

Bonne pratique avec les enrobés à froid

Vincent GAUDEFROY (IFSTTAR)

Conférence JERI

Lausanne – Mardi 20 Novembre 2018



IFSTTAR

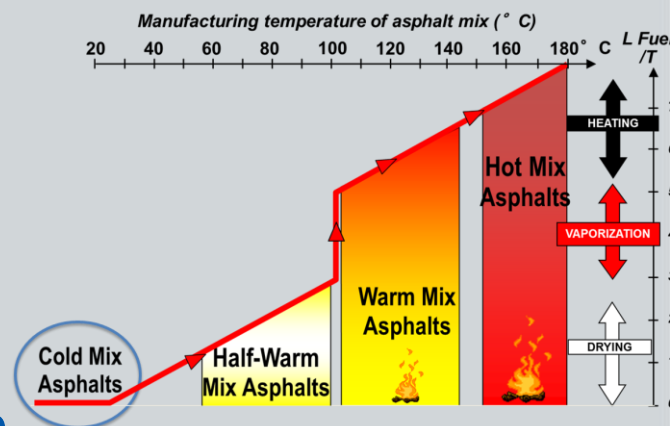
Sommaire

1. Contexte et enjeux
2. Spécificités des matériaux à l'émulsion et formulation en laboratoire
3. Chantiers expérimentaux
4. Actions de recherche
5. Perspectives et conclusions



Contexte et enjeux

- Faire **évoluer les pratiques routières** dans un contexte changeant (Protocole de Kyoto 2005, Grenelle de l'environnement 2007, Convention d'engagement volontaire 2009, Transition énergétique pour une croissance verte 2014)
- Avec **deux objectifs** principaux
 1. **Abaissement des températures** d'enrobage pour réduire les consommations énergétiques et les émissions de Gaz à effet de serre
 2. **Réduire l'utilisation des ressources non renouvelables et développer le recyclage**

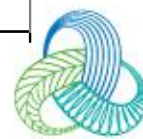
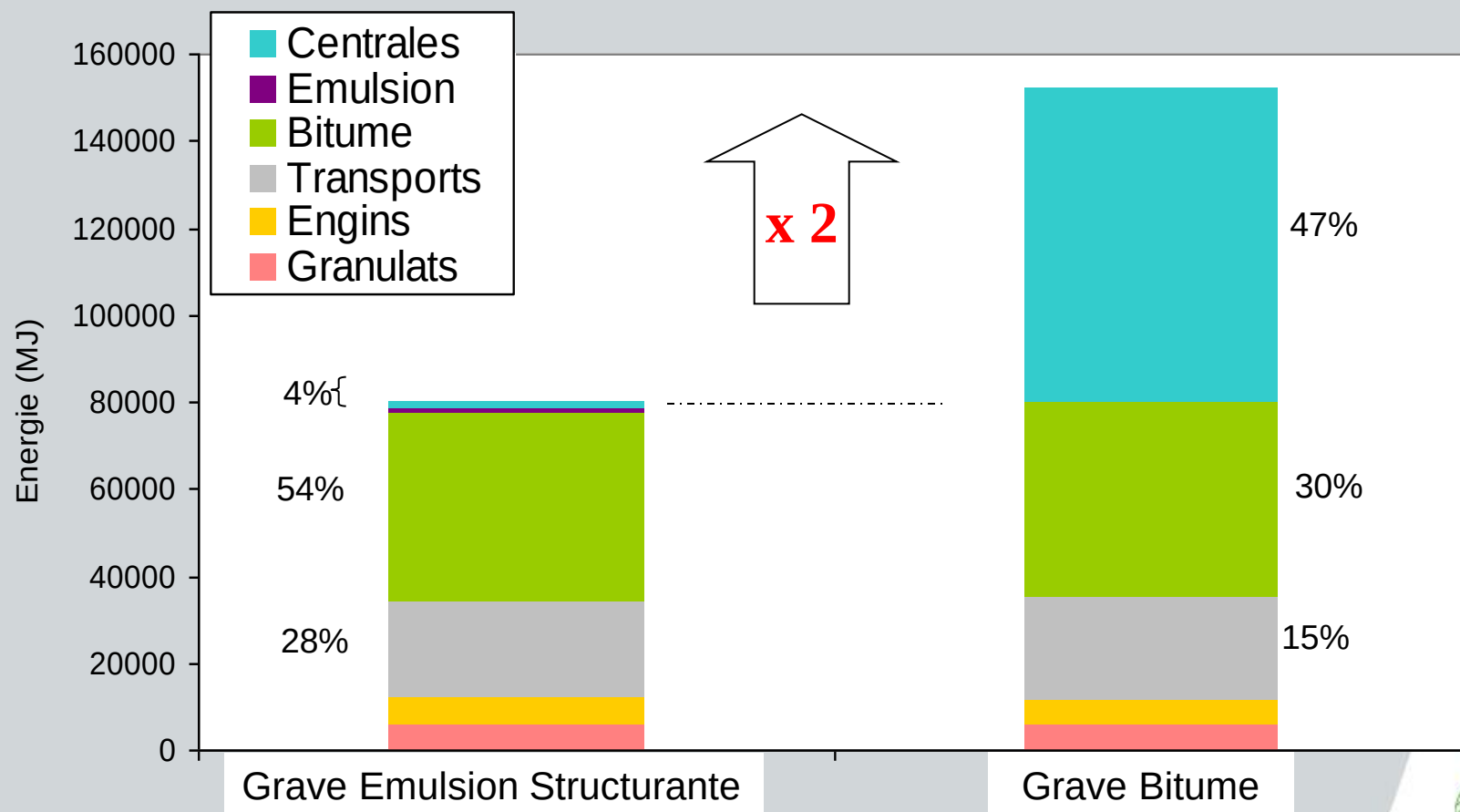


[MEEDDAT, 2009] : Convention d'engagement volontaire des acteurs de conception, réalisation et maintenance des infrastructures routières, voirie et espace public urbain, MEEDDAT, FNTP, Terrassiers de France, USRIF, Syntec-Ingénierie, Assemblée des Départements de France. Lien internet : http://www.legrenelle-environnement.fr/IMG/pdf/Convention_1_urbanisme_cle721e59.pdf, Mars 2009.



