



Les enrobés coulés à froid

Principes généraux et méthode de formulation

Formation technique Bitume Québec

Dernières avancées des produits et des procédés spéciaux
applicables aux chaussées souples



Sabine Le Bec

Centre Technique Nord-Américain

24 novembre 2009



Plan de la présentation



- Définitions
- Spécifications et taux de pose
- Objectifs de la formulation
- Déroulement d'une étude de formulation
- Conclusions

Enrobés coulés à froid

Définitions



Un enrobé coulé à froid (E.C.F.) est avant tout un enrobé à froid ultra-mince, de 7 à 15mm d'épaisseur, pour couche de surface, destiné à apporter adhérence et à sceller la surface existante.

Une technique du maintenance

- Préventive :

pour prévenir de future dégradations superficielles sur une chaussée.

- Corrective :

pour corriger les dégradations superficielles d'une chaussée

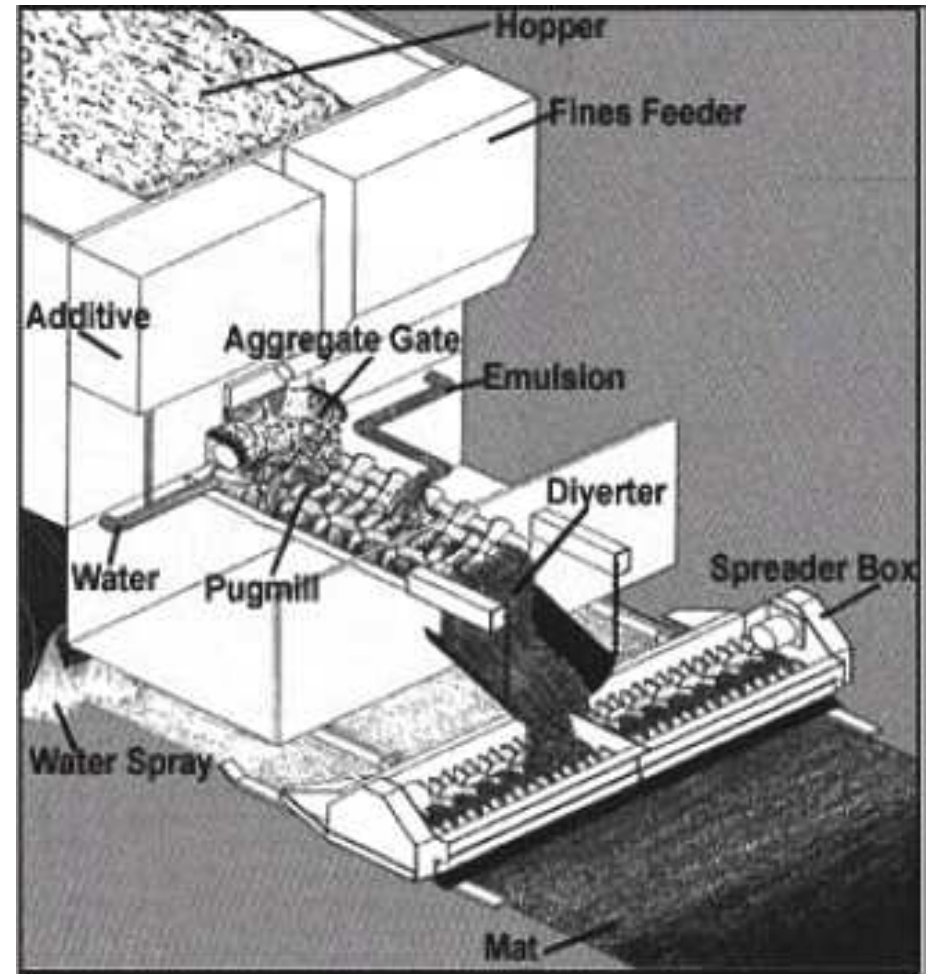


Enrobés coulés à froid

Définitions et constituants



1. Granulats
2. Fillers minéraux
3. Emulsion de bitume
4. Eau d'apport
5. Fibres
(selon l'application)



Enrobés coulés à froid

Définitions - Fabrication

■ Usine mobile

- Transport les constituants
- Stockage des constituants
- Dosage des constituants
- Malaxage des constituants

■ Application par un traîneau à largeur variable





Enrobés coulés à froid

Définitions – Les taux de pose

	ISSA A-143		Taux de pose au Québec	Taux de pose en France	
	Type II	Type III	Type 1 et type 2	0 / 6 mm	0/8 – 0/10
Taux de pose suggérés (Kg/m ²) Hors remplissage d'ornières	6 à 11	8 à 16	8 à 12	10 à 16	12 à 25

La plupart des états et provinces appliquent régulièrement 2 couches d'E.C.F.

