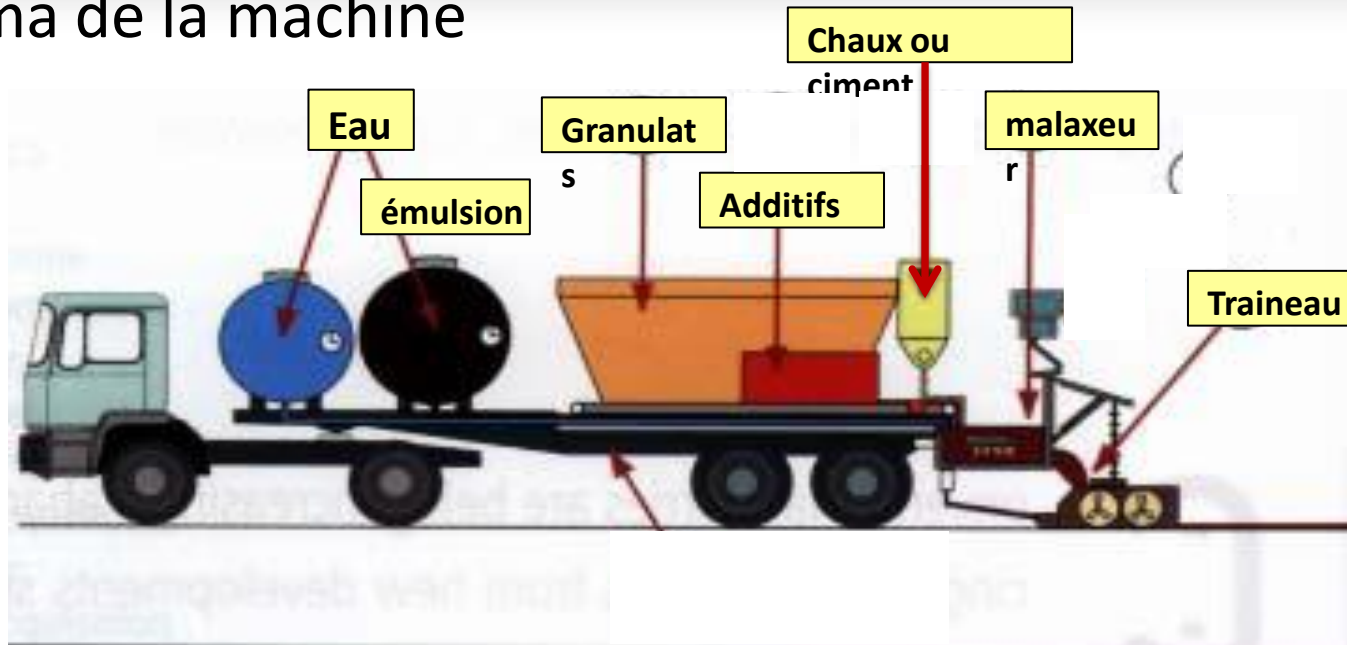


Possibilité fibres



La fabrication et la mise en œuvre

Schéma de la machine



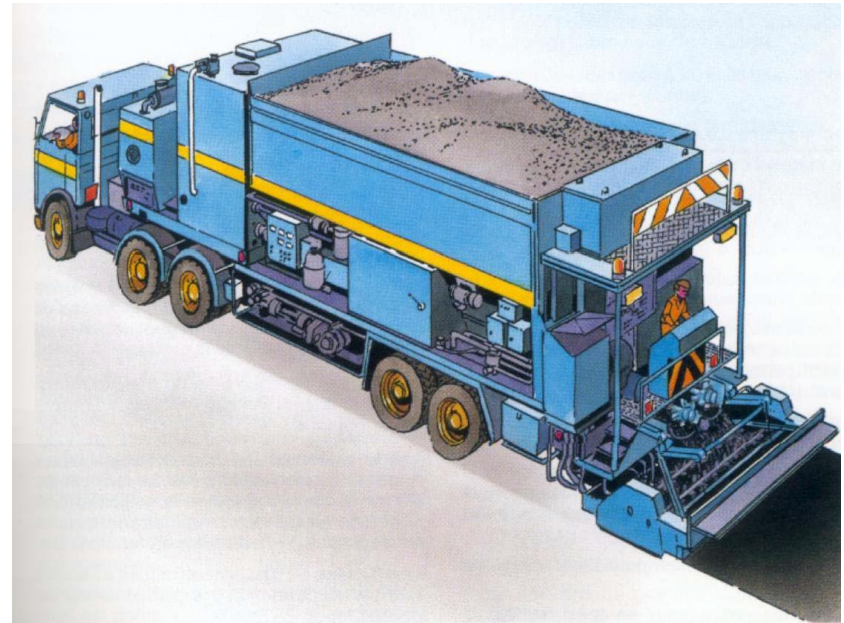
La fabrication et la mise en œuvre sont effectuées simultanément, à l'aide d'une usine mobile :