Contexte et enjeux

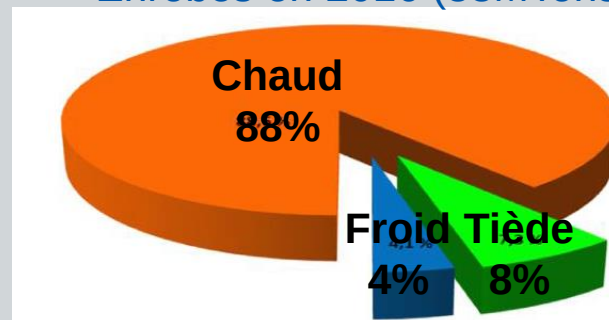
Cas comparatif d'évaluation de consommation d'énergie de solutions routières de même épaisseur (10 cm) avec logiciel LPC Ecorce®



Contexte et enjeux

- **Techniques routières à l'émulsion de bitume à fort potentiel environnemental**
 - économie en énergie : pas de chauffage des granulats
 - impact sanitaire : pas de fumée
- **Mais restent sous utilisées**
 - Chaque année 10% des 0,7 million de Ton d'émulsion sont destinés à technique d'enrobage
 - Application aux chaussées à faible et moyen trafics
 - Technique routière pointue avec des savoir faire locaux et basé sur l'empirisme
 - En 2016, les enrobés à froid représentaient environ 4 % de la production d'enrobés en France

Enrobés en 2016 (33MTons)

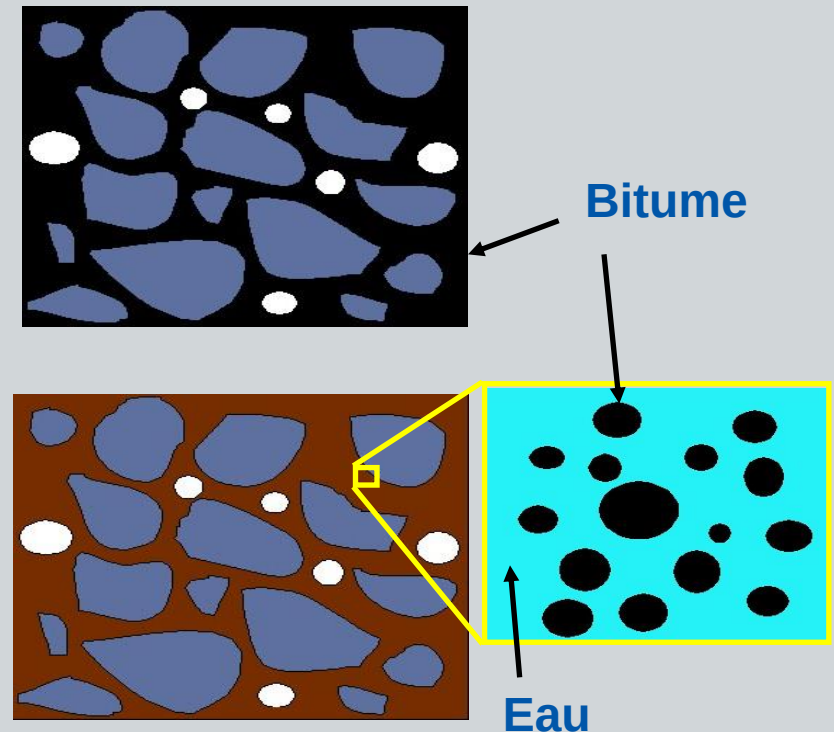


Spécificités matériaux à l'émulsion

- Procédés d'enrobage
 - 'A chaud'
 - Chauffage à 160°C
 - Granulats, Bitume, Vides
 - 'A froid' à l'émulsion
 - Pas de chauffage
 - Granulats, Bitume, Vides

• Eau

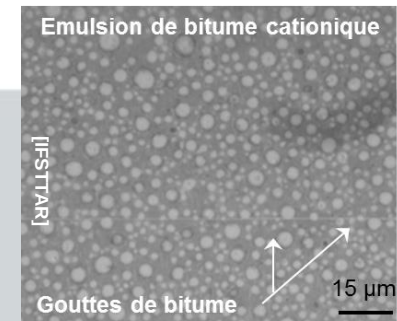
- **Incorporation d'agrégats** dans les enrobés à froid à l'émulsion **jusqu'à 100% !**



Spécificités matériaux à l'émulsion

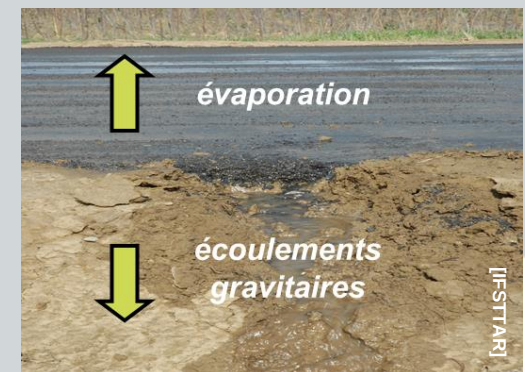
- **Présence d'eau**

- Liée à l'émulsion et l'eau d'apport
- Contribue à modifier la viscosité du liant pour enrober des granulats froids et freiner la réactivité des granulats
- Lubrifie le matériau (maniabilité/mise en œuvre) et facilite le compactage (jusqu'à un certain point)