Supports peu déformés (< 10 mm de profondeur) :

- Couche de correction : $\pm 8 \text{ kg/m}^2$, selon les déformations
- Couche de finition : $10 - 12 \text{ kg/m}^2$

Supports avec déformations (10 et 20 mm de profondeur) :

- Correction d'ornières : taux de pose selon la profondeur
- Couche de correction $\pm 8 \text{ kg/m}^2$
- Couche de finition : $10 - 12 \text{ kg/m}^2$

Enrobés coulés à froid

Les taux de pose recommandés par l'ISSA

Profondeur des ornières	Taux de pose (uniquement type III)	
	(prévoir 3 à 5 cm supplémentaire d'ECF pour chaque centimètre posé afin de compenser le post-compactage)	
12 – 19 mm	11 à 16 kg/m ²	
19 - 25 mm	14 à 19 kg/m ²	
25 à 32mm	15 à 21 kg/m ²	} Limite de la technique E.C.F. 0-5mm
32 à 38 mm	17 à 22 kg/m ²	

- Recommandations lorsque les ornières sont supérieures à 20 mm
 - reprofilage avant application de l'E.C.F.
 - usage d'une granulométrie plus grossière
 - la correction d'ornière doit se faire en plusieurs passage avec remise au trafic entre chaque passage.

Enrobés coulés à froid

Définitions et spécifications



L'ISSA (International Slurry Surfacing Association) a développé des essais pour la caractérisation des Enrobés coulés à froid et établis un certain nombre de spécifications :

ISSA A143

Recommended Performance Guidelines for
Micro-surfacing



ASTM D 6372

Standard Practice for Design, Testing and
Construction of Micro-surfacing



Enrobés coulés à froid

Les Granulats - Spécifications



1. Granulats

- o Issus de roches massives,
- o 100% concassés
- o Granularité supérieure ou égale à 5mm
- o Propriétés identiques aux granulats pour enrobés à chaud (exigences de la norme NQ 2560-114)
- o Catégorie 1 pour granulats $D \leq 5\text{mm}$
- o Catégorie 1a pour granulats $D > 5\text{mm}$

Enrobés coulés à froid

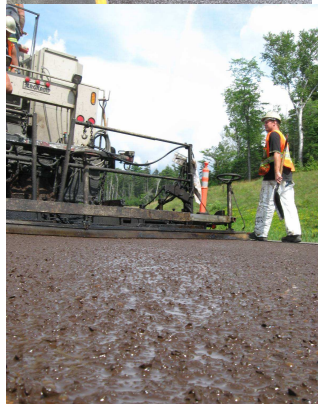
Les Granulats - Spécifications



	ISSA A-143		Québec	
	Type II	Type III	Type 1	Type 2
10 mm			100	100
9,5 mm	100	100		
5 mm			85 - 100	90 - 100
4,75 mm	90 – 100	70 – 90		
2.5 mm			50 - 70	40 - 48
2,36 mm	65 – 90	45 – 70		
1.25 mm			30 - 50	
1,18 mm	45 – 70	28 – 50		
0,600 mm	30 - 50	19 – 34		
0,330 mm	18 – 30	12 – 25		
0,150 mm	10 – 21	7- 18		
0.08 mm			5-12	6 -12
0,075 mm	5 - 15	5 – 15		

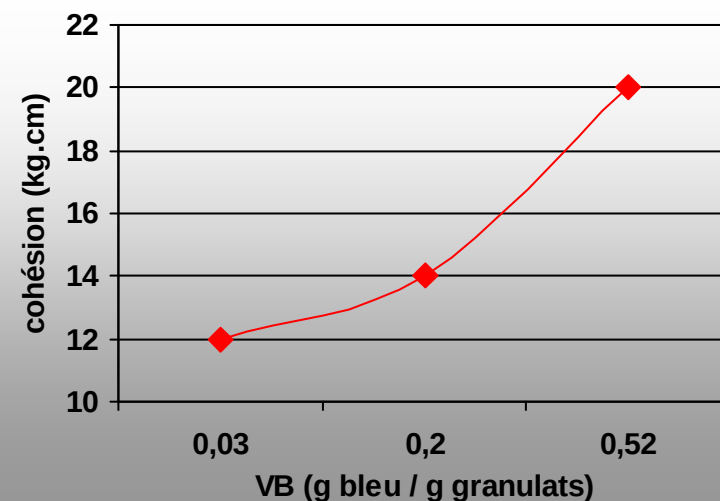
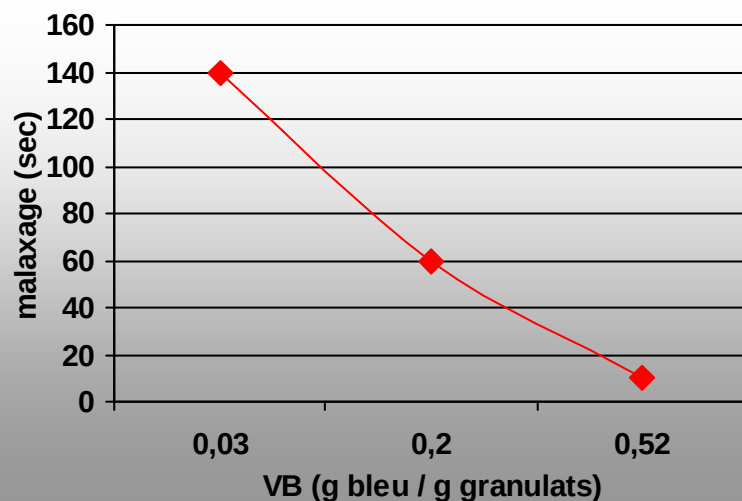
Enrobés coulés à froid