- Stockage des composants
- Les dosages selon la formule
- Le malaxage
- Un traineau épandeur attelé à la machine automoteur

La fabrication et la mise en œuvre

On distingue deux types de machines :

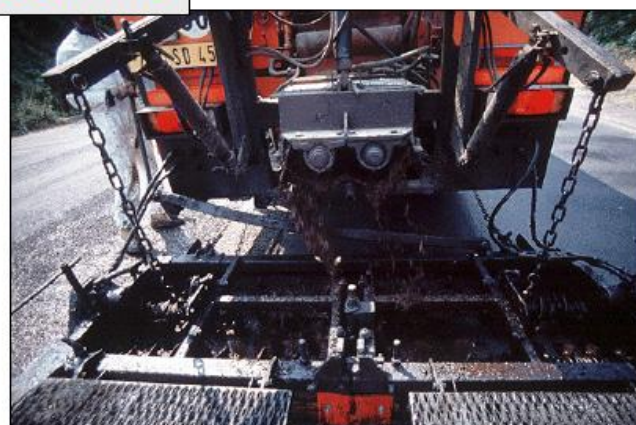
- À chargement discontinu
- À chargement frontal ou monté sur remorque
 - Alimentation en continu , pas d'arrêt de la mise en œuvre
 - Grand rendement