- **Mais**

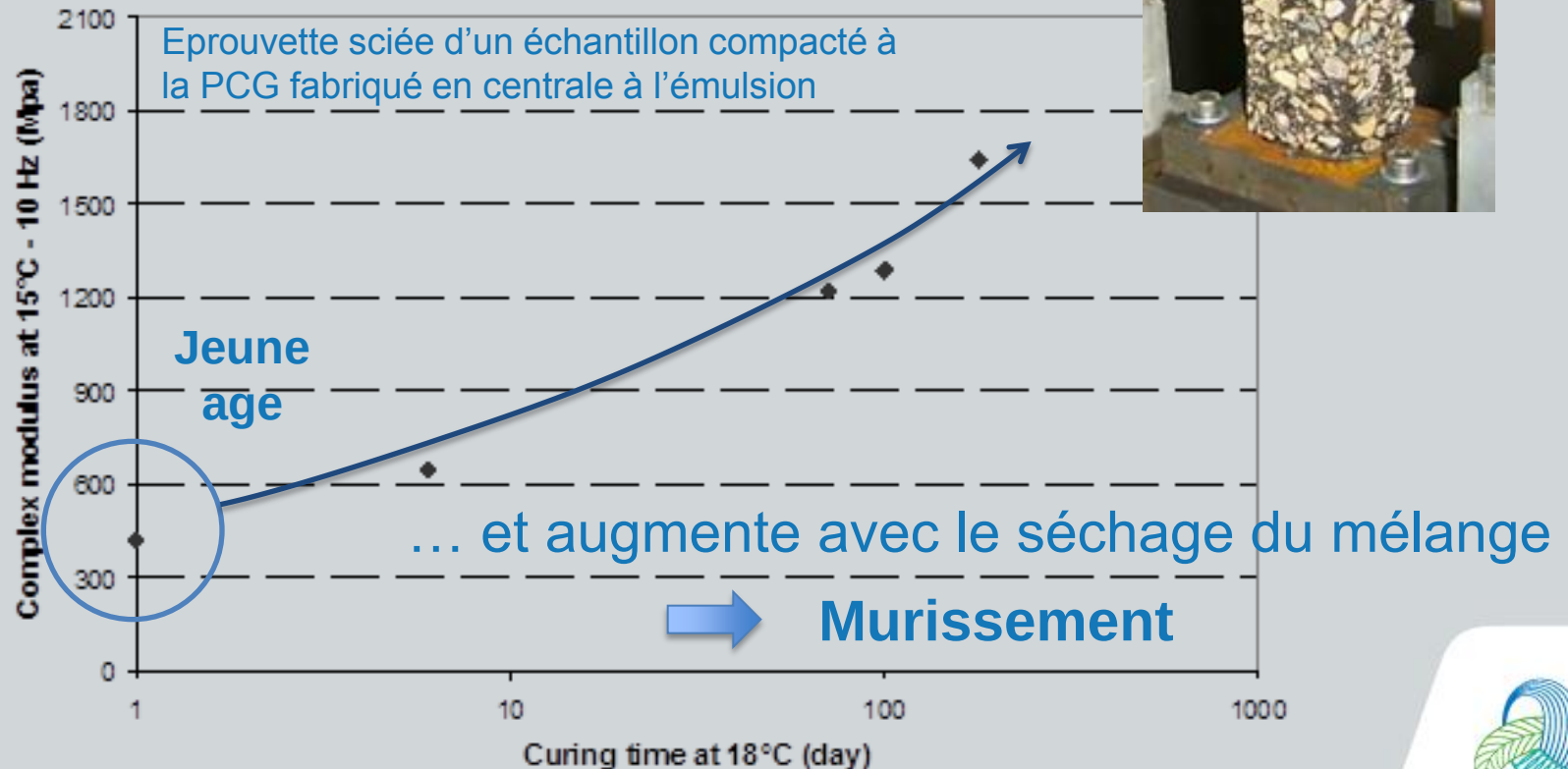
- Retarde la formation d'un film de liant solide et la montée en cohésion,
- Contribue à la fragilité de l'enrobé au jeune âge



Spécificités matériaux à l'émulsion

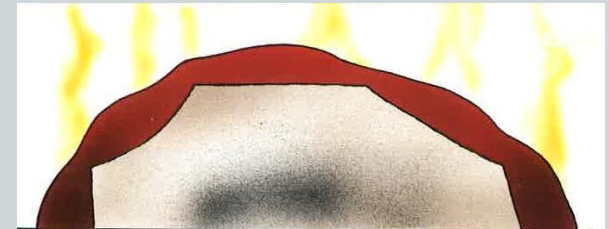
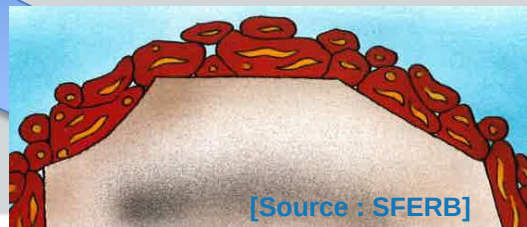
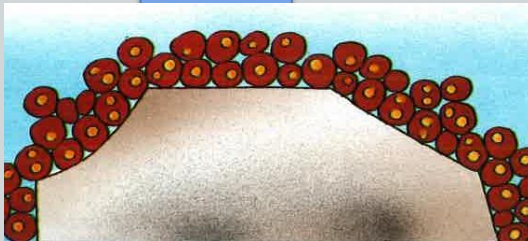
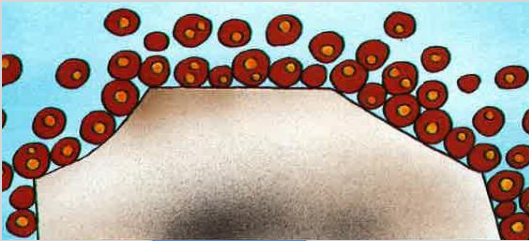
Présence de l'eau

- Le module complexe est faible au jeune âge ...



Spécificités matériaux à l'émulsion

Evolution dans le temps d'un comportement de type
matériau **non lié** à celui d'un matériau **lié**



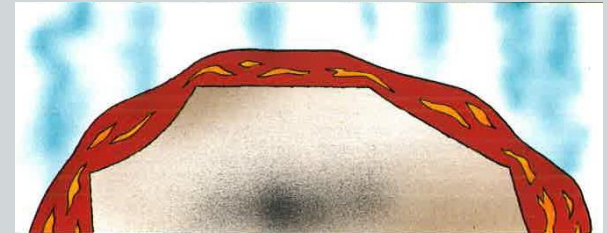
Spécificités matériaux à l'émulsion

- Evolutivité des mélanges à l'émulsion → cohésion et module



Domaine d'emploi

- Saison d'emploi : début printemps au début automne
- Favoriser le murissement (et différer le recouvrement des couches d'assise de 3 à 6 semaines parfois plus si le trafic ne génère pas de dégradation de surface)
- Support avec assise importante ou souple
- Trafic admissible T2 (150 à 300 PL jour/sens)



[Source : SFERB]



Référentiel normatif

- NF P98-121 : Assises de chaussée - **Grave-émulsion** - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre
- NF P98-139 : Enrobés hydrocarbonés - Couches de roulement : **béton bitumineux à l'émulsion** - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre
- NF P98-150-2 : **Enrobés hydrocarbonés à froid** - Exécution des assises de chaussées, couches de liaison et couches de roulement - Partie 2 : enrobés hydrocarbonés à froid - Constituants, formulation, fabrication, transport, mise en œuvre et contrôle sur chantier.



