# Effets du vieillissement sur le comportement des liants et des enrobés
# Résultats du projet MOVEDVDC

Pierre Hornych
Département MAST
Université Gustave Eiffel

PN MURE - ANR IMPROVMURE

# Objectifs du projet MOVEDVDC

**Projet lié aux problématiques de préservation du patrimoine routier - en lien avec le PN DVDC**

**Enjeux** : Mieux évaluer les **performance mécaniques** et la **durée de vie résiduelle** des matériaux bitumineux anciens, présents dans les chaussées en service, afin de mieux évaluer la durée de vie résiduelle de ces chaussées, et les besoins d'entretien…

**Idées directrices :**

- Se limiter aux **matériaux d'assise**, qui déterminent en grande partie la résistance structurelle des chaussée, et leur durée de vie
- S'intéresser à la fois aux mécanismes de **vieillissement** et **d'endommagement mécanique**
- Mener les études à la fois : à l'échelle des **liants** et des **enrobés**

  Sur des matériaux **prélevés in situ** et **vieillis en labo**

# Consortium

**4 partenaires académiques** :

- **Univ Gustave Eiffel** (LAMES et MIT) , **GC2D (Egletons) ESTP, INSA Strasbourg**

**4 partenaires entreprises** :

- **Total Energies, Eurovia, Eiffage, Malet**

**3 thèses réalisées dans le projet**

**MOVEDVDC s'inscrit dans le PN DVDC – 3 Thématiques :**

- Mécanismes de dégradation des chaussées
- Caractérisation de l'état du réseau (auscultation)
- Evaluation de la durée de vie résiduelle

Intégration dans DVDC de prolongements du projet MURE :

- Exploitation des essais de laboratoire
- Suivi des chantiers piloté par le CEREMA

# Programme expérimental

**Liant pur**
AZALT 35/50

**Liant modifié**
STYRELF 13/40

**Diorite**
LA NOUBLEAU

**Calcaire**

| | | |
|---|---|---|
| 1 | **2 BITUMES VIEILLIS EN LABORATOIRE** | 3 niveaux de vieillissement: RTFOT, PAV, 2 PAV |
| 2 | **4 ENROBÉS VIEILLIS FOISONNÉS EN LABORATOIRE** | 5 Niveaux de vieillisement (procédure RILEM) |
| 3 | **4 CHAUSSÉES EN SERVICE VIEILLIES (Couche d'assise circulée et non circulée)** | Effet du **climat**, **du trafic** et de la **profondeur** |

Essais sur liants extraits :
**Péné, TBA, SARA, ACD, FTIR, Metravib, DSR**

Essais sur enrobés:
**Module, fatigue, sensibilité à l'eau, fissuration à froid (TSRST)**
**Auscultation non destructive**

# Sites de prélèvement de matériaux

**4 sites choisis pour les prélèvements**

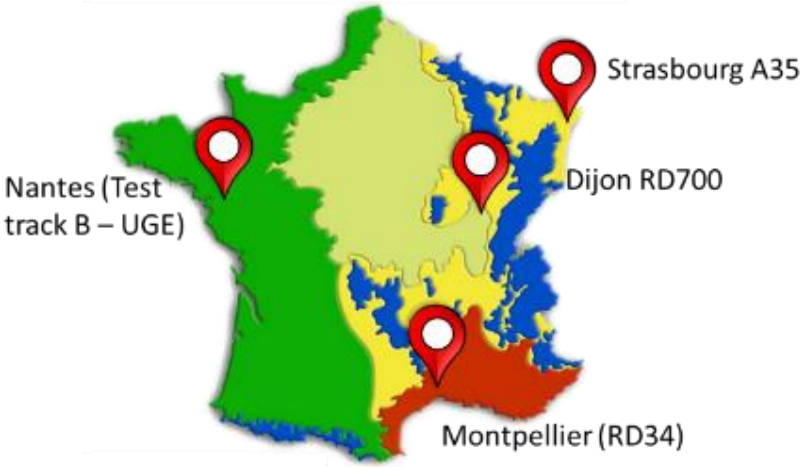
Chaussées bitumineuses à moyen et fort trafic

âge ≈ 20 ans – structure en GB3

Endommagement faible à moyen - Prélèvement de plaques et carottes **en zone circulée et non circulée**