Les granulats - spécifications



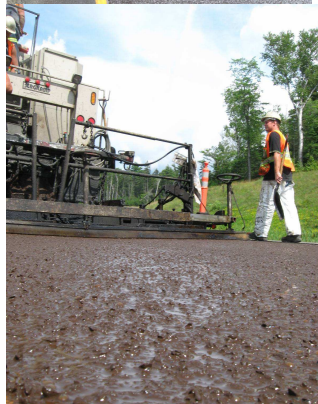
La teneur en fines (i.e. particules inférieures à 75 microns) doit être la plus constante possible, ainsi que leur nature, car elles ont une influence directe sur la réactivité granulats – émulsion, sur la facilité de mise en œuvre et in-fine sur la cohésion finale des ECF.

L'essai au bleu de méthylène pour vérifier la propreté des fines (passants 400 microns) et in-fine pour estimer la réactivité des granulats.



Enrobés coulés à froid

Les granulats - spécifications



■ Propriétés mécaniques

- ☐ Micro-Deval
- ☐ Los-Angeles
- ☐ CPP (résistance au polissage)

■ **Propreté des sables** (Équivalent de sable) : détermine la quantité de particules argileuses et de fines plastiques. Peut entraîner une faible cohésion et affecter la compatibilité granulats-émulsion.

■ **Âge et réactivité** : les granulats fraîchement concassés sont plus “réactifs” dus à leur charges de surface, que des granulats “plus” anciens.

norme AASHTO / ASTM	Norme LC	Essais	Spécifications
T 176 / D2419	-	Équivalent de sable	65 % min.
T 96 / C131	LC 21-400	Résistance à l'abrasion au Los-Angeles	30% max
T 327 / D6928	LC 21-101	Pourcentage d'usure du granulats fins par attrition au micro-deval	17% (provinces des maritimes)

Enrobés coulés à froid

Fillers minéraux - Spécifications



- Chaux ou ciment (retardateur ou activateur)

- Teneur utilisée : 1 à 3%



- Particules de diamètre inférieure à 75 microns, donc participent également à la cohésion de l'E.C.F.



Enrobés coulés à froid

L'émulsion - Specifications



- o Cationique type CSS-1p ou CQS-1
- o Présence de polymère (min. 3% p/r au bitume)
- o Rupture contrôlée :
 - o un enrobage adéquate
 - o temps de malaxage suffisant
 - o rompre le plus rapidement possible après répendage.



Enrobés coulés à froid

L'émulsion - spécifications



- Émulsion cationique de bitume modifié par ajout de polymère.

Teneur en bitume

62% min.

Viscosité

20 – 100 s SF

Stabilité au stockage

1.0% max

Pénétration

40 – 90 dmm

T Bille et Anneau

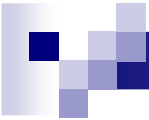
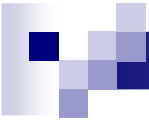
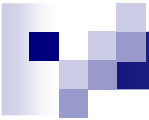
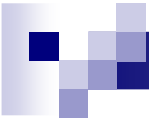
55 - 57 °C min

Teneur en polymère

3% min.