La Grave Emulsion - Définition

- Enrobé bitumineux normalisé (NF P 98-121) pour la réalisation de couches d'assise
 - Grave Emulsion « de Reprofilage » et « Structurante »
 - épaisseur de 0 à 15 cm
 - GES : 2 Classes (avec une fonction de reprofilage ou non) en fonction de la teneur en liant min et des performances mécaniques visées (tenue à l'eau, module)
 - Structure granulaire avec mastic très riche en liant



Le béton bitumineux à l'émulsion - Définition

- Béton bitumineux à l'émulsion (BBE) NF P 98-139
 - Couches de roulement ou de liaison, constitué de granulats sélectionnés, avec granulats recouverts d'un film de liant
- Types de BBE
 - Type 1 : destiné à des opérations d'entretien et de restauration de caractéristiques de surface sur des chaussées à faible trafic $\leq T3$) (ép. 2 à 5 cm)
 - Type 2 : destiné non seulement à l'obtention de caractéristiques de surface adéquates, mais aussi à un apport structurel (ép. 2 à 8 cm)



Approche performantielle et formulation

- La formulation du mélange est basé sur celle des enrobés à chaud complété par des tests spécifiques

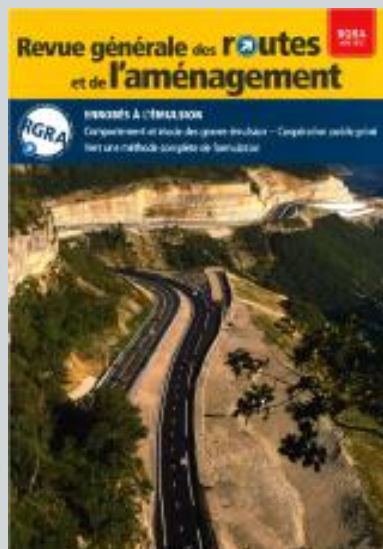
Etape 1 : formulation de l'émulsion et du mélange

➔ **Méthodes MLPC** comme outils d'aide à la **formulation**

Etape 2 : Essais sur matériaux frais

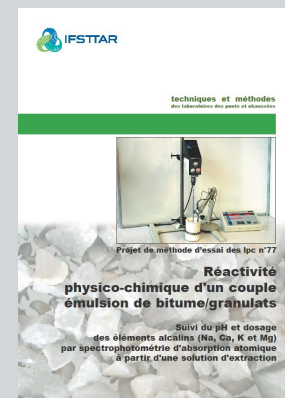
Etape 3 : Murissement

Etape 4 : Essais sur matériaux muris



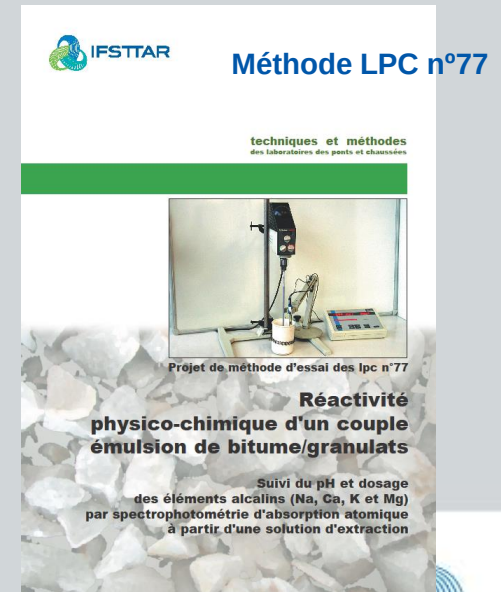
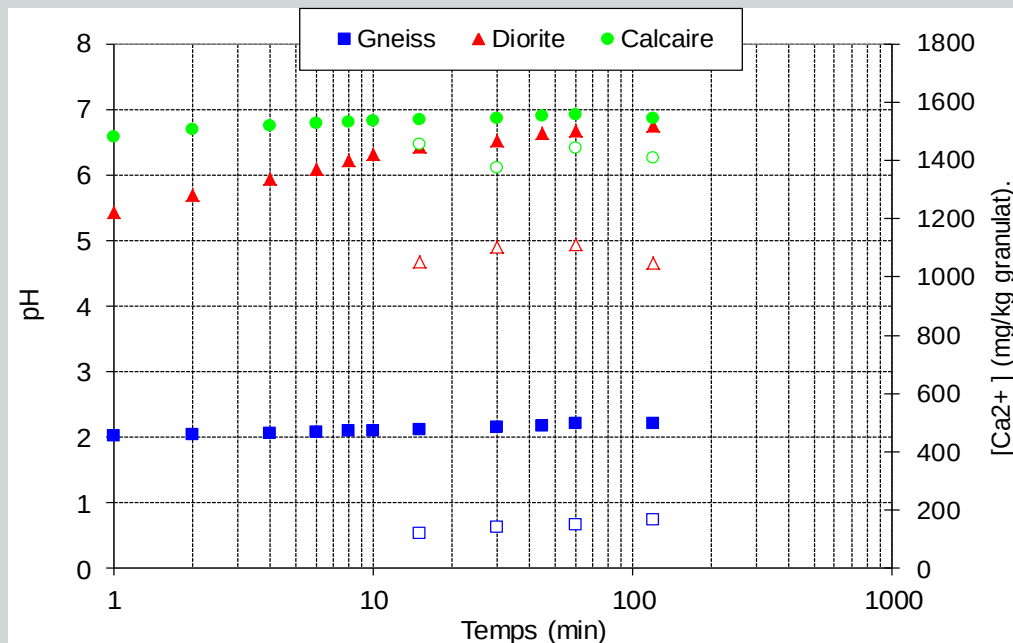
Numéro spécial RGRA (2012)