Caractérisation des dégradations

Plaques prélevées sur A35 près de Strasbourg

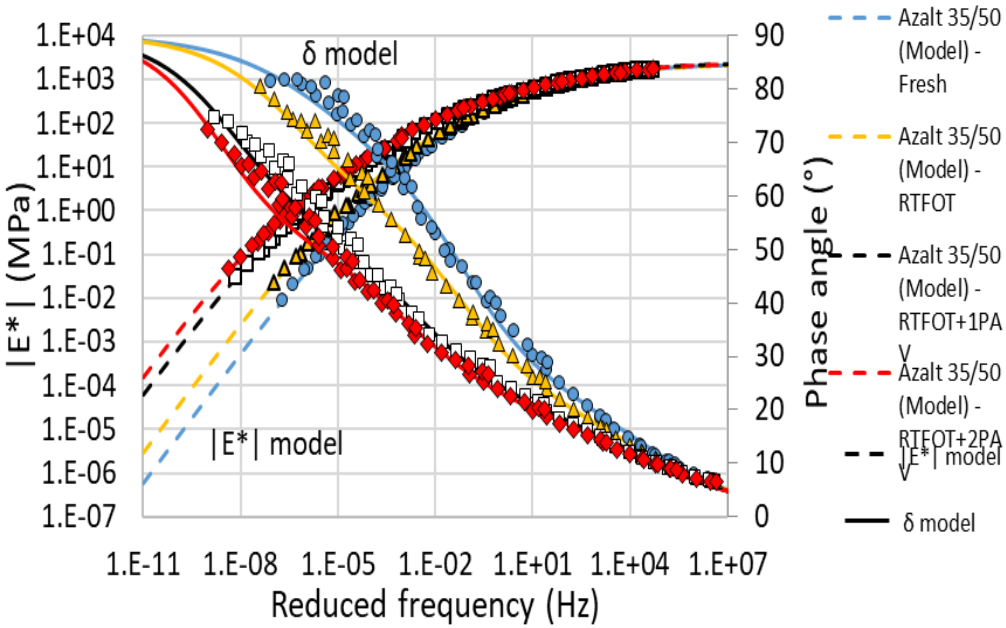



Prélèvement de matériaux RD14 près de Montpellier

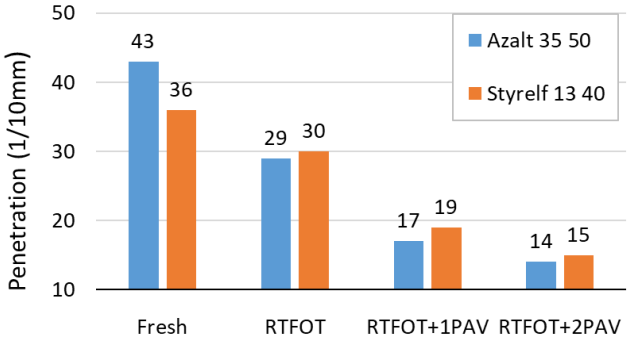
# Etude du vieillissement des liants

- **Evolution des paramètres rhéologiques et physico-chimiques avec le vieillissement** (après essais RTFOT, 1 PAV et 2 PAV)