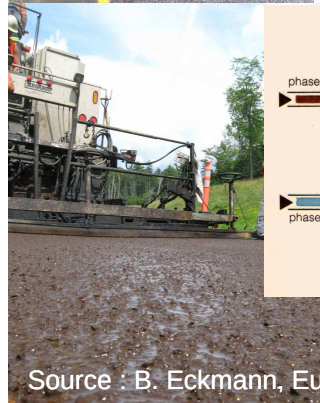
Affinité granulat-émulsion

80% enrobage résiduel

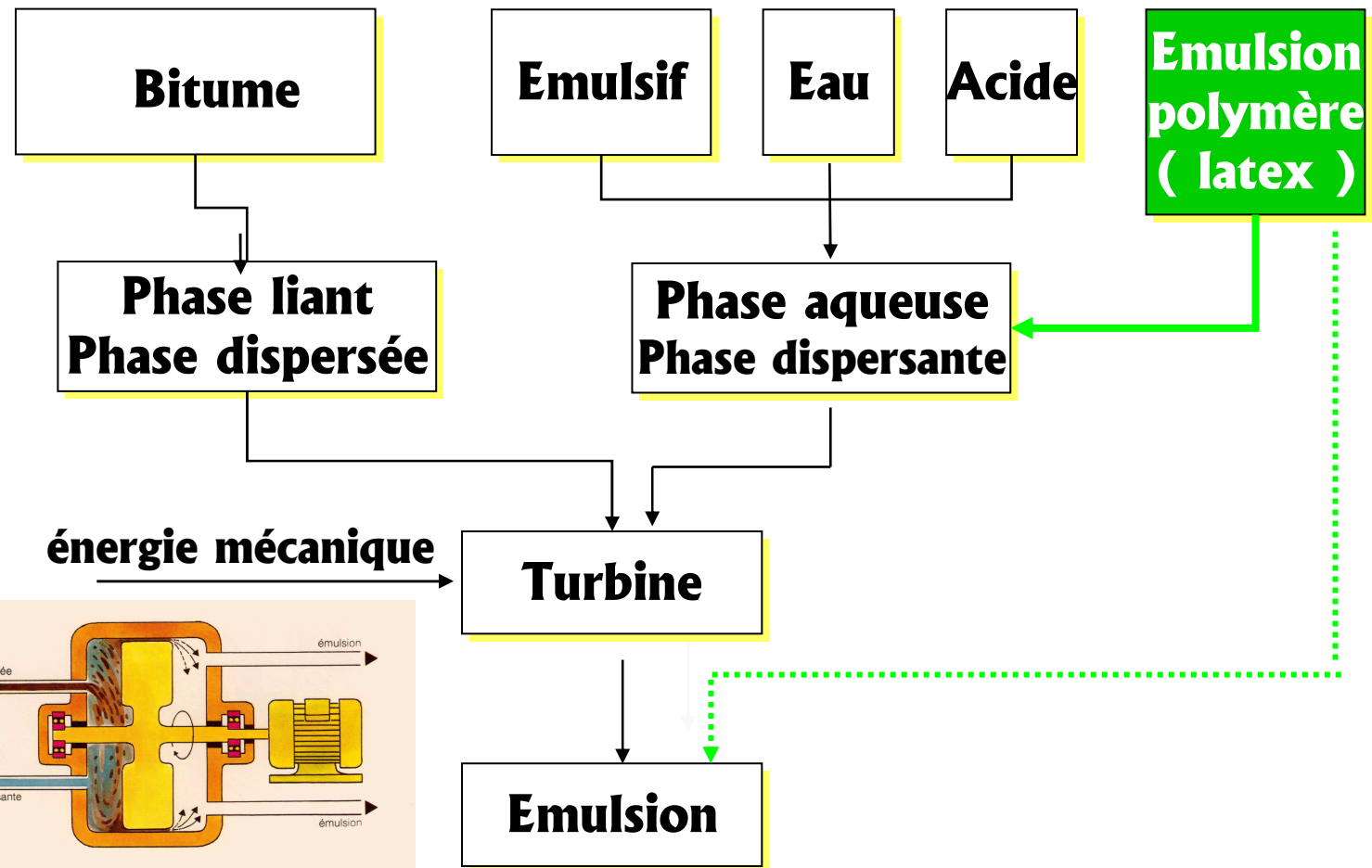


Enrobés coulés à froid

Les émulsions



Source : B. Eckmann, Eu



Enrobés coulés à froid

L'eau d'apport



Elle est introduite de 3 façons différentes :

- Humidité des granulats (~ 4 – 5%)
- Eau de prémouillage (~ 10%)
- Eau dans l'émulsion (~ 40% p/r % émulsion)

L'eau d'apport a pour effet :

- fixer la consistance du mélange (avec ou sans additif).
- Aider à l'enrobage
- Éviter la ségrégation des granulats



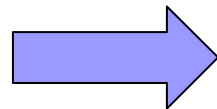
Mélange	température	Filler minéral	malaxage (Sec.)	Cohésion 60' kg.cm
Mélange A	22 – 25 C	0,5	240 sec.	10,5
Mélange A	30 – 32 C	0,5	70 sec	21

Enrobés coulés à froid

Objectif de la méthode de formulation

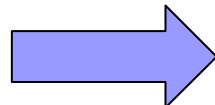


- Pouvoir fabriquer, mettre en oeuvre et ouvrir à la circulation le revêtement dans un délai compatible avec les contraintes du chantier, en prenant compte les conditions climatiques du moment.



