



High modulus asphalt with 40-50% recycled asphalt with warm-mix foaming technology

Prof. Dr. Nicolas Bueche

Swiss representative PIARC TC 4.1

Bern University of Applied Sciences, Switzerland



PIARC International Seminar | Online | 22.09.2021

Plan de la présentation

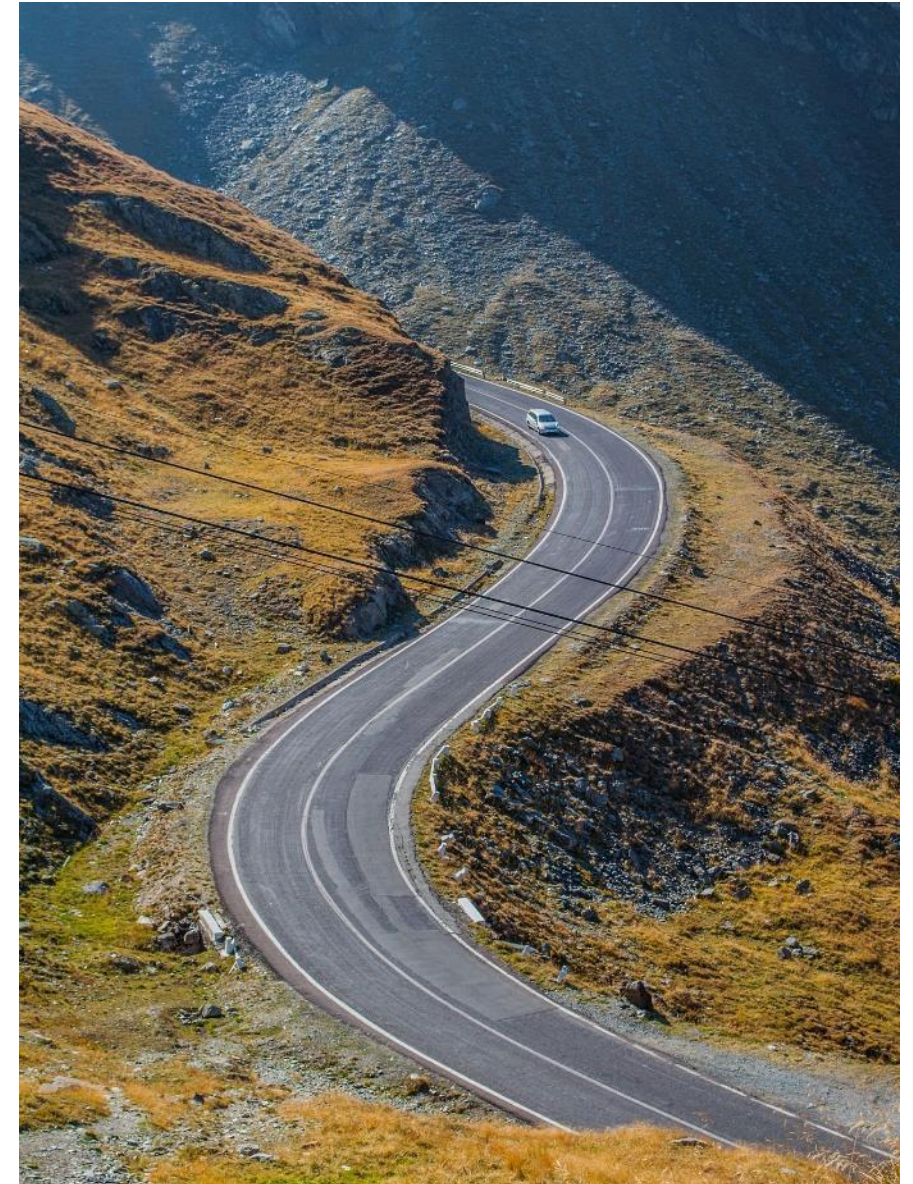
□ Introduction

□ Projet N01 RheMa: UPlaNS Rheineck – St. Margrethen

□ Conclusions et perspectives

Introduction

- Agrégats d'enrobés (AE)
- Enrobés tièdes (warm mix asphalt WMA)
- Enrobés à module élevé (EME)



Agrégats d'enrobés: bases

- Agrégats d'enrobés (AE)
 - Matériaux triés et reconcassés provenant du fraisage de couches bitumineuses (*i.e.* fraisat), du concassage de plaques d'enrobé, des déchets ou morceaux de plaques d'enrobé ou des surplus de production d'enrobés
- Composants des agrégats d'enrobés
 - Bitume
 - Granulats (grossiers, fins)
 - Filler
- RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)



Sources: BFH | vaasphalt.org

Agrégats d'enrobés: normalisation suisse (09.2021)

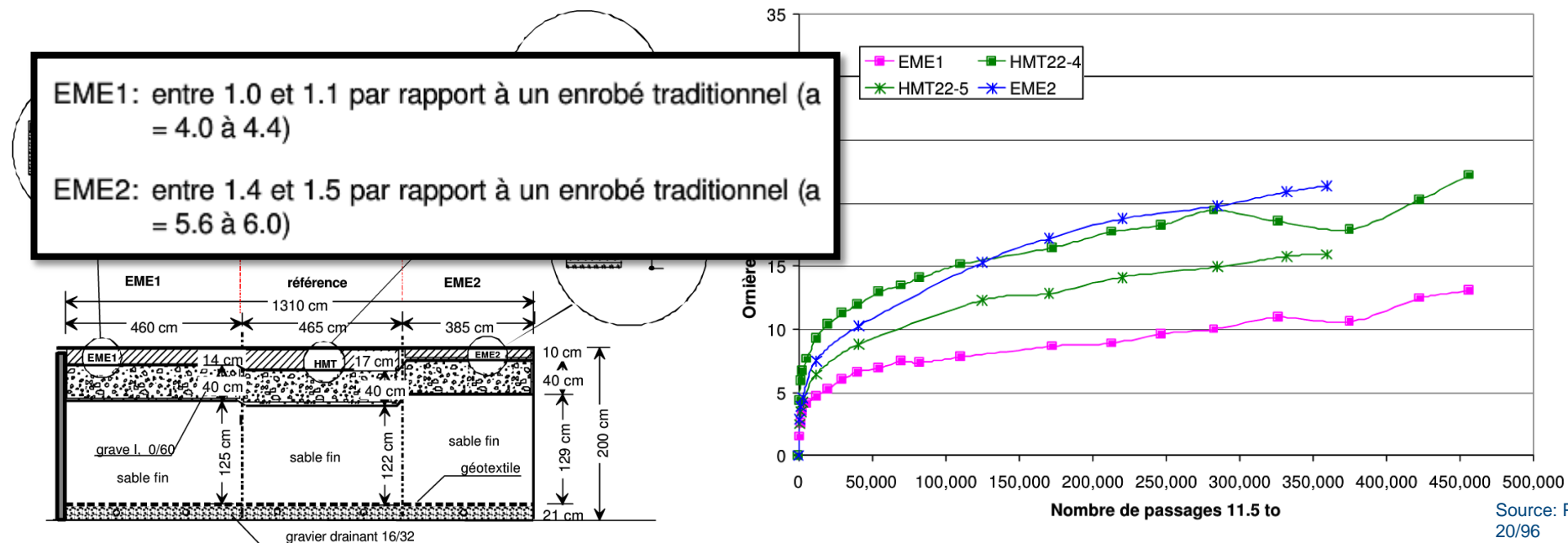
“Des quantités plus élevées peuvent être admises en cas d'accord entre l'entrepreneur et le maître de l'ouvrage”