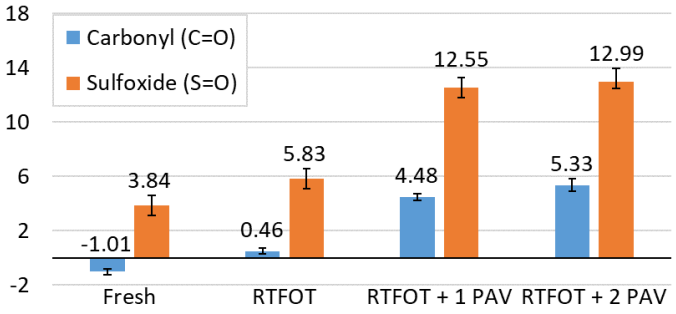
Norme du module et angle de phase




Pénétrabilité




Oxydation - indices carbonyle et sulfoxyde



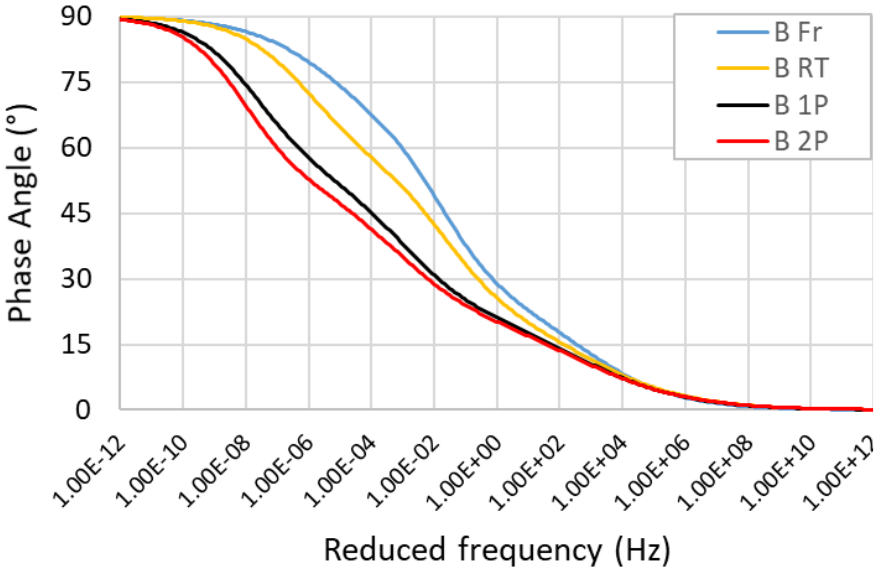

Angle de phase très sensible au vieillissement

# Etude du vieillissement des liants

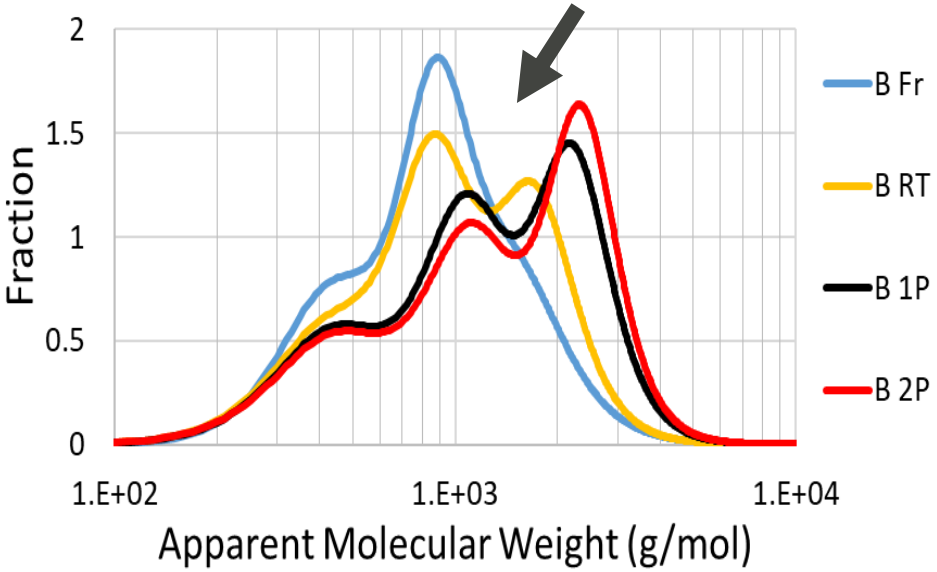
## Caractérisation par la Delta méthode (Zanzotto *et al.*, 1999 et Themeli *et al.*, 2015)