La fabrication et la mise en œuvre



Machines
à chargement discontinu



La fabrication et la mise en œuvre



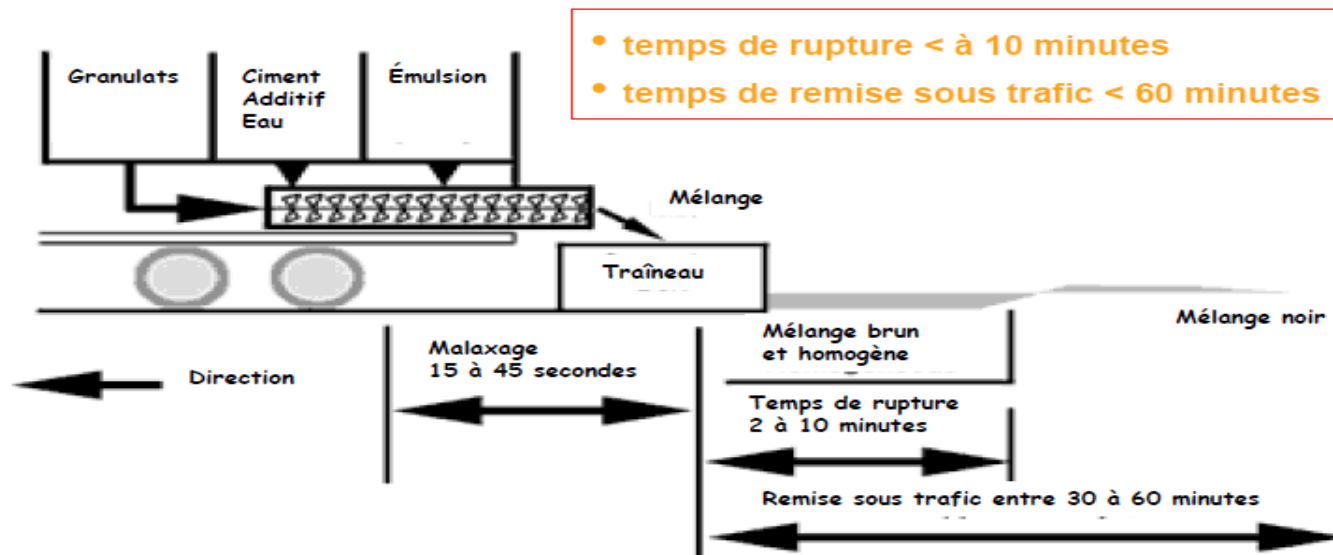
Machines
à chargement frontal

Machines
montées sur remorque



La fabrication et la mise en œuvre

- appliqués le plus souvent, directement sur le support sans couche d'accrochage, en bicouche.
- La remise en circulation est fait obligatoirement après rupture de l'émulsion soit entre quinze minute et 1 heure après le coulage, selon les conditions météo et les contraintes d'écoulement du trafic.



La fabrication et la mise en œuvre

La préparation du support

- Balayage
- Correction du support si déformations > 10mm
- Colmatages des fissures
- Enlèvement des bandes thermoplastiques de marquage
- Défauts structurels corrigés.

Les rendements

- Machine à chargement discontinu : 4 à 8000 m² / jour
- machine en continu / montée sur remorques : jusqu'à 30 000 m² / jour

Les dosages

- Variables selon les granulométries et l'état du support
- A titre indicatif (hors reprofilage)
 - Pour le type 1 et type 2 (0-5mm) : 8 à 12 kg/m² (monocouche)
 - Pour 0-8 et 0-10mm : 16 à 25 kg/m² (monocouche)



La fabrication et la mise en œuvre

Si déformation < 10mm

- application d'une 1^{ère} couche d'ECF pour corriger
- + Application d'une 2^{ème} couche comme couche de finition

Si déformations entre 10 et 20mm

- Correction d'ornièrre au préalable
 - Possible avec ECF
 - Sous réserve d'adaptation de la formule
 - Et utilisation d'un traineau spécifique.
- + Application d'un ECF bicouche



Si déformations > 20 mm

- reprofilage à l'enrobé au préalable (3 mois avant)
 - possibilité de formulation d'ECF adapté (faible trafic)
- + application d'un ECF bicouche



Les ECF en technique d'entretien

Traitement d'entretien préventif

Traitement dont l'application prévient la détérioration précoce de la chaussée ou retarde la progression des imperfections. Il vise à ralentir la vitesse à laquelle la chaussée se détériore et à augmenter efficacement la vie utile de la chaussée. Il doit être appliqué lorsque la chaussée est encore en relativement bon état et ne présente aucun dommage structural (U.S. Federal Highway Administration, 2000).

Les enrobés coulés à froid sont des techniques de surface qui permettent de corriger certains défauts mineurs de surface : désenrobage, ressuage, déformations mineures, faible orniérage et qui restaurent les caractéristiques de surface.

- Rugosité géométrique par mesure de hauteur au sable
- Mesure d'adhérence par mesure de coefficient de frottement
 - Coefficient de frottement longitudinal, CFL
 - Coefficient de frottement transversal CFT, (SCRIM)
 - British pendulum number (BPN)
- Mesure de bruit