Guide technique sur les mélanges à froid (2018)



Choix des constituants

- Granulat
 - Exigences pour les enrobés (NF EN13043 ; XP P18-545)
 - Nature minéralogique : Réactivité granulat/émulsion affecte la rupture de l'émulsion et l'adhésivité passive



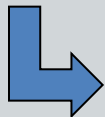
Choix des constituants

- Emulsion de bitume
 - Formulation résulte d'un compromis viscosité/% liant, rupture/stabilité et consistance/fluxant
 - Emulsion cationique à rupture lente, avec une teneur en liant de 60 à 65%
 - Selon le trafic visé : grade de bitume différent et accessoirement utilisation de fluxant
 - Plus d'informations sur les émulsions : EN 13808 et avant propos NF EN 13808



Formulation en laboratoire

- Elaboration de la formule : rhéologie, montée en cohésion, qualité d'enrobage (Expérience du formulateur)
- Courbe granulométrique d'une grave émulsion
 - Passant cumulé à 2mm : 30 à 50%
 - Granulométrie : 0/10 (5-10cm), 0/14 (6-12cm), 0/20 (8-15cm)
- Teneur eau totale : 7 %ext
- Teneur liant : 3,5 à 4,3 %int moy



Evaluation de l'enrobage
et la consistance



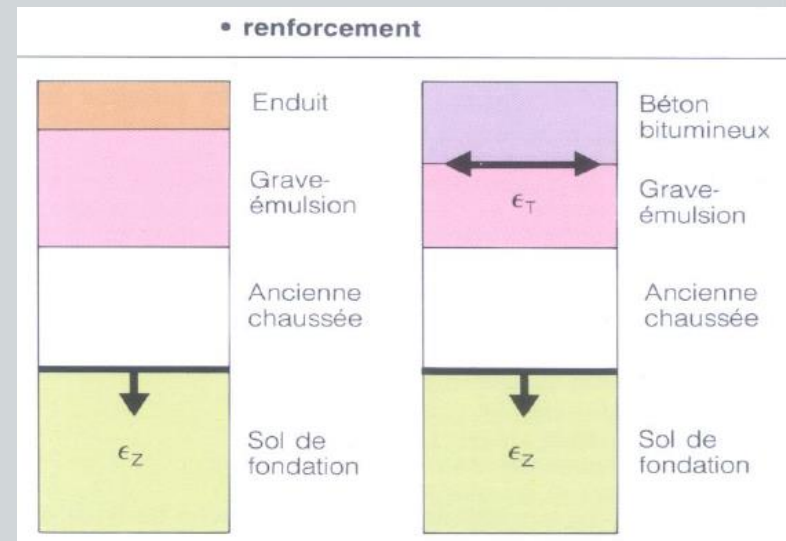
Formulation en laboratoire

- Elaboration de la formule : rhéologie, montée en cohésion, qualité d'enrobage (Expérience du formateur)
- Courbe granulométrique d'une grave émulsion
 - Passant cumulé à 2mm : 30 à 50%
 - Granulométrie : 0/10 (5-10cm), 0/14 (6-12cm), 0/20 (8-15cm)
- Choix de la teneur eau totale et teneur liant
- Agrégats : Adaptation de la teneur en liant et d'eau du mélange et formulation d'émulsion spécifique
- Qualification sur les performances du mélange [frais
et muri



Formulation en laboratoire

- Performances d'une grave émulsion
 - Tenue à l'eau (Duriez) $\geq 0,55$
 - Module à 15°C-10Hz ≥ 1500 et 2500 MPa (selon classe GE S1 ou S2)
- Dimensionnement
 - Pas de critère de fissuration
 - Lié à la déformation verticale du sol support
 - Outils disponibles
 - Guide technique SETRA (1994)
 - Calcul logiciel Alize



Fabrication et mise en œuvre

- Fabrication en centrale ou en place
 - Utilisation générale d'émulsion « chauffée » de 20 et 60°C
 - Homogénéité des constituants et respect de la formule
 - Adaptations en fonction de la saison (viscosité)
 - Malaxeur à froid incliné à double arbres horizontaux
- Matériels de mise en œuvre
 - Finisseur/Niveleuse et compacteurs avec forte énergie (pneu et vibrant)
 - Arrêt temporaire du compactage pour séchage



Chantiers expérimentaux



- **4 sections** (renforcement avec couche de GE de 12 cm) réalisées (entre 2006 et 2012) et suivies avec différents paramètres (constituants, pratiques locales, conditions climatiques)

↳ Comportement mécanique des matériaux et des structures

- Objectifs de l'étude :
 - Evaluation de la couche de GE par FWD
 - Performances des matériaux (module, ...)
 - Collecter des données des capteurs implantés dans la couche et autour du chantier pour des analyses ultérieures