**Estimation de la distribution de masse moléculaire**

Courbe Angle de phase à 0°C




Nouvelle population à 2000 g/mol

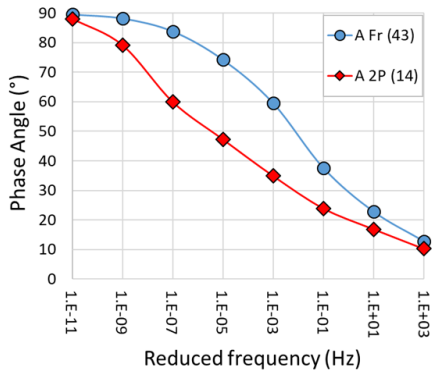


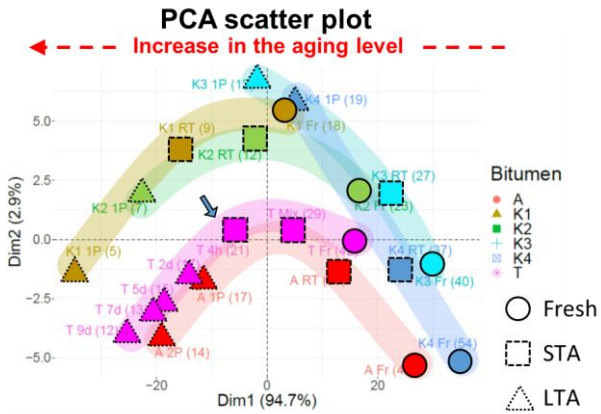

Vieillissement → Translation vers les masses volumiques plus élevés

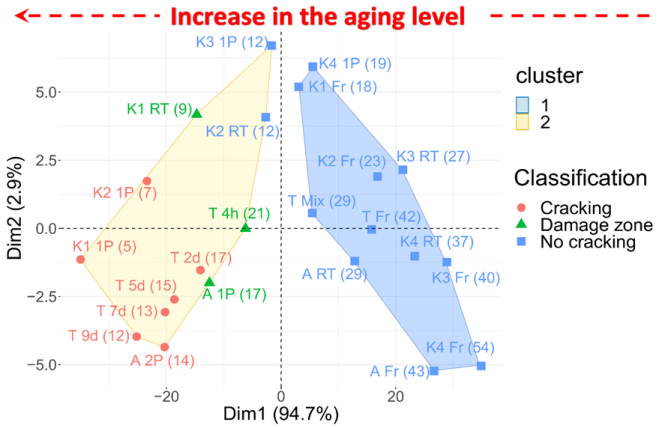
# Etude du vieillissement des liants

## ANALYSE STATISTIQUE MULTIVARIEE (SIROMA *et al.*, 2021)

8 well-distributed red. frequencies




Analyse en Composantes Principales (ACP)

Regroupement par Clustering Hiérarchique (CCH)

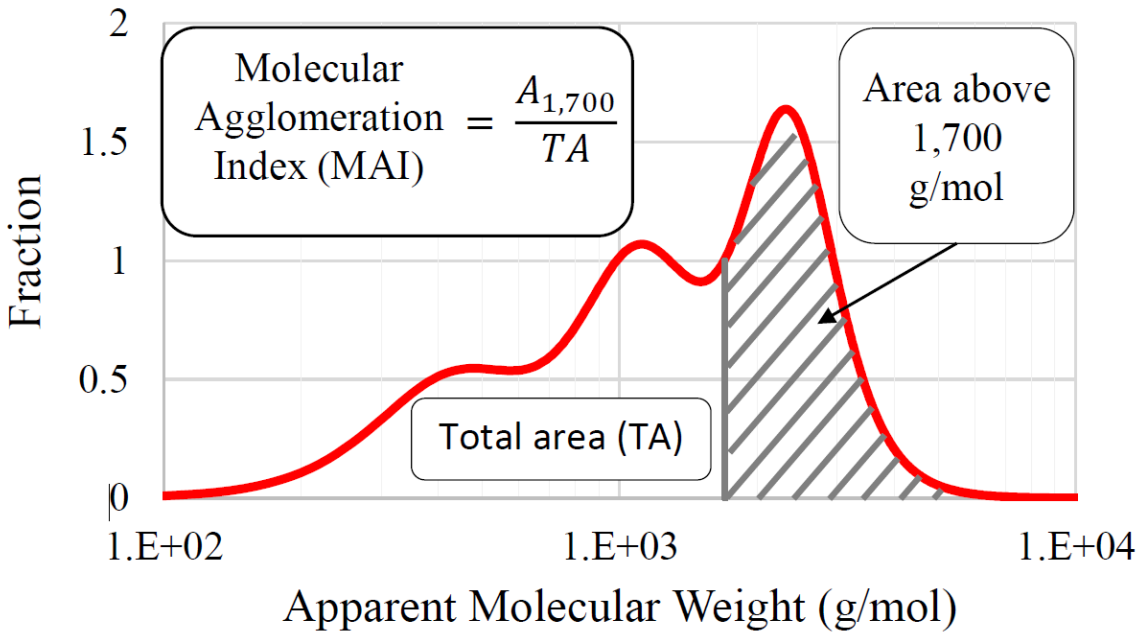
L'ACP a mis en évidence la fréquence réduite = **5.7 x $10^{-6}$ Hz (à 0°C)**