Adaptation de la formule de l'émulsion à la réactivité des granulats
Ajustements des additifs et leurs dosages

- Obtenir de façon durable une qualité d'enrobage et des caractéristiques de surface requise pour le site
 - ☐ macrotexture
 - ☐ adhérence
 - ☐ Niveau de bruit



Choix des granulats, de la granulométrie, de la teneur en bitume

Enrobés coulés à froid

Déroulement d'une étude de formulation



pré-sélection
des granulats
et de l'émulsion
pour compatibilité

Calcul de la teneur en bitume théorique
(calcul en fonction de la granulométrie)



Étude d'enrobage et de maniabilité, du temps de consolidation



Appréciation de la vitesse de la montée en cohésion
au jeune âge qui conditionne une remise
au trafic rapide



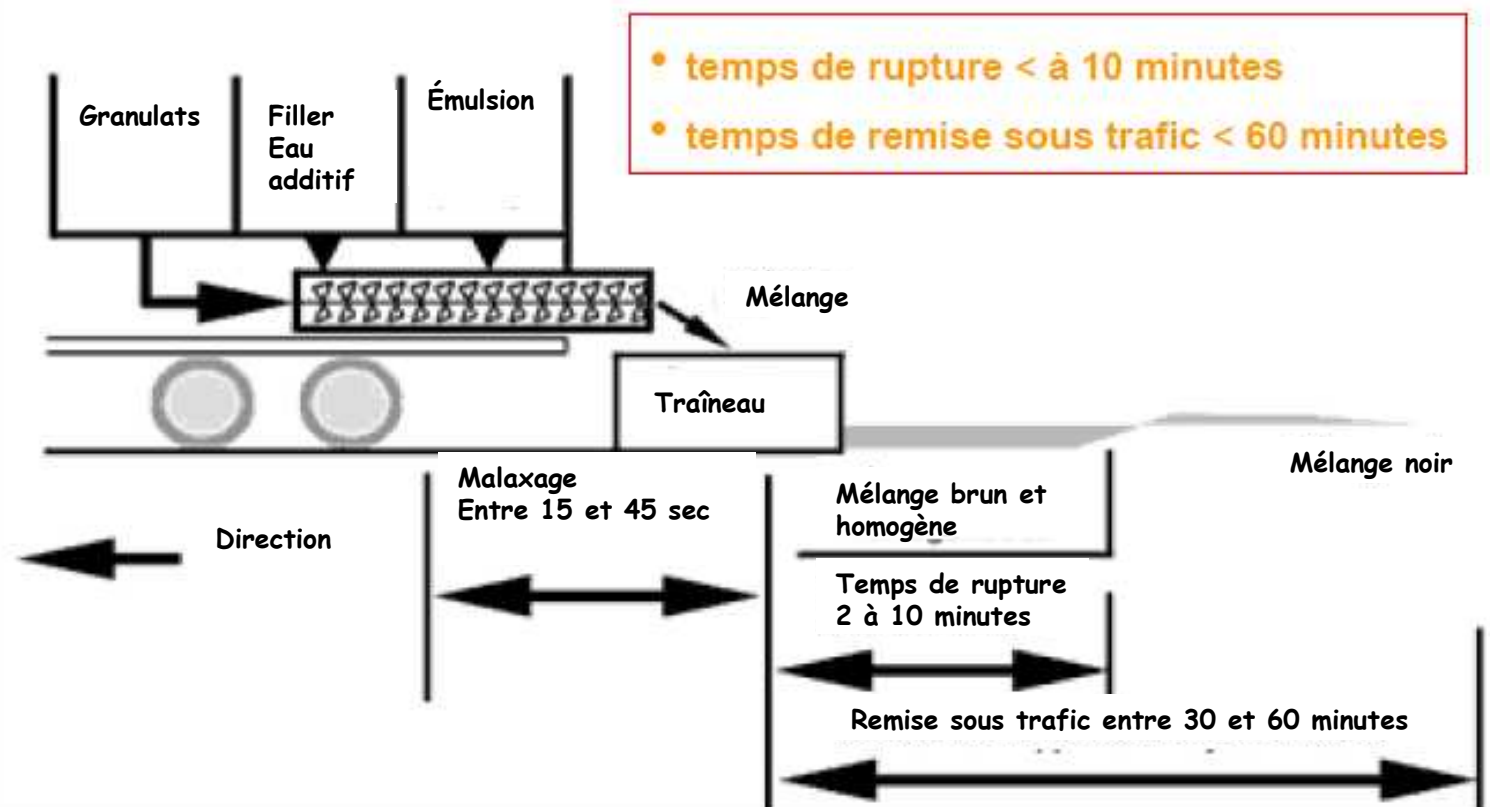
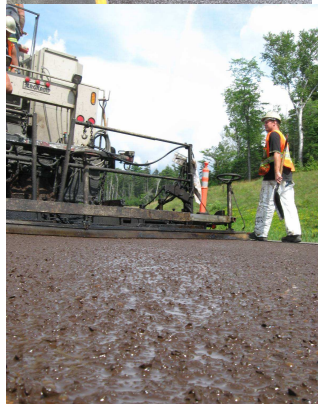
Essai de performances après mûrissement pour
s'assurer des propriétés à long terme

(3 teneurs en bitume : %bit.Théo. +/- 0.5%

Enrobés coulés à froid

Déroulement de l'étude de formulation

Maniabilité, consolidation et cohésion : Pourquoi ?