Les caractéristiques de surface

Rugosité géométrique

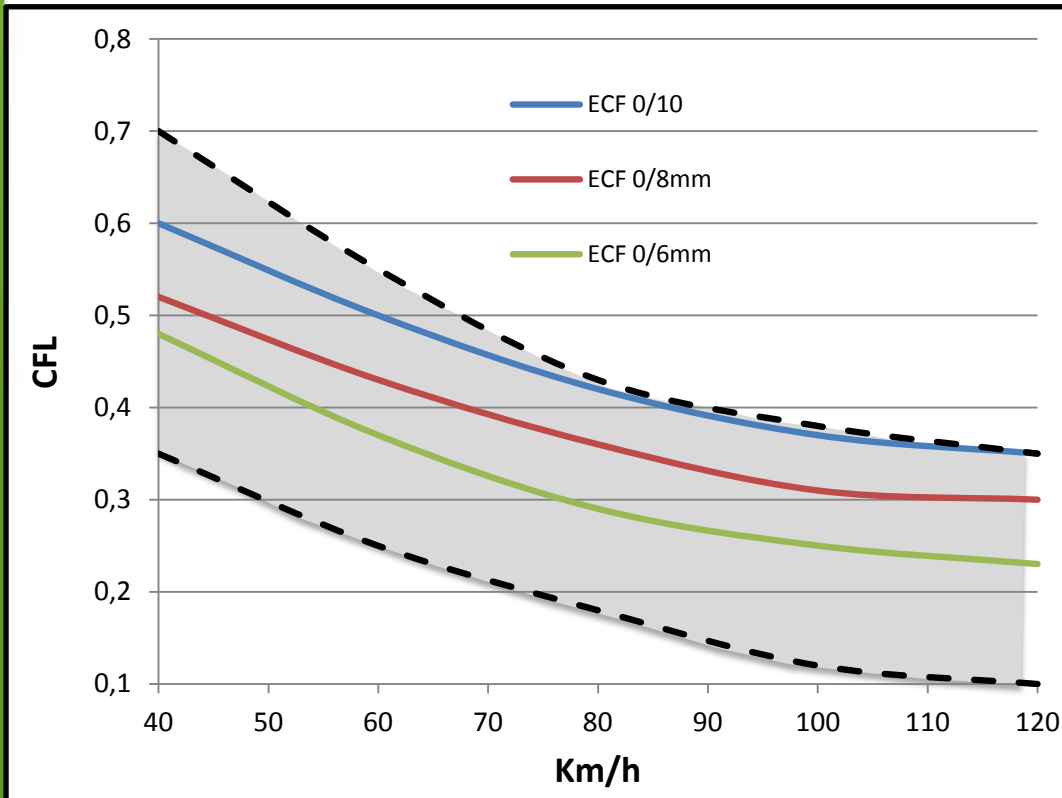
Revêtement	Calibre	Tous chantiers		Jeune âge (3 mois)		En service (après au moins 1 an)		Écart rapporté à l'initial
		Moyenne mm	nombre	Moyenne mm	nombre	Moyenne mm	nombre	%
ECF	0/10 c.	1,06	12	1,32	5	1,06	13	-20
ECF	0/10 d.			1,60		1,00	(après 3 ans), 1 chantier	
ECF	0/10 c.					1,00	1 chantier, Après 4 ans de service, trafic T1	
ECF	0/5 c.	0,98	18	-	-	-	-	-
BBTM	0/10	1,23	170	1,25	75	1,21	90	-3
BBTM	0/6	0,99	10	-	-	-	-	-
BBUM	0/10	2,04	26	2,177	17	1,79	9	-21

valeur extraites du fichier de contrôle et de suivi de chantiers du LRPC de Nantes (valeurs HS vraies suivant NF P 98216-1, exprimées en mm)- trafics cumulés différents, revêtements d'âge différents.



Les caractéristiques de surface

Adhérence en fonction de la granularité au jeune âge



Mesures réalisées sur divers chantiers en France,
Sur des revêtements ayant supportés des trafics variables

Les données ont comparées à celles recueillies pour les BB présentés sous forme d'un fuseau (fuseau national tous revêtements)

- Plus la granularité est élevée, plus le CFL est élevé
- CFL au milieu du fuseau pour les basses vitesses ou Dans la partie supérieure à vitesse élevée
- Les 0-6mm donnent des résultats inférieurs au 0/8 ou 0/10 mais se situe quand même dans la partie supérieure du fuseau