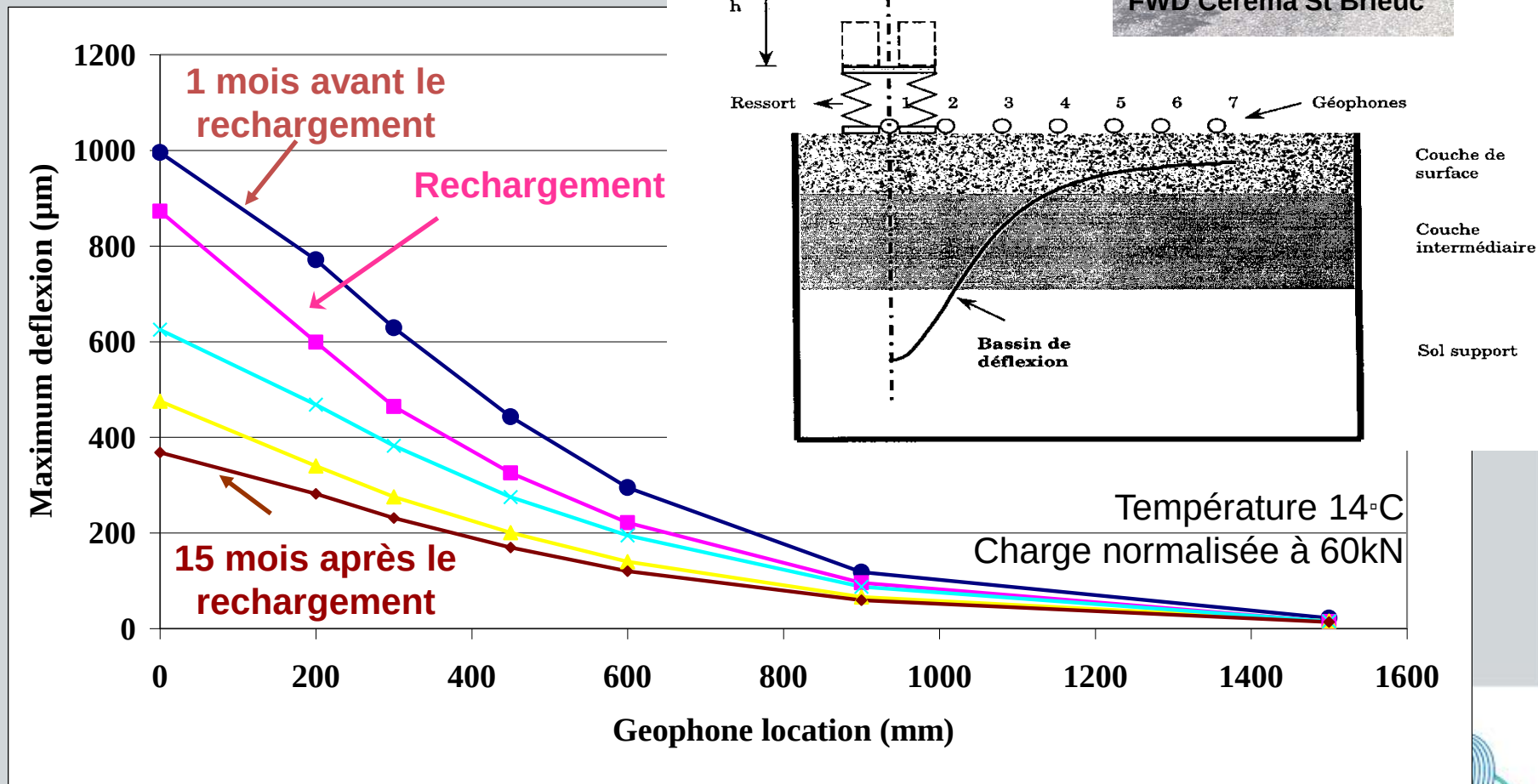


(Collaboration avec CEREMA, collectivités, Routes de France)



Chantiers expérimentaux

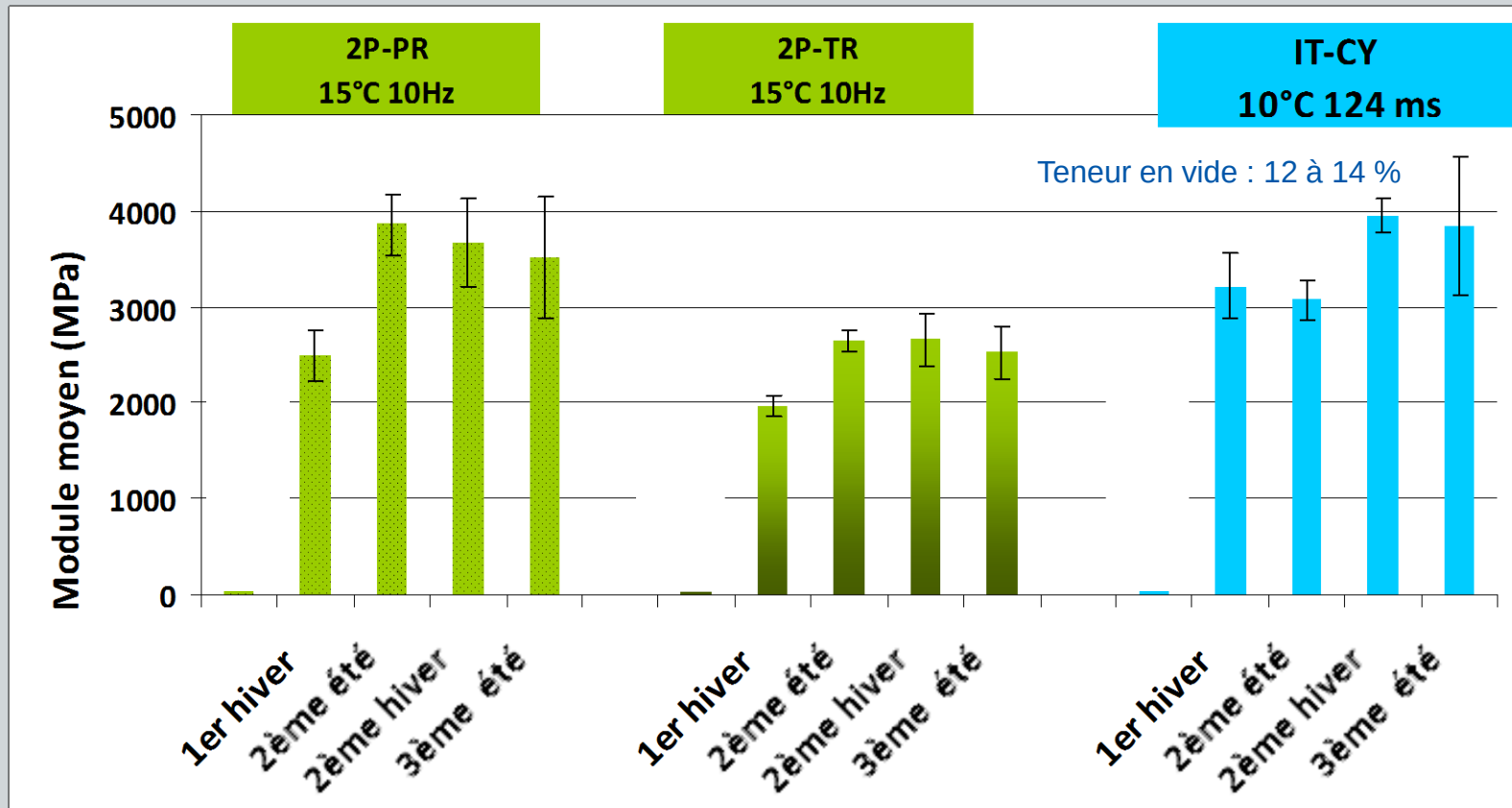
Mesures de déflexion par FWD



Deflections diminuent après le rechargement et la couche se rigidifie
(possible d'estimer le module complexe par calcul inverse)