Asphaltbeton, zulässige Zugabemengen von Ausbauasphalt in Abhängigkeit der Schichten, Mischgutsorten und Mischguttypen Enrobés bitumineux, quantités admissibles d'agrégats d'enrobés en fonction des couches, des sortes et des types d'enrobés		
Mischgutsorten und Mischguttypen für Schichten Sortes et types d'enrobés pour couches	Anteil Ausbauasphalt Teneur en agrégats d'enrobés	
	Kaltzugabe Incorporation à froid	Warmzugabe Incorporation à chaud
	[Masse-%] / [% massique]	
Deckschichten / Couches de roulement		
Asphaltbeton für Deckschichten AC S, AC H und AC MR Enrobés bitumineux pour couches de roulement AC S, AC H et AC MR	0	0
Asphaltbeton für Deckschichten AC N und AC L Enrobés bitumineux pour couches de roulement AC N et AC L	≤ 15	≤ 30
Binderschichten und Hochmodul-Asphaltbeton / Couches de liaison et enrobés bitumineux à module élevé		
Asphaltbeton für Binderschichten AC B, Hochmodul-Asphaltbeton AC EME Enrobés bitumineux pour couches de liaison AC B, enrobés bitumineux à module élevé AC EME	≤ 15	≤ 30
Trag- und Sperrschichten im Gleisbau / Couches de base et d'étanchéité pour voies ferrées		
Asphaltbeton für Tragschichten AC T, Asphaltbeton für Sperrschichten im Gleisbau AC RAIL Enrobés bitumineux pour couches de base AC T, enrobés bitumineux pour couches d'étanchéité pour voies ferrées AC RAIL	≤ 25	≤ 60
Fundationsschichten / Couches de fondation		
Asphaltbeton für Foundationsschichten AC F Enrobés bitumineux pour couches de fondation AC F	≤ 30	≤ 70

Source: SN 640 431-1-NA

EME: bases

- Enrobé à module élevé (EME)
- Origine: France, années 1980' environ
- Bitume non-modifié, dur
- Type C1: Résistant à l'orniérage / type C2: Résistant à la fatigue



EME: normalisation suisse (09.2021)

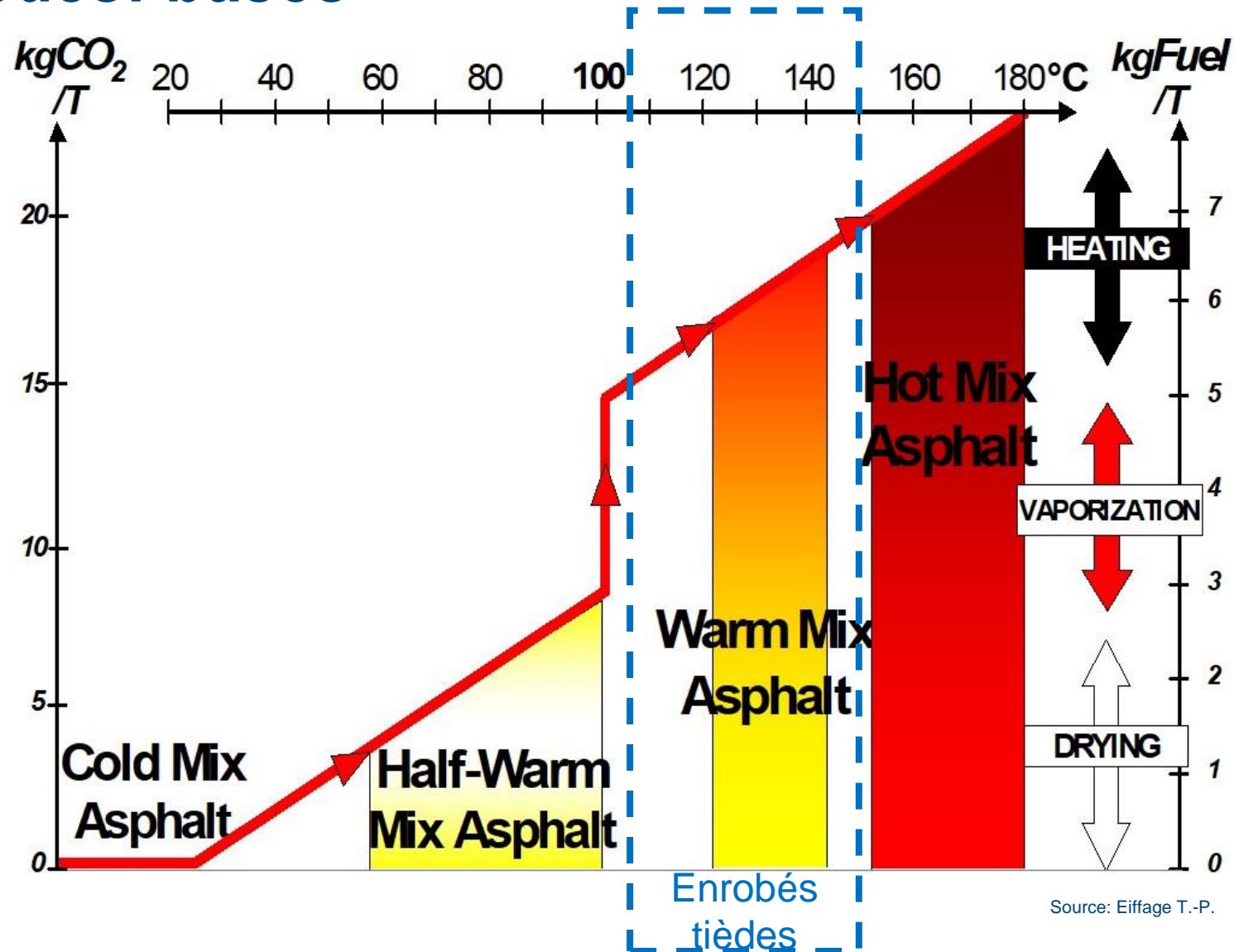
- Principaux aspects normatifs (fourniture) – caractéristiques et performances

Caractéristique/performance	Exigence / Recommendation	
	AC EME 22 C1	AC EME 22 C2
Choix du liant	B15/25	B10/20
Vides Marshall [%vol]	3.0 ... 6.0	1.0 ... 4.0
Sensibilité à l'eau (ITSR) [%]	≥ 70	≥ 70
Teneur en liant [%m]	≥ 4.6	≥ 5.2
Module de richesse	≥ 2.7	≥ 3.3
Prof. ornière @ 30'000 cycles [%]	≤ 5.0	≤ 7.5
Module rigidité 2PB-TR @ 15°C, 10 Hz [MPa]	≥ 11'000	≥ 14'000
Fatigue 2PB-TR, ϵ_6 @ 10 °C, 25 Hz [μm]	≥ 100	≥ 130



Source: SN 640 431-1-NA

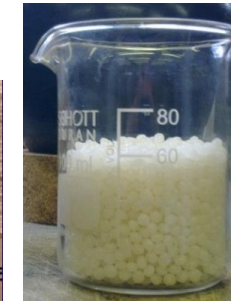
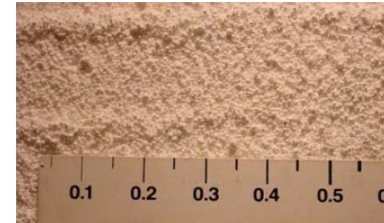
Enrobés tièdes: bases



Enrobés tièdes: bases

■ Différentes technologies / produits

- Cires
- Additifs chimiques
- Zéolithe
- Moussage du bitume



Source: Warmmixasphalt.com |
Thèse N. Bueche

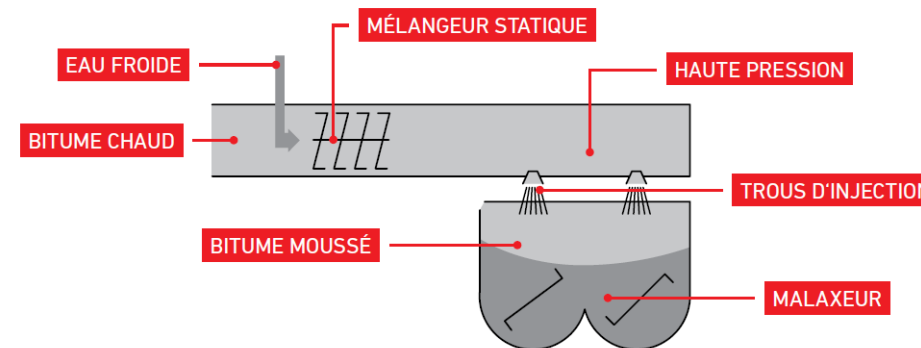


Par le biais de buses de projection, le bitume de mousse est acheminé jusqu'au mélangeur.