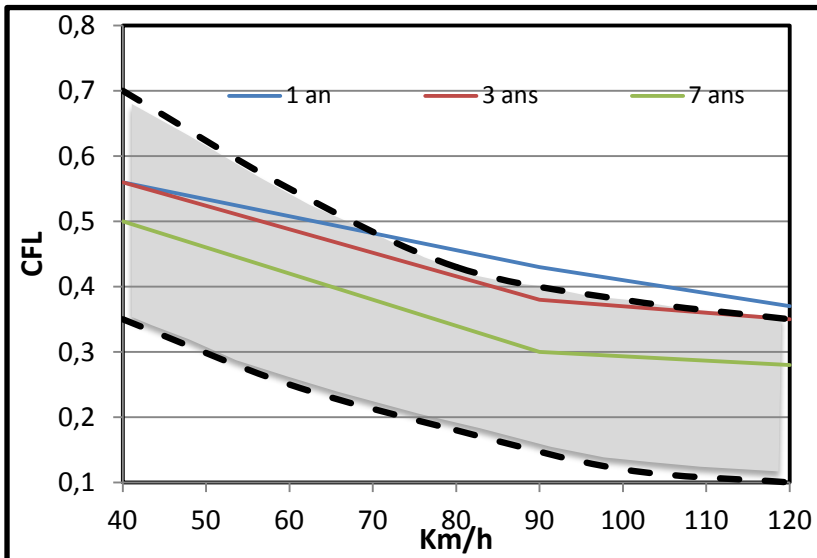
Conditions de mesure

- pneu lisse
- 1 mm eau
- Roue bloquée
- Vitesse de 40 à 120 km/h
- NFP 98-220 -2

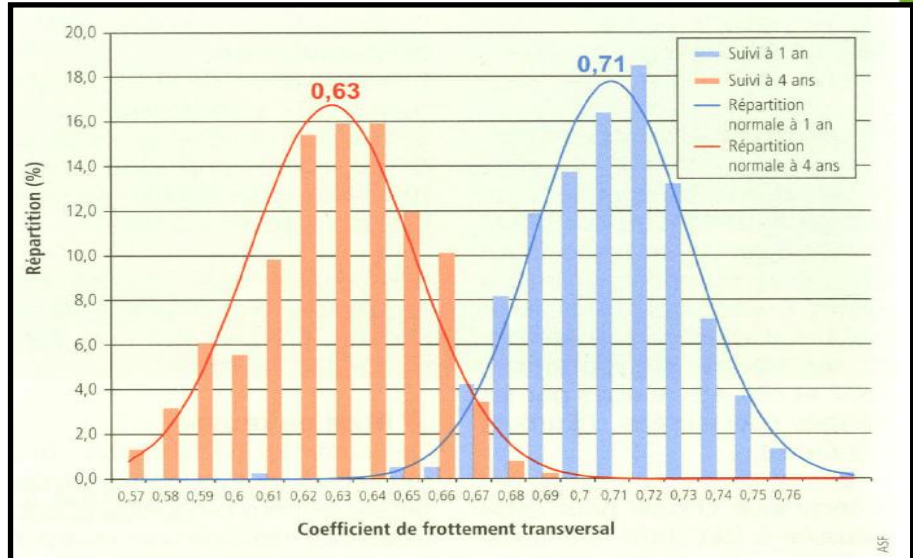


Les caractéristiques de surface Évolution dans le temps

Adhérence sur ECF 2^{ème} génération (granularité discontinue)



- Évolution du CFL entre 1an et 7 ans de service.
- Érosion de l'adhérence au cours du temps.
- Conserve de bonnes propriétés d'adhérence dans le temps.
- Moindre sensibilité des ECF dans le temps au jeune âge



- Exemple d'un 0/10 disc.
- Répartition des CFT sous forme d'histogramme.
- Répartitions des valeurs après 1 an et 4 ans de service.
- Stabilisation des CFT à 0,63 après 4 ans.
- Maintien de l'adhérence à un niveau élevé en service.

Les caractéristiques de surface

Application sur les ponts

Performance d'un ECF de 2^{ème} génération (0-8 disc) sur le pont de la Confédération

CONFEDERATION BRIDGE MICROSURFACING PERFORMANCES MINOTORING											
CHARACTERISTICS	EXPERIMENTALE TRIAL		TRAFFIC LANES								REQUIREMENTS
	2004	2005	2005		2006	2007	2008	2009		2010	
			Wheel path	Between			Wheel path	Between			
Macrotexture depth (mm)	1,04	1,06	0,73	1,21			0,48	1,29			
Surface Friction BPN	71	75	69	77			62	74			45
General Conditions											
.Ravelling		None	None	None	None	None	None	None	None	None	<2%/100m ²
.Bleeding and Flushing		None	None	None	None	None	None	None	None	None	<2%/100m ²
.Ruts depth		< 6 mm					< 6 mm	< 6 mm	< 6 mm	< 6 mm	< 6 mm
.Underlayer protection		Excellent	Excellent		Excellent	Excellent	Excellent		Excellent	Excellent	