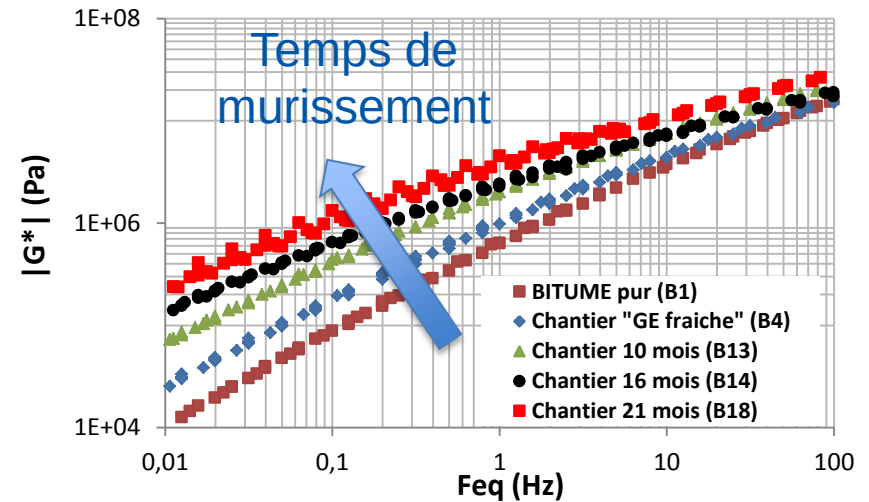
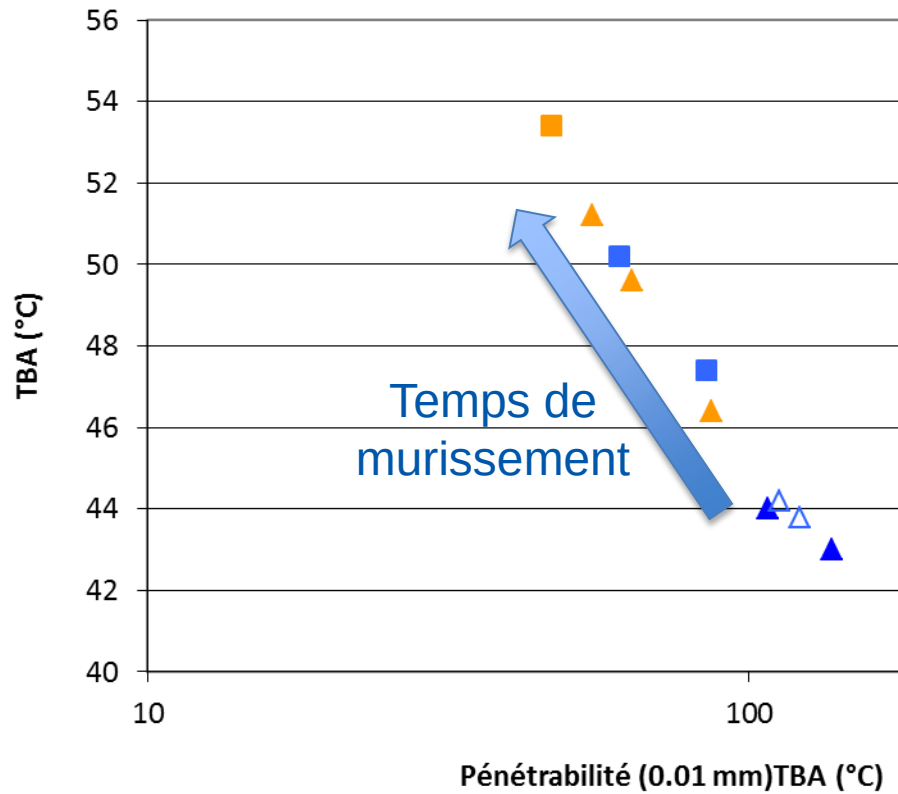
Chantiers expérimentaux

- Evolution du module in situ par type d'essai de 10 à 30 mois



Chantiers expérimentaux

- Evolution des caractéristiques du liant extrait

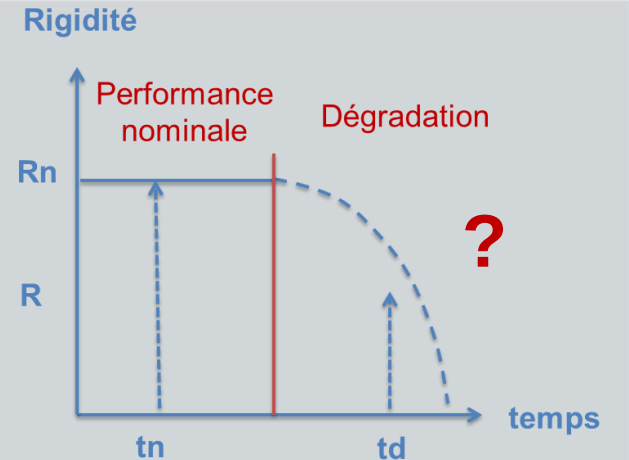


Rigidification du liant



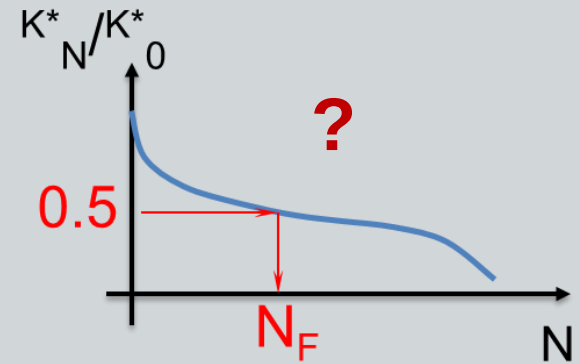
Chantiers expérimentaux

- Durabilité
 - 9 années après le rechargement, la section test n'est pas recouverte
 - Dégradation localisées en surface (fissures et reprises en rive)
 - Pas de déformation permanente
 - Compte tenu de la résistance en fatigue ($\epsilon_6 \sim 45 \cdot 10^{-6}$), la chaussée devrait être en danger ! ce qui n'est pas de cas ...