Vue extérieure : Mélangeur doté d'un générateur de mousse.

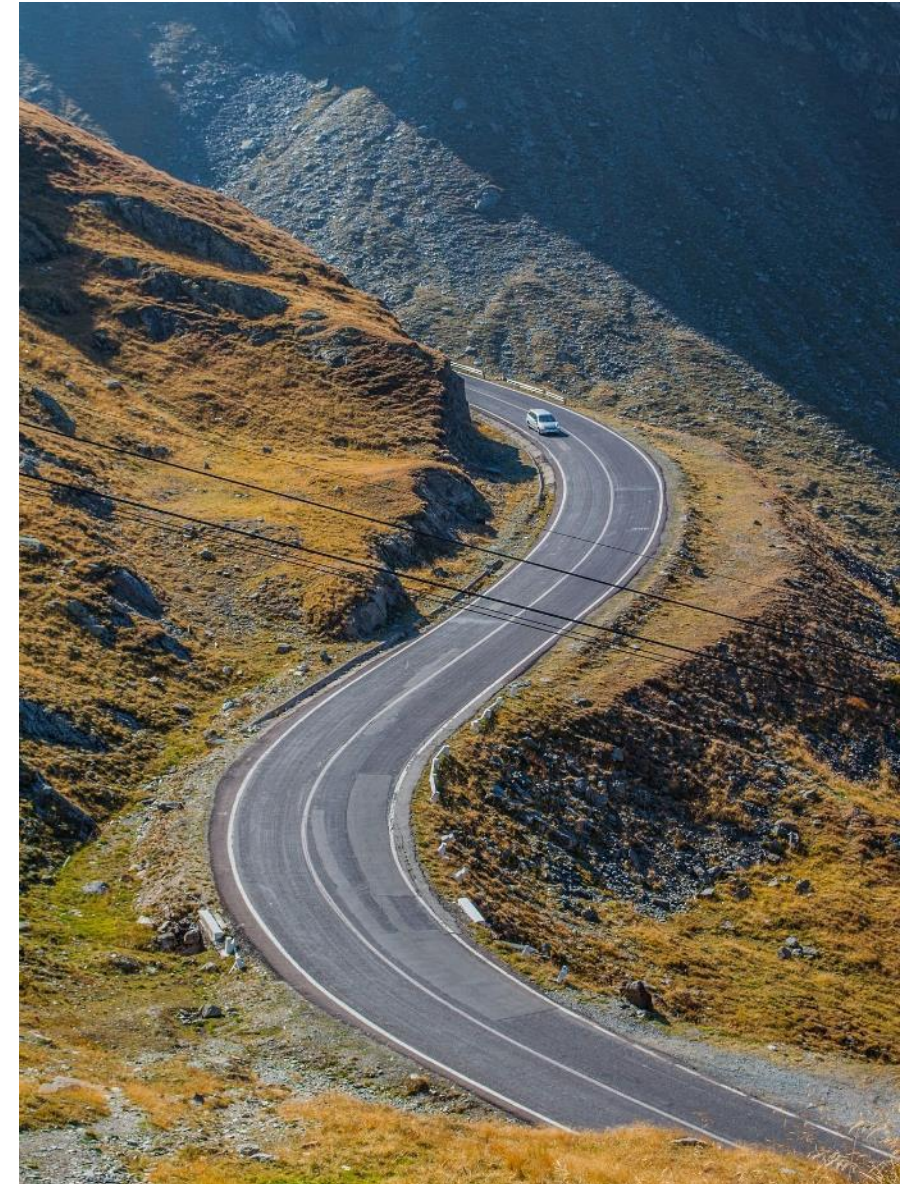
COMBINAISON D'ASPHALTE FROID / À BASSE TEMPÉRATURE



Source: Ammann

Projet RheMa

- Motivations et objectifs
- Structure de chaussée
- Essais étendus: Méthodologie, résultats & analyses
- Aspects pratiques (pose)



Motivations

■ EME

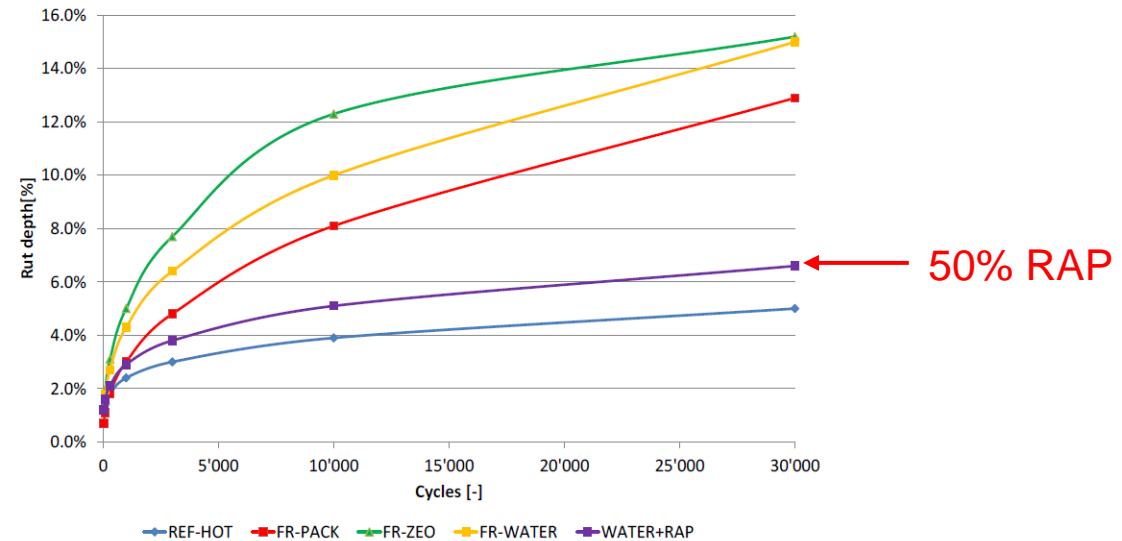
- Enrobés à hautes performances, «pointu»
- Largement utilisés sur le réseau à fortes sollicitations (autoroutes)

■ Contribution énergétique et environnementale

■ Combinaison agrégats d'enrobés et enrobés tièdes: Un potentiel élevé!



Source: Bueche N et al. Instrumentation and in-situ evaluation of warm mix asphalt test sections. 6th E&E Congress



Objectifs projet RheMa



- Projet pilote
- Aller *au-delà* des limites normatives
- Combinaison: EME / Enrobés tièdes / teneur élevée en agrégats d'enrobés
- Evaluation des caractéristiques et performances en laboratoire et in situ (chaussées sous fortes sollicitations)
- Recueil d'expérience: Identifier les défis et les perspectives futures pour les **EME tièdes avec forte teneur en agrégats d'enrobés**

Structure de chaussée

Couche	Sorte / Type	Epais.	Liant	RAP	Remarque
Roulement	AC SDA 8 A	30 mm	PmB 45/80-65		
Liaison	AC EME 22 C1	80 mm	B 15/25 (CH)	50%	Tiède/Chaud
Base	AC EME 22 C2	80 mm	B 10/20 (CH)	40%	Tiède/Chaud
Fondation	AC F 22	80 mm	B 50/70		