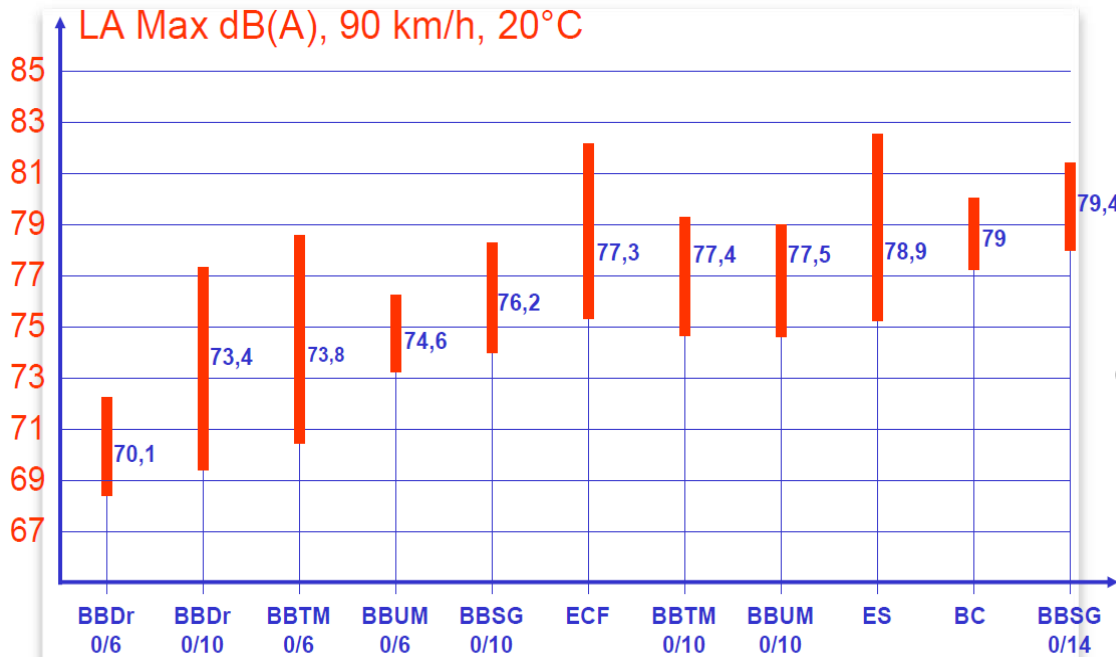
- Trafic annuel : 700 000 Veh./voie
- . 19% Veh. commercial.
- . > 4 Millions Veh. Depuis 2004



Les caractéristiques de surface

Bruit de roulement

Mesure sur des revêtements au jeune âge
Granularité continue 6, 8 et 10 mm



Bruit maximal se situe entre 75 et 82 dB(A)



LES ECF comme technique d'entretien

- En adaptant la granulométrie , on assure une bonne adhérence, un niveau de bruit réduit
 - L'ECF 0/10mm est utilisé pour les forts trafics à vitesse élevée nécessitant un haut niveau d'adhérence
 - Les formules 0/5mm discontinu peuvent offrir une sécurité comparable en étant moins bruyante
 - La solution 0-8mm est un bon compromis.

ce qui fait des ECF un revêtement d'entretien qui répond bien aux exigences actuelles et pas seulement dans un contexte urbain.

Le comportement de l'ECF est tributaire de la qualité de son support. La durée de service moyenne d'un ECF est de 4 à 7 ans.

Les domaines d'emploi des ECF

Les ECF peuvent être appliqués comme nouvelle couche de roulement sur :

- Enrobés
- Enduits superficiels
- Rénovation de la couche de roulement des ponts et viaducs
 - structure de ponts à ne pas surcharger
 - Béton de ciment.
- Chaussées non pavées. On parle alors de la technique du Cape-Seal qui consiste en l'application d'un enduit superficiel monocouche recouvert d'un ECF monocouche.

La modulation de la granulométrie, l'utilisation de liant modifié, l'application en bicouche permettent d'adapter la technique au trafic et au support.





Les domaines d'emploi des ECF

Les ECF peuvent être appliqués comme nouvelle couche de roulement :

- En milieu urbain, L'ECF remplace les enduits superficiels ou les enrobés ultra-mince assez mal adaptés à l'environnement (bruit, arrachement rejets ou encombrement des équipements).
- L'application sur les routes et autoroutes est également favorable avec des ECF à macrorugosité et une adhérence plus élevée :
 - Granularité discontinue
 - 0/8 ou 0/10mm



Comparatif des plus et des moins des deux techniques



Les domaines d'emploi des ECF

Avantages de l'ECF par rapport aux enduits superficiels

Les ECF sont également recommandés lorsqu'un enduit superficiel paraît mal adapté :

Par exemple....