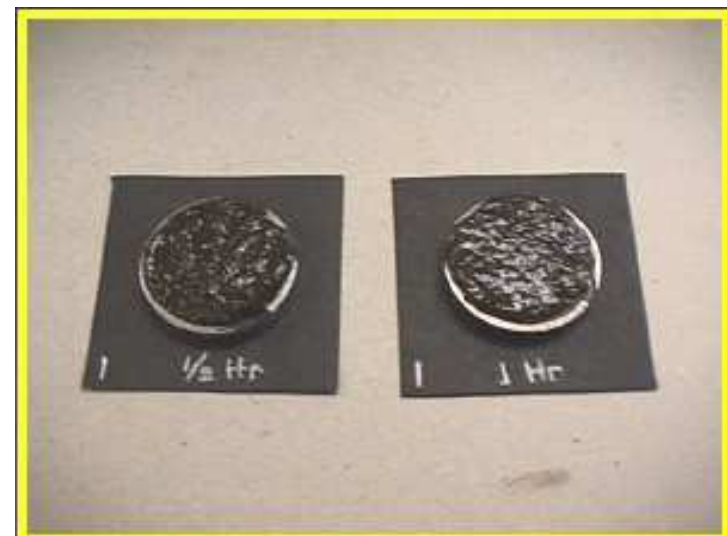


Enrobés coulés à froid

Déroulement de l'étude de formulation

Les essais de maniabilité et consolidation

- essais empiriques permettant de vérifier la compatibilité
- caractéristiques de malaxage, rupture et consolidation
- Détermination du temps de maniabilité T_m et du temps de consolidation T_c .



Enrobés coulés à froid

Déroulement de l'étude de formulation

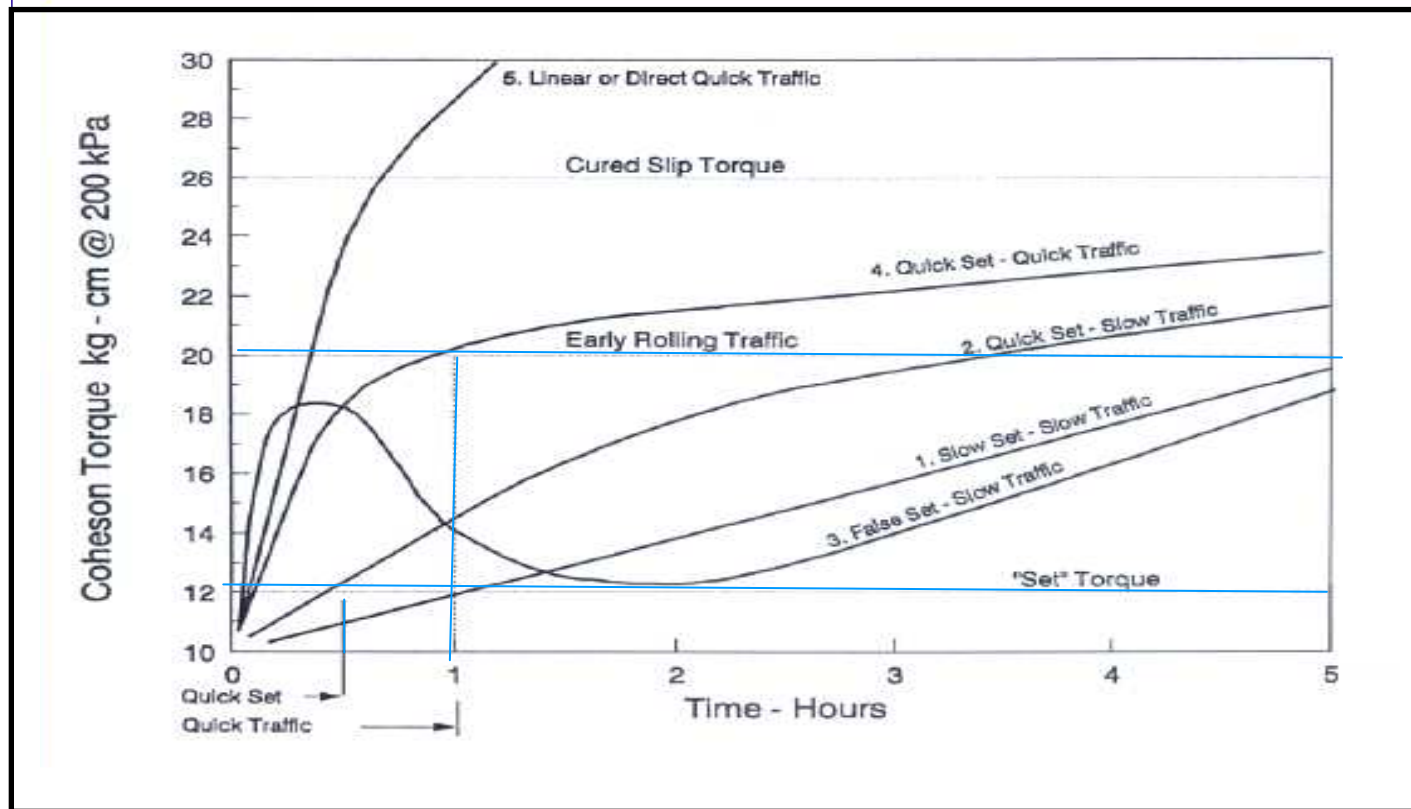
Les essais de cohésion

- Cohésiomètre Bénédic : application d'une torsion sur un échantillon par l'intermédiaire d'un patin en caoutchouc avec une charge de 200 kPa.
- Cohésion mesurée sur des galettes d'ECF après différents temps de mûrissement (30, 60 et 90 minutes)