La classification en Cluster correspond bien avec le paramètre de Glover-Rowe (GR)

# Etude du vieillissement des liants

## RELATION ENTRE LA DELTA METHODE ET L'ANALYSE STATISTIQUE MULTIVARIEE (SIROMA *et al.*, 2021)

- La fréquence réduite de 5,7 x $10^{-6}$ Hz (à 0°C) correspond à **1.700 g/mol** avec les équations proposées par la **Delta méthode**
- **Molecular Agglomeration Index (MAI)** : indice proposé pour **caractériser l'agglomération des asphaltènes** dans le bitume



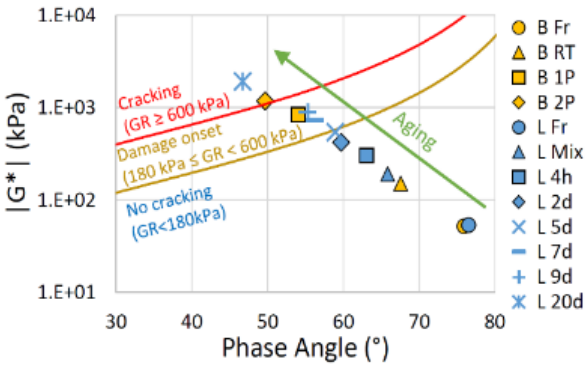
# Etude du vieillissement des liants

## Définition de plusieurs indicateurs du niveau de vieillissement des liants

### METHODE GLOVER-ROWE (G-R)

$$GR = \frac{G^*(\cos\delta)^2}{\sin\delta}$$

- G* défini à 15°C et 0,005 rad/sec
- G-R augment avec le vieillissement

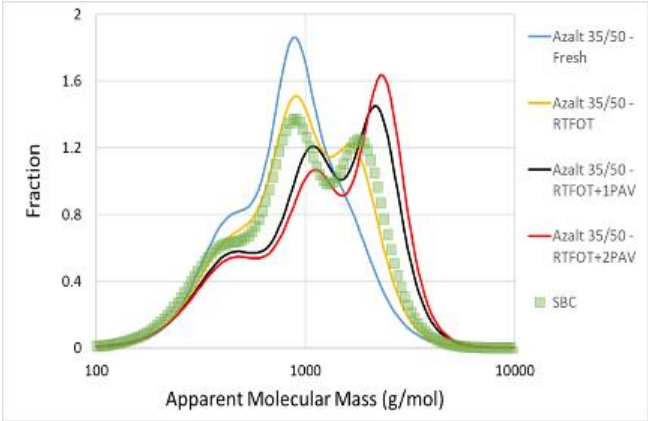



Définition d'un risque de fissuration (fragilité) du liant

### DELTA METHODE

$$f(MW) = \Delta cumf(MW)/\Delta logMW$$

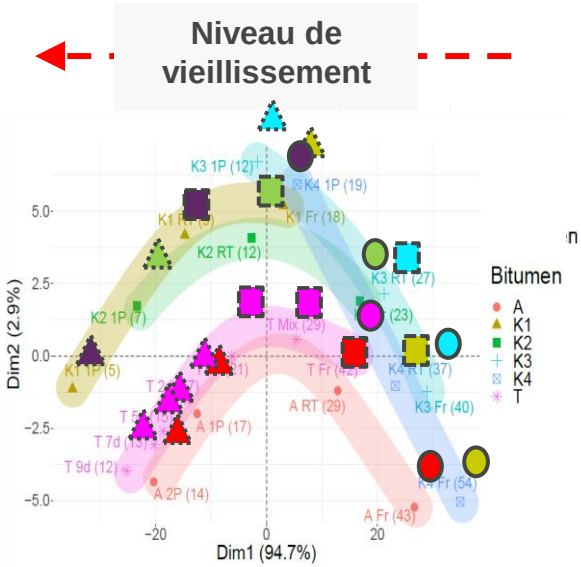
Estimation de la distribution de **masse moléculaire apparente** à partir des données rhéologiques et calcul du **MAI**