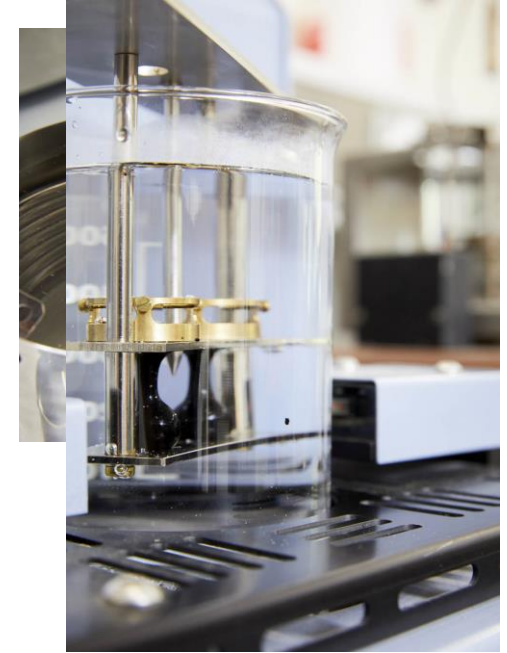
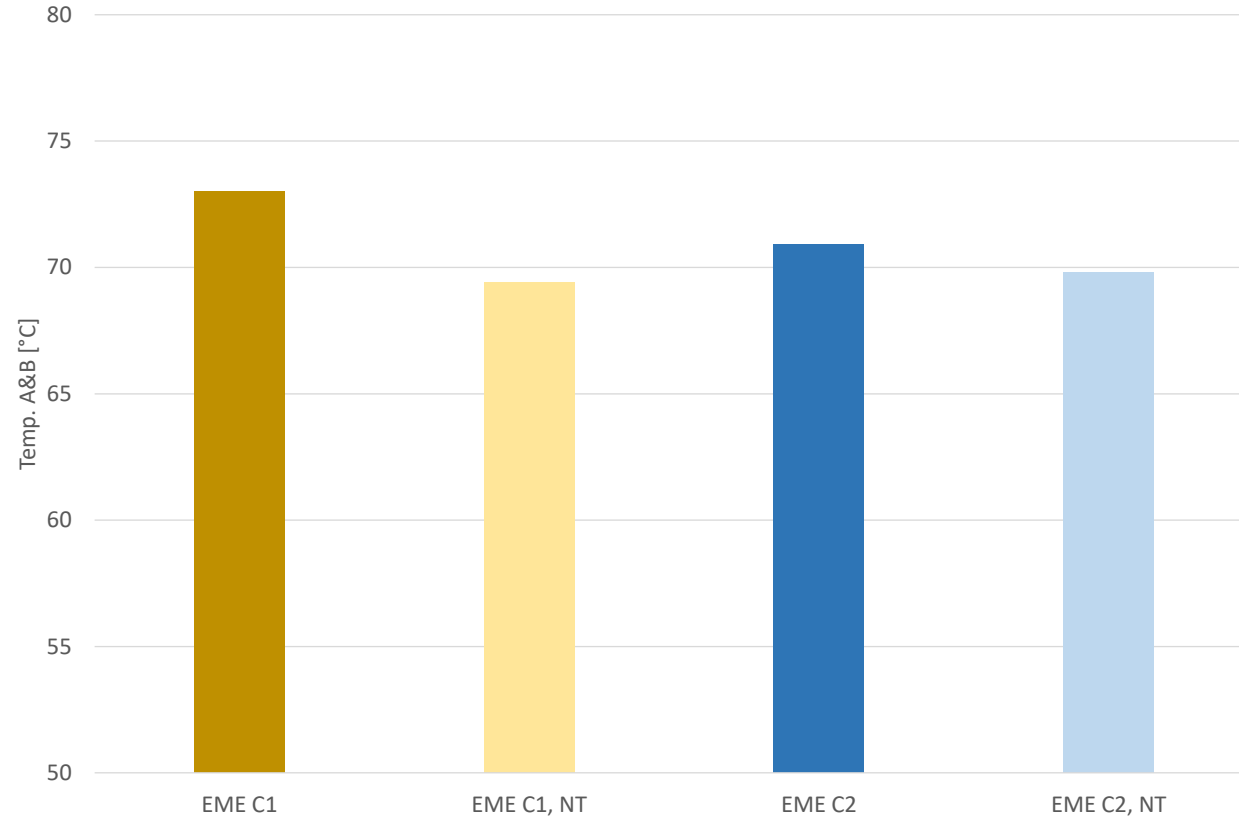
- Technologie enrobés tièdes: Moussage du bitume
- Température de production enrobés tièdes: 115 ° C – 120 ° C
- Température de compactage enrobés tièdes: 105 ° C – 115 ° C
- Pose à la machine
- AC EME: Recette identique tiède/chaud (*i.e.* pas d'optimisation selon température)
- AC EME: Pas de référence sans RAP

Programme d'essais et contrôles (essais étendus)

Matériau	Caractéristique / performance	Essai proposé	Norme
Liant brut	Comportement en service	Essai de pénétration	SN EN 1426
	Comportement haute temp.	Essai anneau et bille	SN EN 1427
	Comportement basse temp.	Fraass	SN EN 12593
	Comportement rhéologique	Dynamic shear rheometer (DSR)	EN 14770
Fourniture	Vérification production	Teneur en eau de l'enrobé	-
	Vérification enrobé (ETF)	Analyse granulométrique	SN EN 12697-2
	Vérification enrobé (ETF)	Teneur en liant soluble	SN EN 12697-1
	Vérification enrobé (ETF)	Masse volumique MVR / MVA	SN EN 12697-5 / -6
	Résistance mécanique	Essai Marshall (vides, SM, FM, FT)	SN EN 12697-8 / -34
	Rigidité	Essai de module 2PB-TR	SN EN 12697-26
	Rigidité	Essai de module IT-CY ; 0, 7 et 14 j, (NT)	SN EN 670 412
	Fatigue	Essai de fatigue 2PB-TR	SN EN 12697-24
	Sensibilité à l'eau	Essai ITSr (22 °C)	SN EN 12697-12
	Compactibilité	Teneur en vides résiduels Marshall	SN EN 12697-8
	Compactibilité	Presse à cisaillement giratoire (200 gir.)	SN EN 12697-31
	Maniabilité (pose)	Maniabilimètre Nynas	NF P 98-258-1
	Comportement à froid	Retrait thermique empêché (TSRST)	EN 12697-46
	Résistance aux déf.	Essai orniérage (simulateur trafic)	EN 12697-22
	Résistance aux déf.	Essai de compression cyclique	EN 12697-22
Liant récupéré	Comportement en service	Essai de pénétration	SN EN 1426
	Comportement haute temp.	Essai anneau et bille	SN EN 1427
	Comportement basse temp.	Fraass	SN EN 12593
	Comportement rhéologique	Dynamic shear rheometer (DSR)	EN 14770
	Comportement rhéologique	MSCR	SN 670 561
Carottes (chantier)	Caractérisation, contrôle pose	Photo, observation visuelle	-
	Contrôle pose et compactage	Compacité, MVA, vides résiduels, Epaiss.	SN EN 12697-6
	Liaison inter-couches	Essai Leutner	SN 670 461
	Sensibilité à l'eau	Essai ITSr (22 °C)	SN EN 12697-12

Résultats d'essais: liants

- Pen (SN EN 1426) et A&B (SN EN 1427)
 - AC EME C1 / AC EME C2
 - NT = enrobé tiède



Résultats d'essais: liants

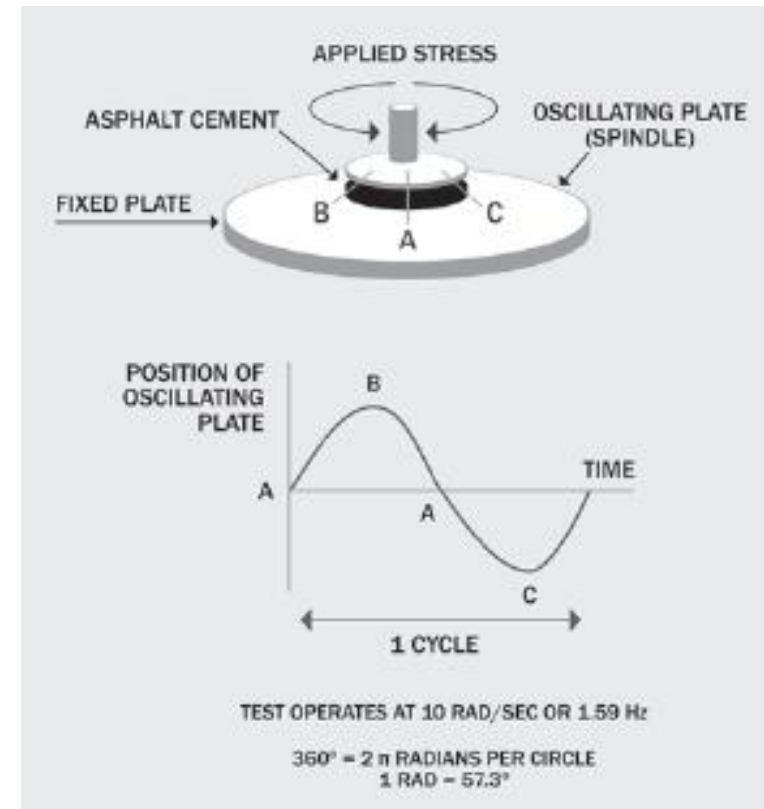
- Rhéomètre à cisaillement dynamique (SN 670 559 / EN 14770)