Enrobés coulés à froid

Déroulement de l'étude de formulation



Les essais de cohésion permettent également une classification du système granulats – émulsion en terme de rapidité à développer une cohésion adéquate pour permettre une ré-ouverture au trafic.

Enrobés coulés à froid

Déroulement de l'étude de formulation



Essais sur E.C.F. après mûrissement

■ Wet Track abrasion test (WTAT)

- Détermine la résistance à l'abrasion de l'ECF (en fonction de la teneur en bitume)
- Simule l'abrasion des roues des véhicules (virages)
- Détermine la teneur en bitume minimale



■ Load wheel tester (LWT) – susceptibilité au ressuage

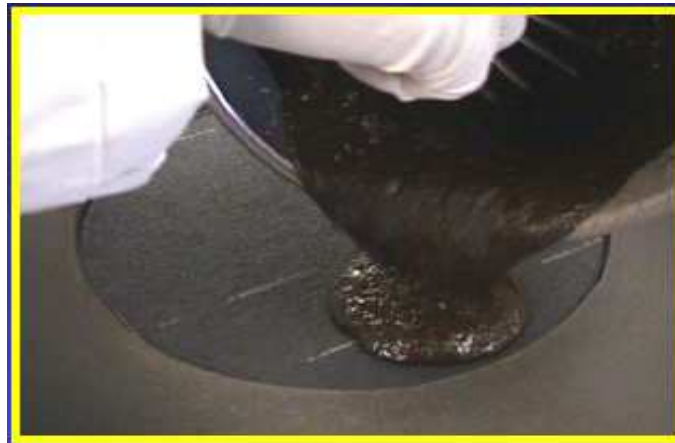
- Détermine la teneur en bitume maximale au-delà de laquelle il y a des risques de ressuage de bitume



Enrobés coulés à froid

Déroulement de l'étude de formulation

Wet track abrasion test (WTAT)



Enrobés coulés à froid

Déroulement de l'étude de formulation

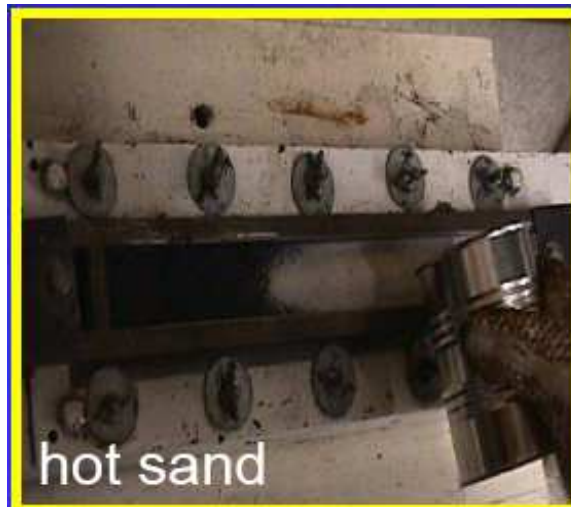
Wet track abrasion test (WTAT)



Enrobés coulés à froid

Déroulement de l'étude de formulation

Load wheel tester (LWT)