- Lorsque le trafic ou le support peuvent faire craindre l'indentation des granulats dans le support
- Si le niveau sonore est limité
- Peu de rejet
- Pas de ressuage
- Aspect "Enrobé"
- Pas de contrainte de circulation au jeune âge
- Adhérence conservée dans le temps
- Bonne résistance au trafic Poids lourds

.... mais

- accepte moins bien les supports déformés,
- moins bonne étanchéité de surface



Les domaines d'emploi des ECF

Avantages de l'ECF par rapport aux enrobés minces

- Extrême minceur, pas de rehaussement de profils
- Moins de travaux préparatoires
- Pas de couche d'accrochage
- Pas d'engravures
- La durée de chantier réduite , limite de la gêne aux usagers
- Remise en circulation plus rapide (30 à 60 minutes)

.... mais

- Ne reprofile pas
- Aspect moins esthétique au jeune âge



Les conditions de réussite

À ce jour, les limites d'emploi pour garantir une durée de vie satisfaisante :

- **Déformabilité du support.** Il est souvent conseillé, pour garantir une durée de vie, suffisante de s'en tenir aux valeurs suivantes

Trafic T3	Déflexion < 150 / 100 ^e
Trafic T2	Déflexion < 100 / 100 ^e
Trafic supérieur	Déflexion < 60 / 100^e

- **Structure de chaussée** déficiente et / ou durée de vie résiduelle réduite de la chaussée existante
- S'il y a présence de **fissuration par retrait thermique**, les ECF ne sont pas recommandés.
- Les ECF ne suppriment pas la remontée de la fissuration active. **Les fissures doivent être colmatées** au préalable.
- Ne permettent **pas de rectifier les déformations du profil** en long.



Les conditions de réussite

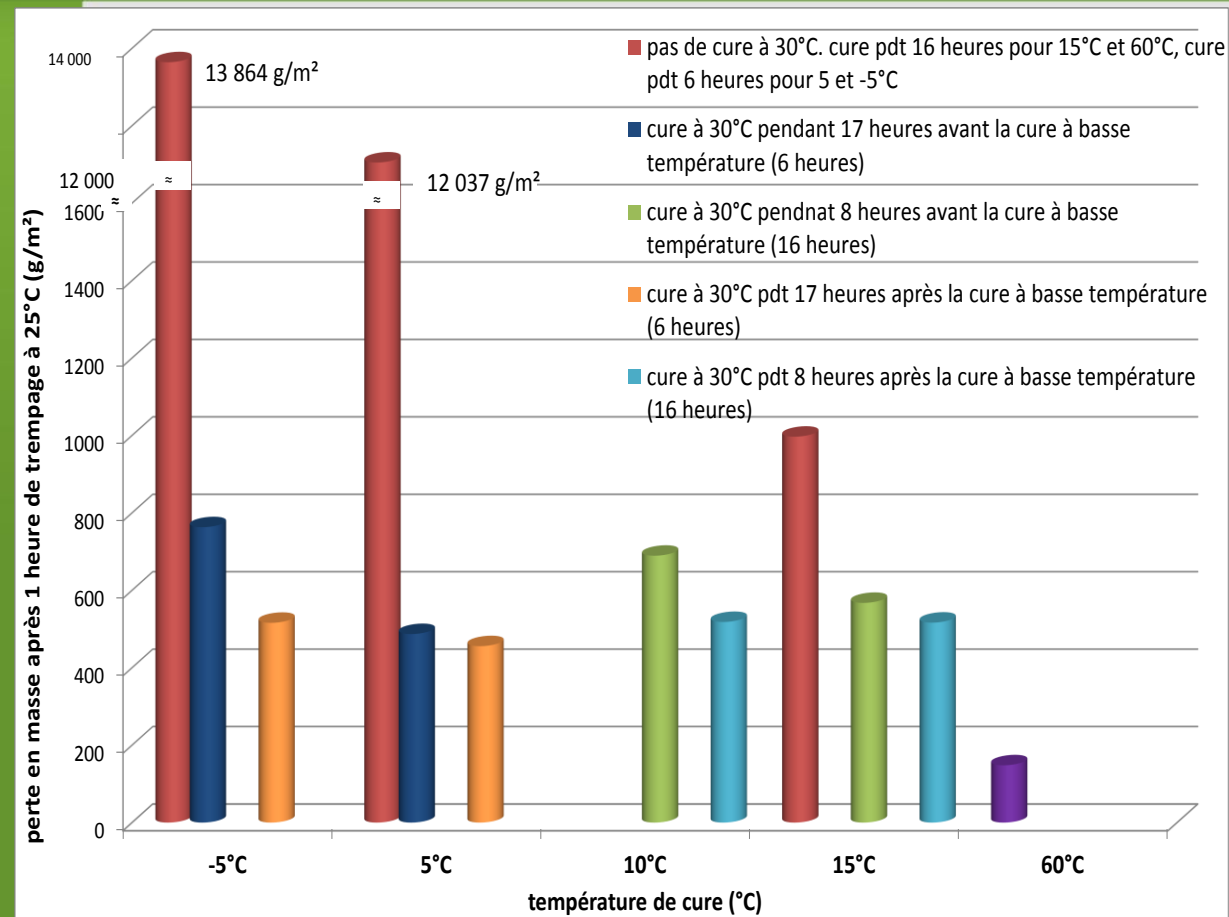
À ce jour, les limites d'emploi pour garantir une durée de vie satisfaisante :
(suite)