a) DSR



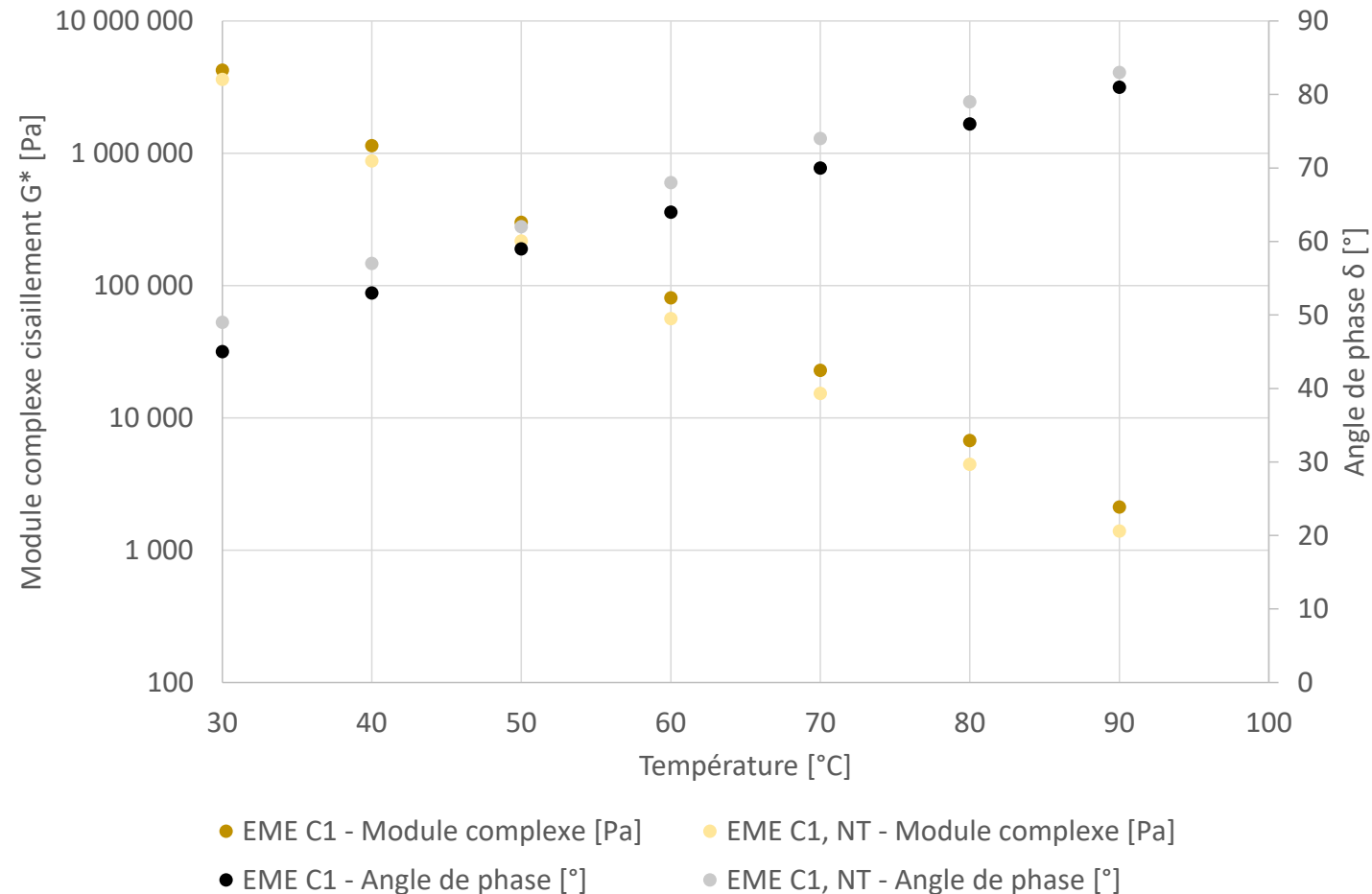
b) DSR Testing Plates



Source: CTAA, Carter et al. 2018

Résultats d'essais: liants

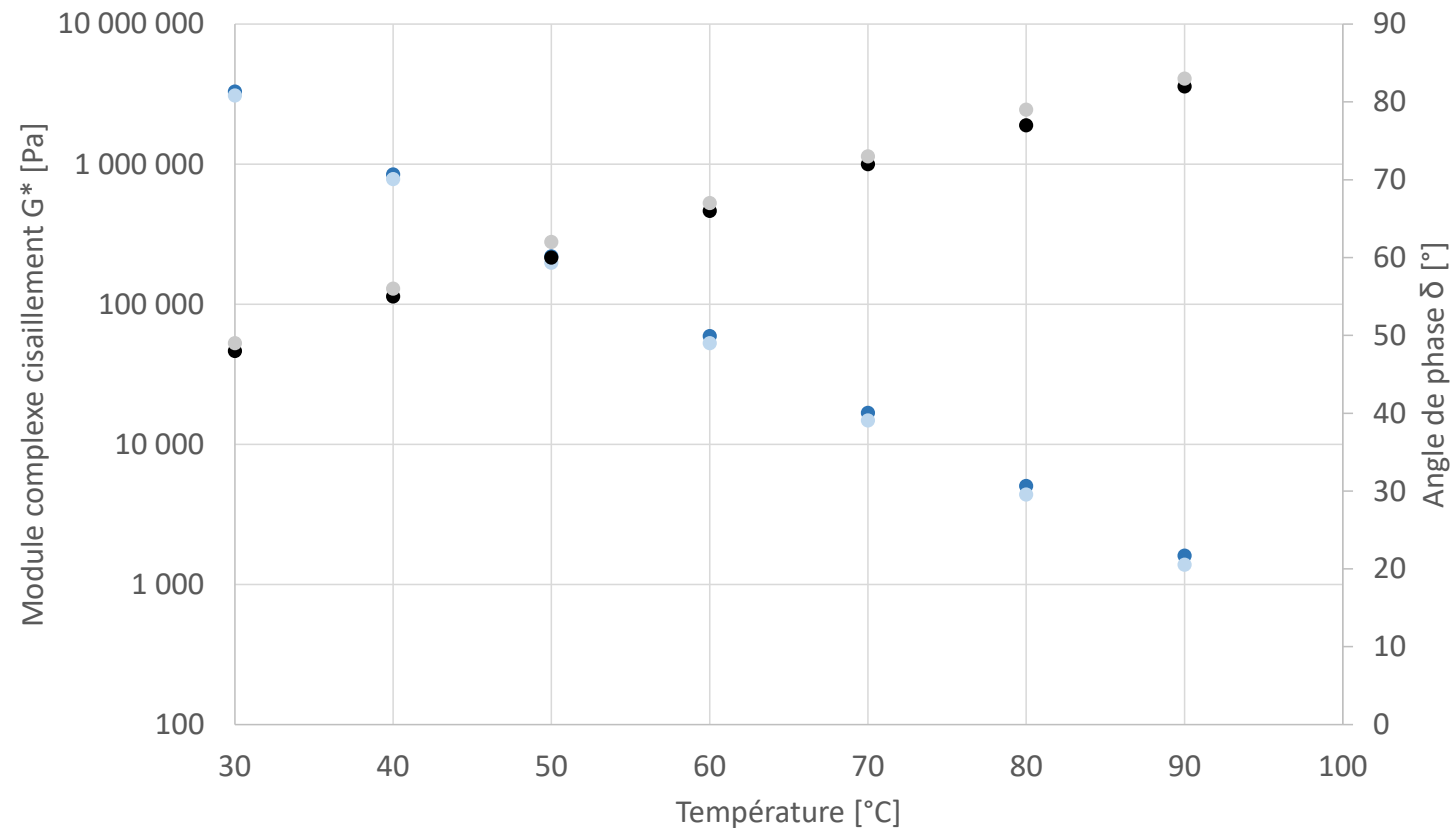
- Rhéomètre à cisaillement dynamique (SN 670 559 / EN 14770)
 - AC EME C1