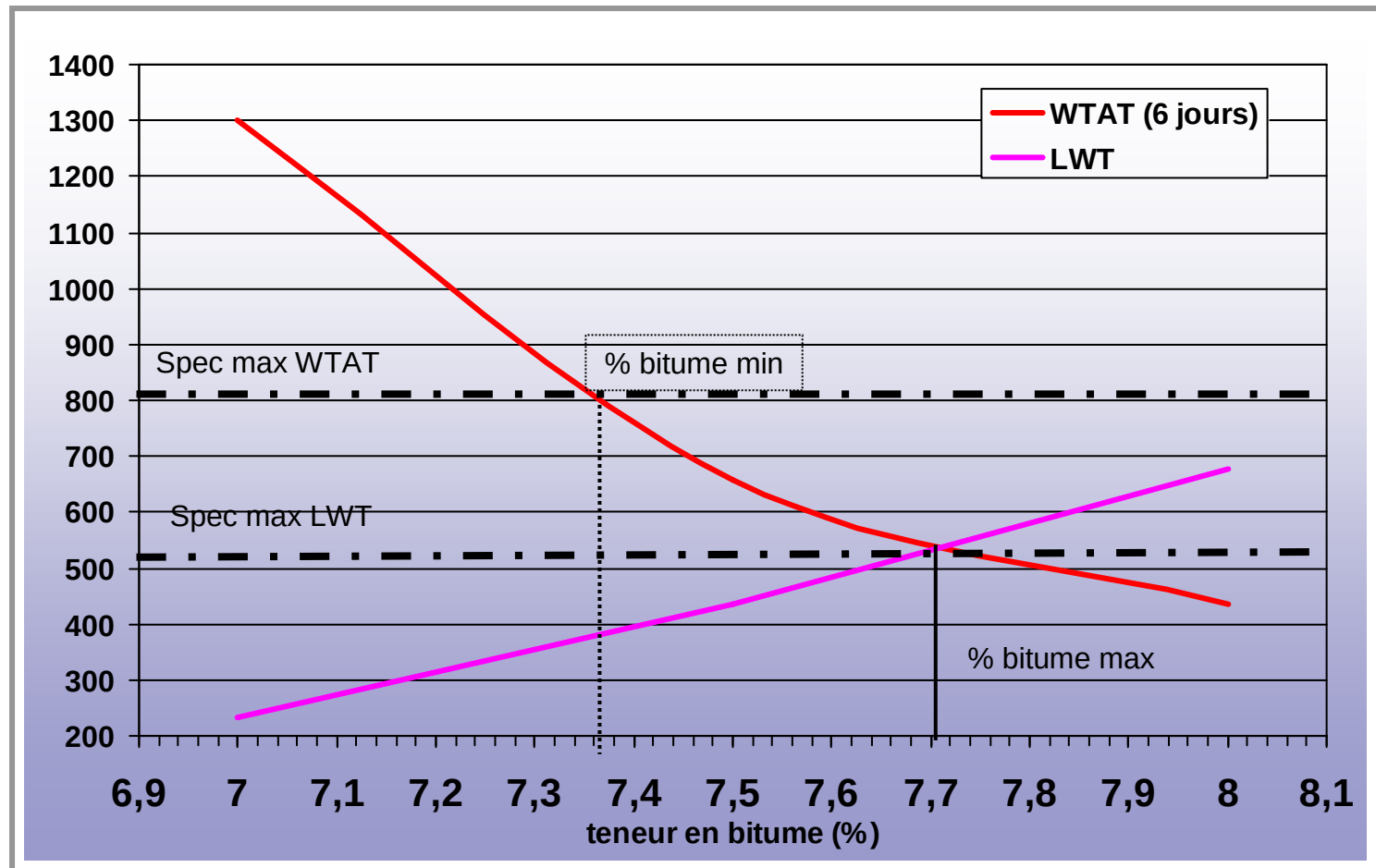


Enrobés coulés à froid

Déroulement de l'étude de formulation



Détermination de la teneur en bitume optimale



Enrobés coulés à froid

Déroulement de l'étude de formulation

Tests de performance spécifiques

- Déplacement latéral (fluage) par LWT lorsque coorection d'ornières



Enrobés coulés à froid

Déroulement de l'étude de formulation

Tests de performance spécifiques

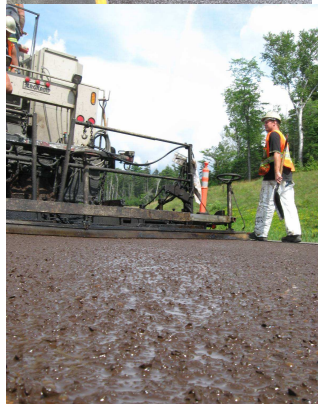
o Compatibilité Schulze-Breuer



Grade	Point	Abrasion (g)	Integrity % retenu	Adhesion % enrobage
A	4	0 – 0.7	90 – 100	90 – 100
B	3	0.7 – 1.0	75 – 90	75 – 90
C	2	1.0 – 1.3	50 – 75	50 – 75
D	1	1.3 – 2.0	10 - 50	10 -50

Enrobés coulés à froid

Formulation – spécifications ISSA A-143



Temps de malaxage (sec) ISSA TB-113	120 sec minimum
Temps de consolidation (min)	30 min, maximum
Temps de remise au trafic (heure) ISSA TB-139	1 heure maximum
Perte par abrasion ISSA TB-100 Trempage 1 heure (g/m ²) Trempage 6 jours (g/m ²)	538 g/m ² maximum 807 g/m ² maximum
Ressuage (LWT) (g/m²) ISSA TB-109	538 g/m ² maximum
Déplacement latéral (%) ISSA TB-147	5% maximum
Classification Schulze-Breuer ISSA TB-144	11 points minimum AAA ou BAA

Enrobés coulés à froid

Une technique exigeante



Les points clés de la réussite d'un E.C.F.

- Formulation adaptée
- Respect de la formulation
- Contrôle des granulats
- Équipements en bon état de marche et calibrés
- Équipe de pose très expérimentées