Chantiers expérimentaux

- Durabilité – Dimensionnement
 - Le critère de fatigue doit être adapté pour les mélanges à l'émulsion (éprouvettes, chargement, ...)
 - Le suivi de chantiers doit être poursuivi
 - Besoin de (re)définir des mécanismes de ruine des mélanges à l'émulsion
 - Actuellement, le seul critère utilisé est la déformation verticale du sol support



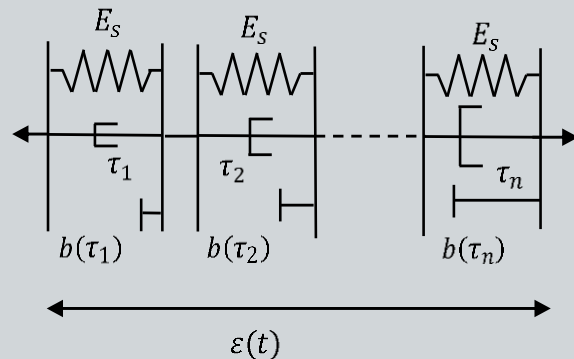
Actions de recherche en cours

- Développer une **loi de comportement évolutive** des enrobés à l'émulsion (état non traité vers enrobé)
- **L'intégrer pour déterminer le comportement des chaussées** avec GE structurante
- Dégager les **critères de durabilité** pour les GE et les **mécanismes de fin de vie**

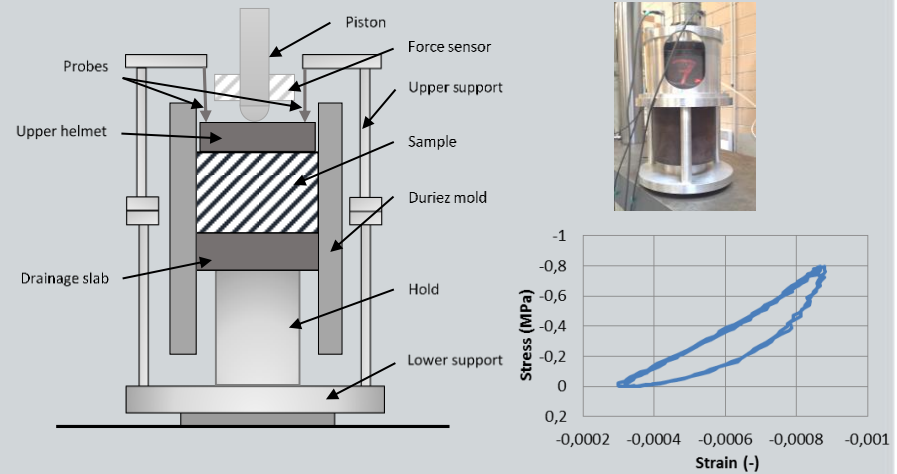


Actions de recherche en cours

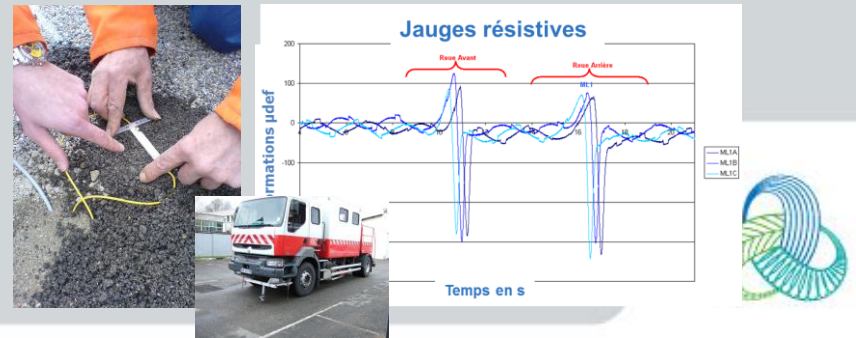
- Approche théorique
 - Modèle générique évolutif
 - Matériau granulaire non lié (comportement élasticité non linéaire - Boyce)
 - Matériau bitumineux lié (comportement thermo-viscoélastique - Huet)
 - Variable de mûrissement



- Approche expérimentale
 - Laboratoire (essai œdométrique)



- Chantier instrumenté



Conclusions



- **Techniques** de choix pour le **reprofilage** et le **rechargement**
- Utilisation sous **trafic faible à moyen**
- Produit routier à **fort potentiel environnemental**
- **Incorporation d'agrégats** d'enrobés **jusqu'à 100%**
- Nécessité une **maitrise des constituants** et de la **formulation de l'émulsion** et du **mélange**
- Après quelques années, les **sections test** présentent de **bons retours**
- Des **guides techniques** et des **articles scientifiques** ont été publiés **pour aider** à faire le premier pas



Remerciements

- IFSTTAR : J. Balay, S. Bouron, O. Burban, S. Buisson, E. Chailleux, F. Hammoum, JL Geffard, P. Hornych, C. Petiteau, J-M. Piau, C. de La Roche, N. Vignard
- CEREMA : D Guedon, JC Fabre, S Goyer, L. Odie, L Wendling
- Gestionnaire : « Conseils Généraux » 31, 35 et 43
- Routes de France A. Beghin, X. Carbonneau, F. Delfosse, V. Ferber, (ex USIRF) C. Leroy, J-P. Serfass, J-P. Triquigneaux,



Merci pour votre attention !

IFSTTAR

Département Matériaux et structures

Laboratoire Matériaux pour Infrastructures de transport

vincent.gaudefroy@ifsttar.fr

www.ifsttar.fr