Résultats d'essais: liants

■ Rhéomètre à cisaillement dynamique (SN 670 559 / EN 14770)

• AC EME C2

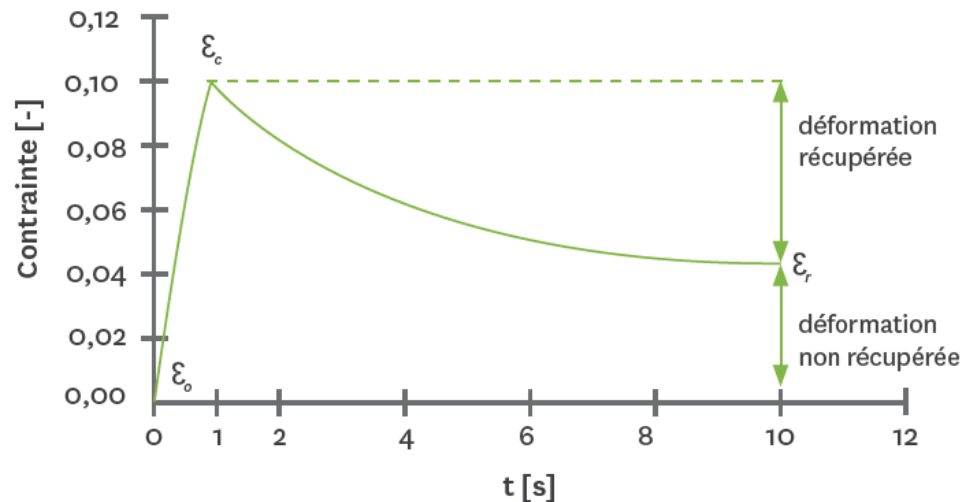


- EME C2 - Module complexe [Pa]
- EME C2 - Angle de phase [°]
- EME C2, NT - Module complexe [Pa]
- EME C2, NT - Angle de phase [°]

Résultats d'essais: liants

■ Essai MSCR (Multiple Stress Creep Recovery Test – Essai de fluage-recouvrance sous contraintes répétées)

- Norme:
- Utilisation:
- Essai sur:
- Caractéristiques contraintes:
- Température:
- Principe:
 - Réponse de
 - Diagramme
- Résultats:

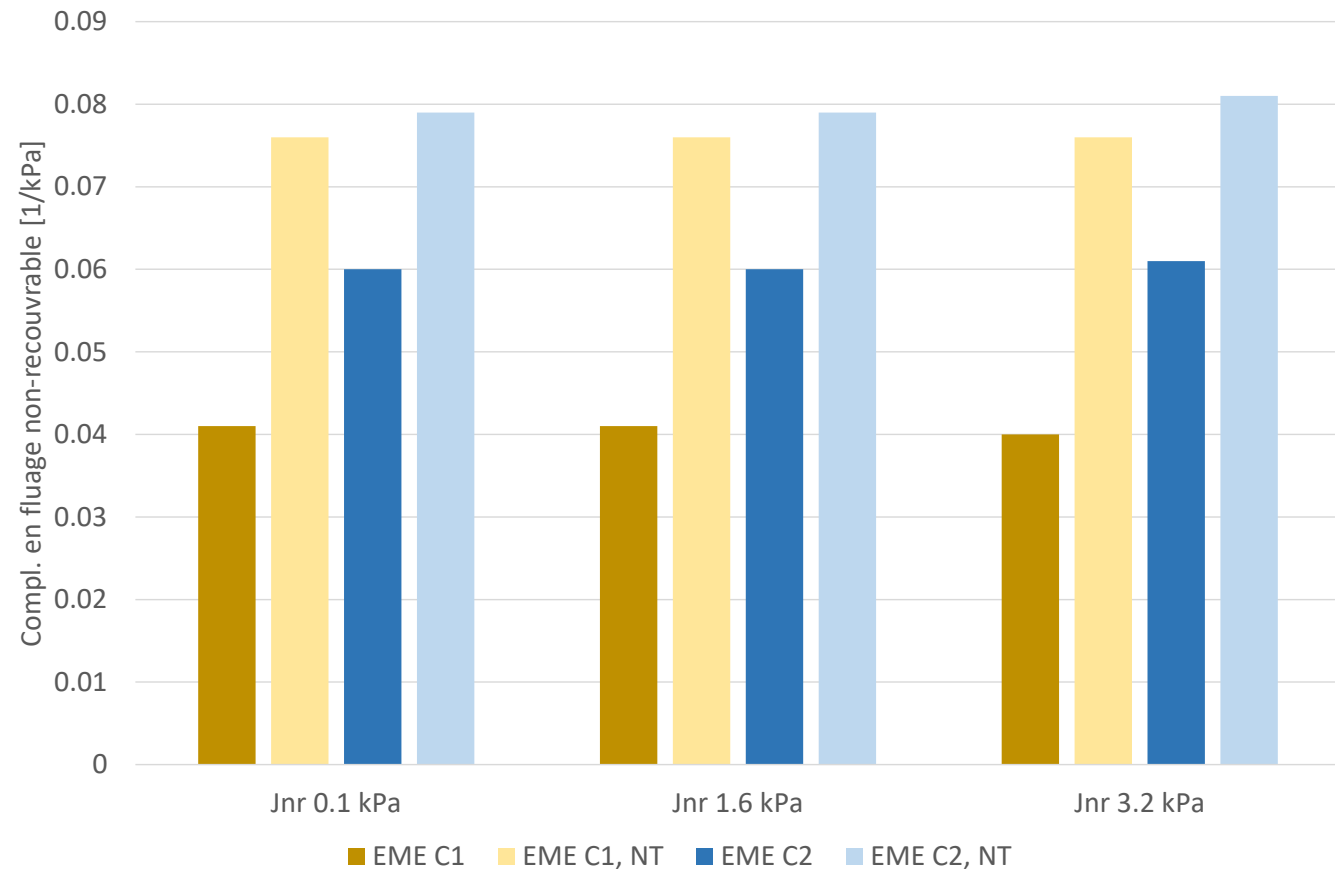


Source: Eurobitume

- Pourcentage de recouvrance (% R): Déformation récupérée dans un échantillon pendant la période du cycle d'essai, pendant la période sans charge
- Complaisance en fluage non-récupérable (J_{nr}): Déformation résiduelle dans l'échantillon après un cycle de fluage et de récupération, divisée par la contrainte appliquée