- Il faut **éviter** d'appliquer les ECF sur des supports orniérés **sans prévoir une correction**.
La correction peut se faire par des ECF de formulation adaptée pour des épaisseurs importantes ou par une correction en enrobés.

Relevés d'ornières / déformations à prévoir afin d'évaluer le type de reprofilage / les quantités / le nombre de couches d'ECF.
- Il faut **éviter** la mise en œuvre dans des conditions climatiques difficiles. Les travaux doivent être effectués au cours de la période comprise entre le 1^{er} mai et le 15 septembre.

Les conditions de réussite

Effet des basses températures au jeune âge



- Augmentation de la perte par arrachement (rejet) si les températures sont < 15°C
- Perte de 100% pour des températures < 5°C
- Si L'ECF subit des températures chaudes dans la journée, la perte diminue significativement.

Conditions minimum

- Température ambiante supérieure à 10°C
- Aucune application lors de précipitations
- Pas de risque de gel dans les 24 heures qui suivent la mise en œuvre



Les enrobés coulés à froid

Conclusions

Pour l'entretien des caractéristiques de surface de chaussées structurellement en bon état, les ECF constituent une technique intéressante sur les chaussées urbaines et routes à trafic modéré pour les raisons suivantes :

- une faible épaisseur permettant de ne traiter que les surfaces à entretenir sans travaux complémentaires de remise à niveau ; ce qui en fait une technique à froid d'application pratique en zone urbaine ;
- un bon compromis entre l'adhérence et le bruit de roulement ;
- une rugosité intermédiaire entre les ES et les enrobés en couche mince ou épais.

Les ECF de "seconde génération" , à savoir 0/10 continu, 0/6 et 0/10 discontinu, conduisent à des revêtements à macrorugosité plus forte et une adhérence plus élevée



Les enrobés coulés à froid

Dépliant commercial disponible

Fiche technique descriptive à venir



PRÉSERVONS NOTRE PATRIMOINE ROUTIER

L'ENROBÉ COULÉ À FROID

SOLUTION GAGNANTE POUR LA RÉFECTION ET LA CONSERVATION DE LA CHAUSSEE

QU'EST-CE QUE C'EST ?

L'enrobé coulé à froid (ECF) est un procédé mis au point au début des années 90 au Québec. De nos jours, l'ECF demeure le procédé de référence pour la réfection et la conservation de la chaussée.

L'ECF est un mélange de granulats et d'émulsion. Les granulats sont choisis en fonction des lieux et de l'usage de la route, et l'émulsion est à base de bitume polymère. L'ECF se pose en couche unique et en bicouche sur une chaussée existante.