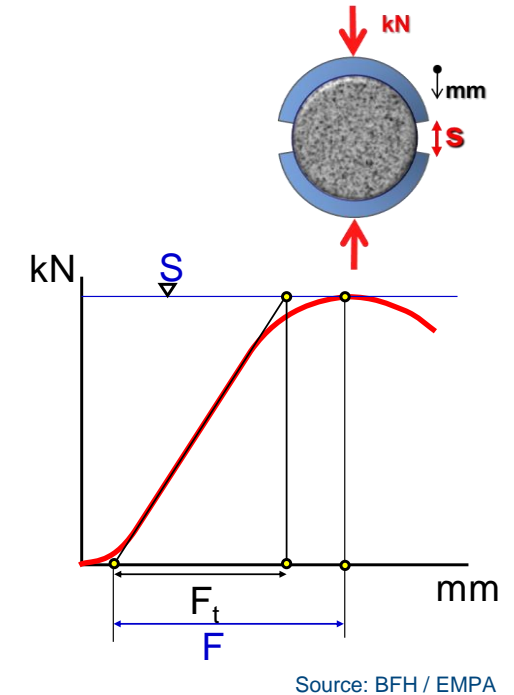
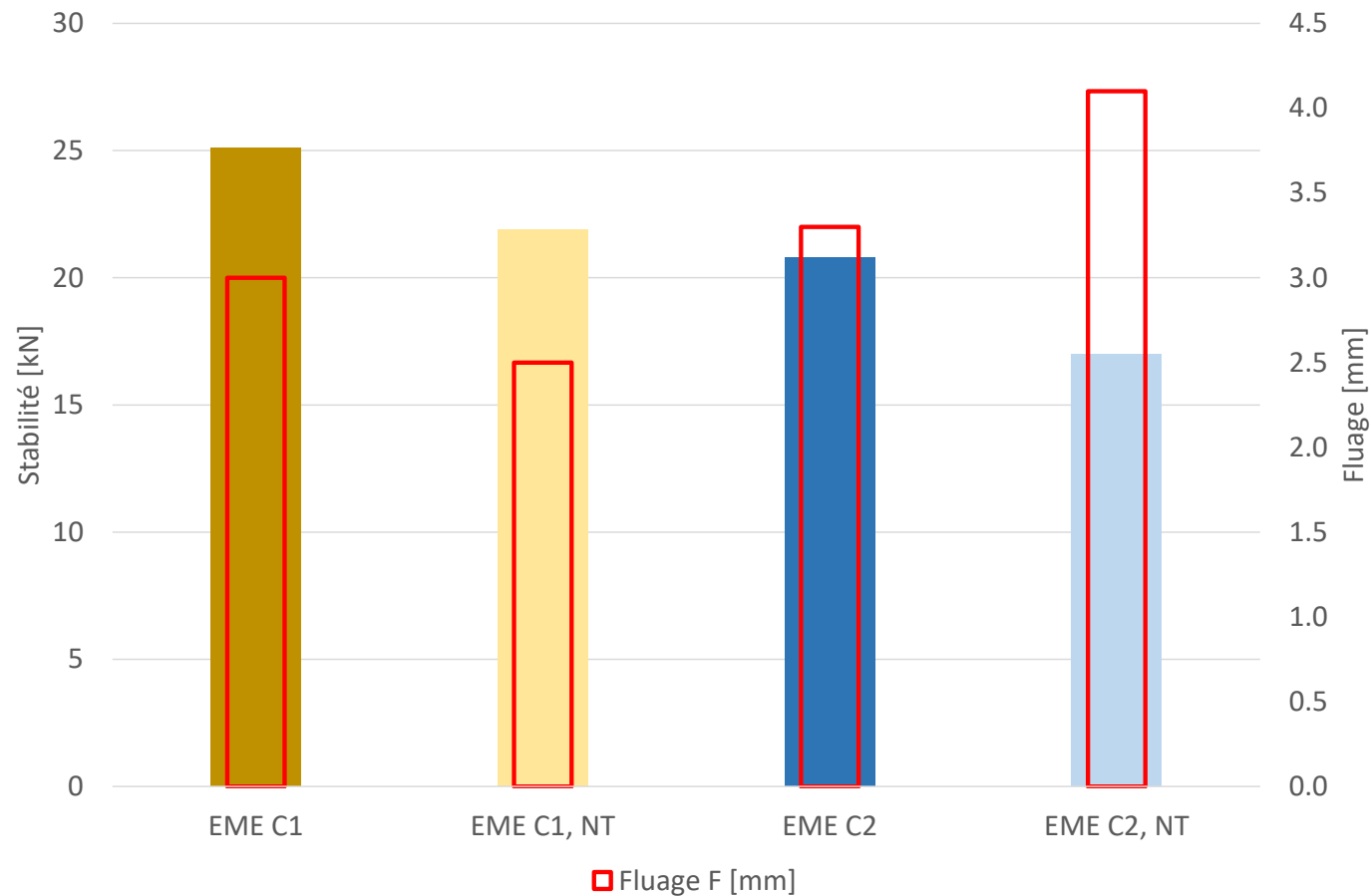
Résultats d'essais: liants

- Essai MSCR (Multiple Stress Creep Recovery Test – Essai de fluage-recouvrance sous contraintes répétées)
 - AC EME C1 / AC EME C2



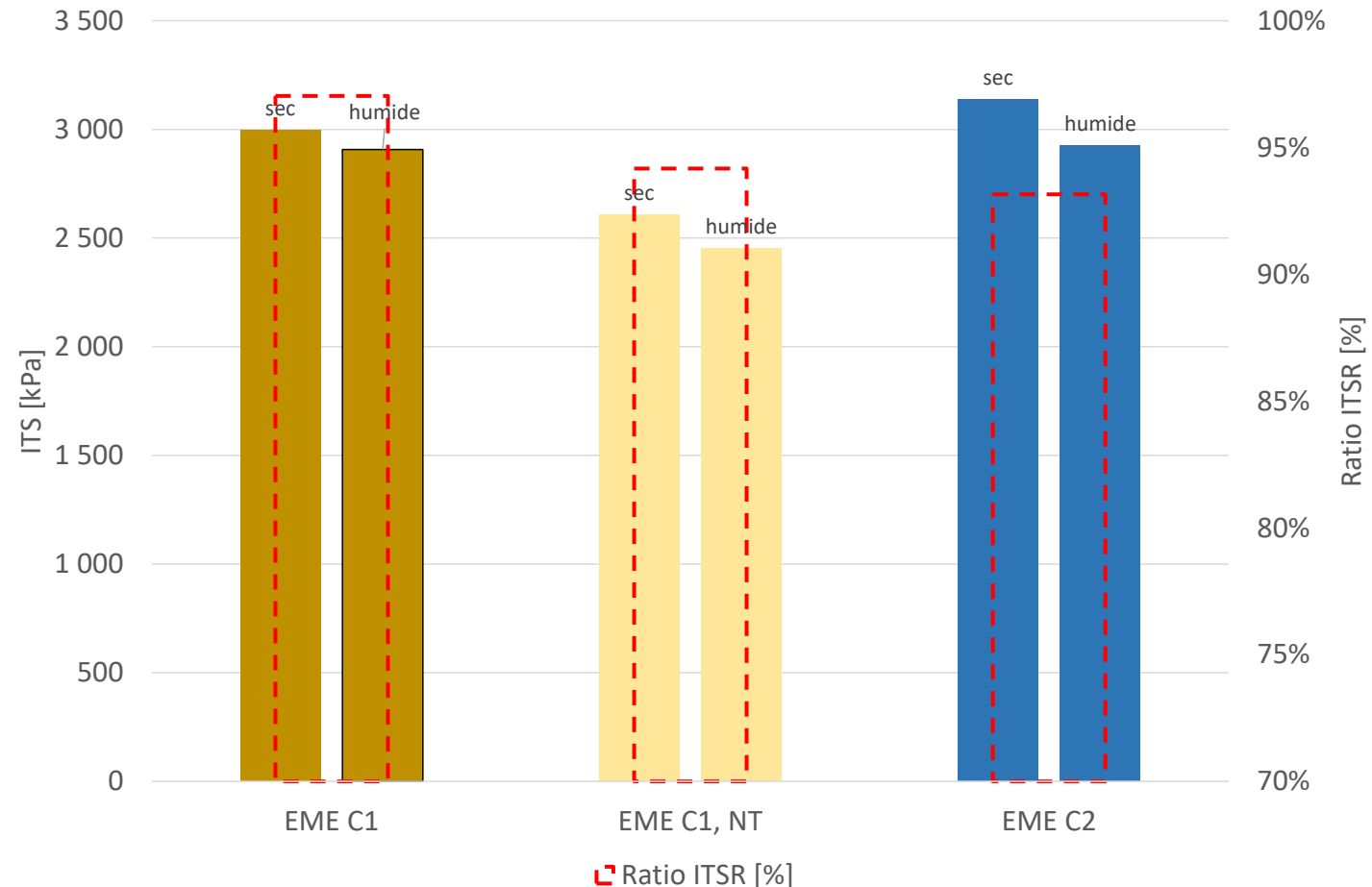
Résultats d'essais: enrobés

- Essai Marshall (SN 670 430 / -434)
 - AC EME C1 / AC EME C2



Résultats d'essais: enrobés

- Sensibilité à l'eau (SN 670 412, EN 12697-12)
 - AC EME C1



Résultats d'essais: enrobés

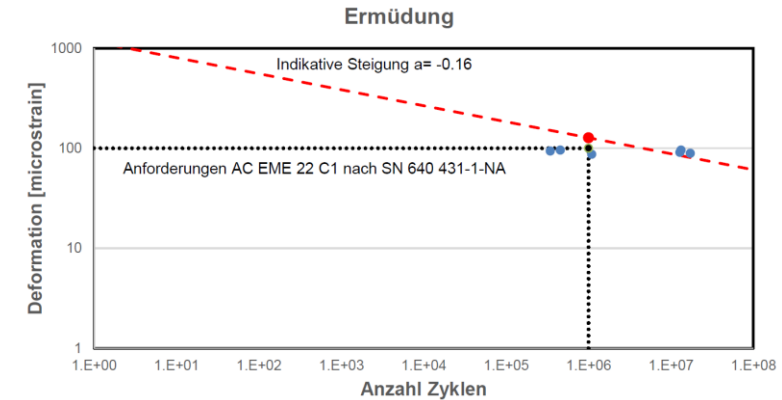
- Résistance aux déformations permanentes (EN 12697-22)
 - AC EME C1 – résistant orniérage



Source: NextRoad

Résultats d'essais: enrobés

- Rigidité 2PB-TR (EN 12697-26)
- Fatigue 2PB-TR (EN 12-697-25)
 - AC EME C1 / AC EME C2

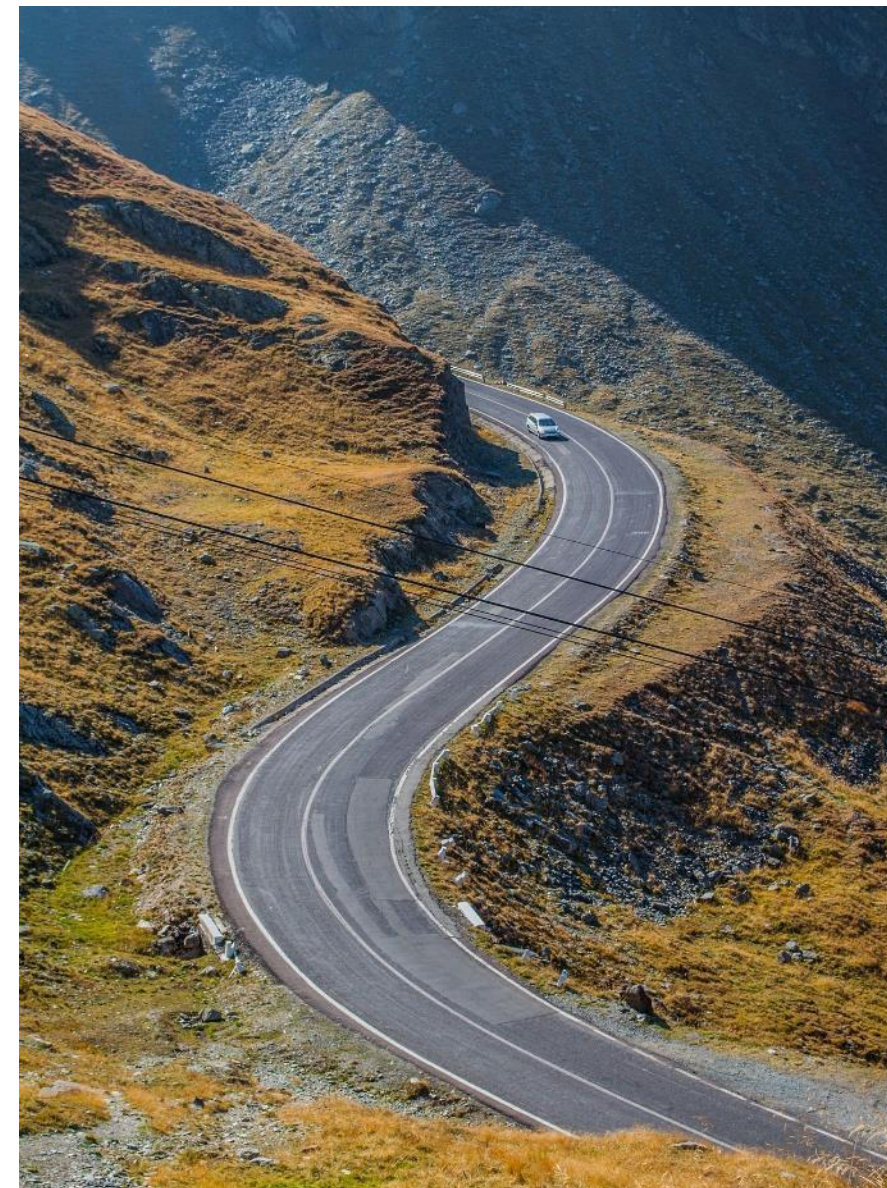


	EME 22 C1	EME 22 C1, NT	EME 22 C2	EME 22 C2, NT
Module complexe				
Teneur vides moy.	3.4%	4.1%	NA	2.9%
E* (15°C, 10Hz)	15'427 MPa	18'237 MPa	14'075	16'510
SN 640 431-1-NA	11'000 MPa	11'000 MPa	14'000 MPa	14'000 MPa
Résistance à la fatigue				
Teneur vides moy.	3.4%	4.1%	NA	2.9%
Résist. fatigue ε_6	127 ± 10 µm	138 ± 10 µm	158 ± 10 µm	157 ± 10 µm
SN 640 431-1-NA	100 µm	100 µm	130 µm	130 µm

Expérience entreprise (extrait)

- Une ou deux itérations nécessaires pour l'Epreuve de Formulation (EF)
- En règle générale, respect des exigences relatives à la pose (épaisseur de couche, degré de compactage, teneur en vides)
- Pas d'eau résiduelle dans les enrobés (0.04%)
- Energie de compactage
 - Difficulté à atteindre des teneurs en vides très faibles pour EME
 - Le train de compactage utilisé pour les enrobés à chaud a dû être adapté pour les enrobés tièdes (un rouleau 10 t. vibrant en plus) → Augmentation de l'énergie de compactage dans le cas d'enrobés tièdes
 - Pour de petites surfaces: un postcompactage (1-1.5 h après pose) peut s'avérer pertinent. Pour les chantiers importants, ce postcompactage est « systématiquement » réalisé avec la circulation de rouleau pendant plus de 2 h.
- Selon température du RAP et des granulats d'apport → humidité → risque de condensation des gaz au poste d'enrobage, puis colmatage potentiel des filtres de la centrale

Conclusions et perspectives



EME tièdes à teneur élevée en agrégats d'enrobés

- Les EME sont des matériaux à hautes performances, complexes à formuler et à poser (compactage)
- L'expérience RheMa avec AC EME 22 C1 (chaud/tiède) 50% RAP et AC EME 22 C2 (chaud/tiède) 40% RAP démontre la faisabilité et les bonnes performances mécaniques des enrobés
- AE dans les EME: Le liant du fraisat est un liant «mou» – changement de paradigme
- Résultats globalement cohérents et consistants
- Performances spécifiques à optimiser: comportement à basses température, rigidité, fatigue
- Promouvoir les EME en cas de sollicitations élevées
- Perspectives
 - Utilisation de liants modifiés pour EME et/ou additifs spécifiques permettant **d'optimiser le comportement mécanique**
 - Nécessité de disposer d'une **méthode de formulation** des enrobés permettant d'optimiser les recettes et les itérations en laboratoire

Enrobés tièdes et recyclage

- Augmenter le taux d'agrégats d'enrobés dans les différents mélanges est une priorité largement reconnue, qui nécessite cependant des contrôles/exigences/méthodologies spécifiques
- Enrobés tièdes
 - Permettent potentiellement d'augmenter la teneur en AE (vieillessement plus faible du liant)
 - Une alternative aux enrobés à chaud
- Comment augmenter le recours aux enrobés tièdes en Suisse?
 - Multiplier les expériences
 - Normalisation
 - Codes de bonne pratique
 - Appui des décideurs (politiques)
 - ...



Merci pour votre attention....

Des questions ?

bfh.ch/isi



Nicolas Bueche

nicolas.bueche@bfh.ch

nicolas.bueche@nibuxs.ch

+41 34 426 41 57

+41 79 602 16 32