**Evolution** vers les masses moléculaires plus élevées (asphaltènes)

### Analyse en composantes principales

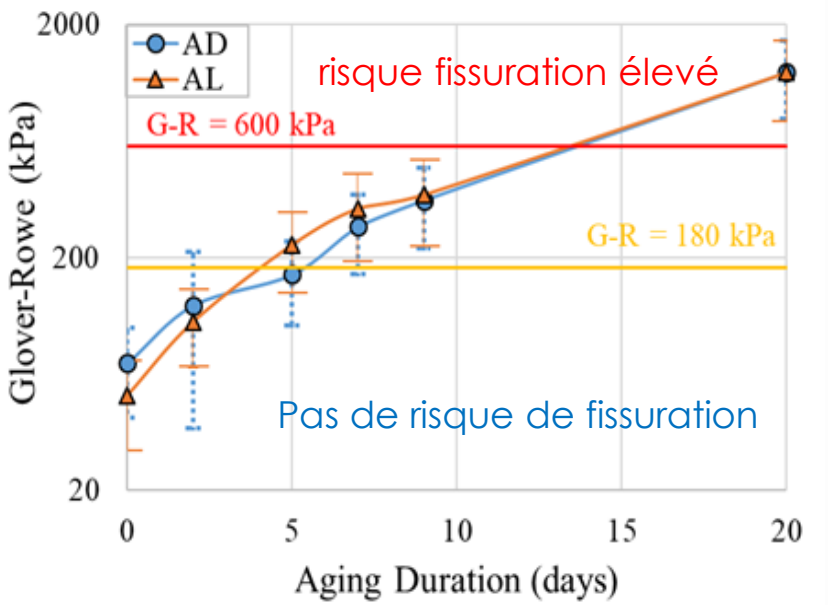
Valeurs d'angle de phase à différentes fréquences

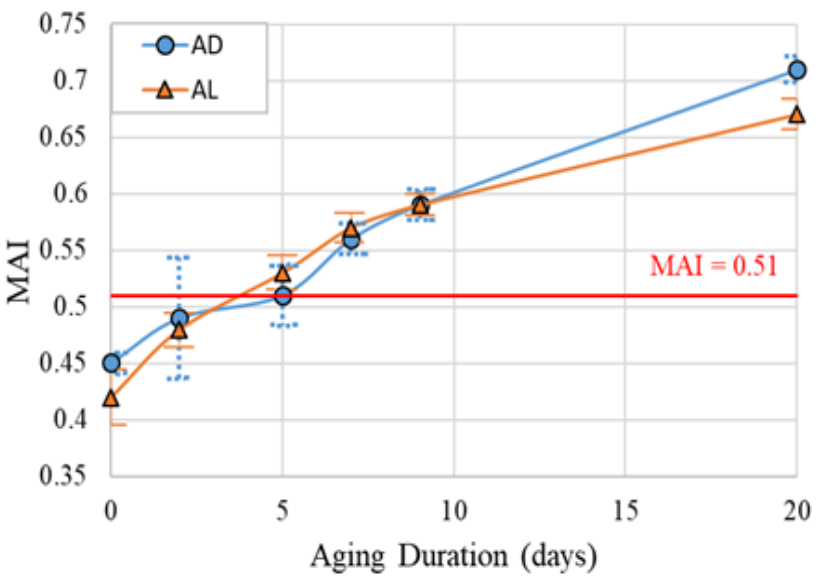



Inflexion dans l'évolution de l'angle de phase avec le vieillissement

# Évolution des paramètres Glower-Rowe et MAI

- L'évolution des paramètres G-R et MAI est similaire (MAI varie moins par rapport G-R)
- Valeur seuil possible de l'indice MAI = 0,51 (correspond avec la zone de danger du paramètre G-R)
- Les 2 paramètres semblent bien décrire la sensibilité à la fissuration des liants / des enrobés

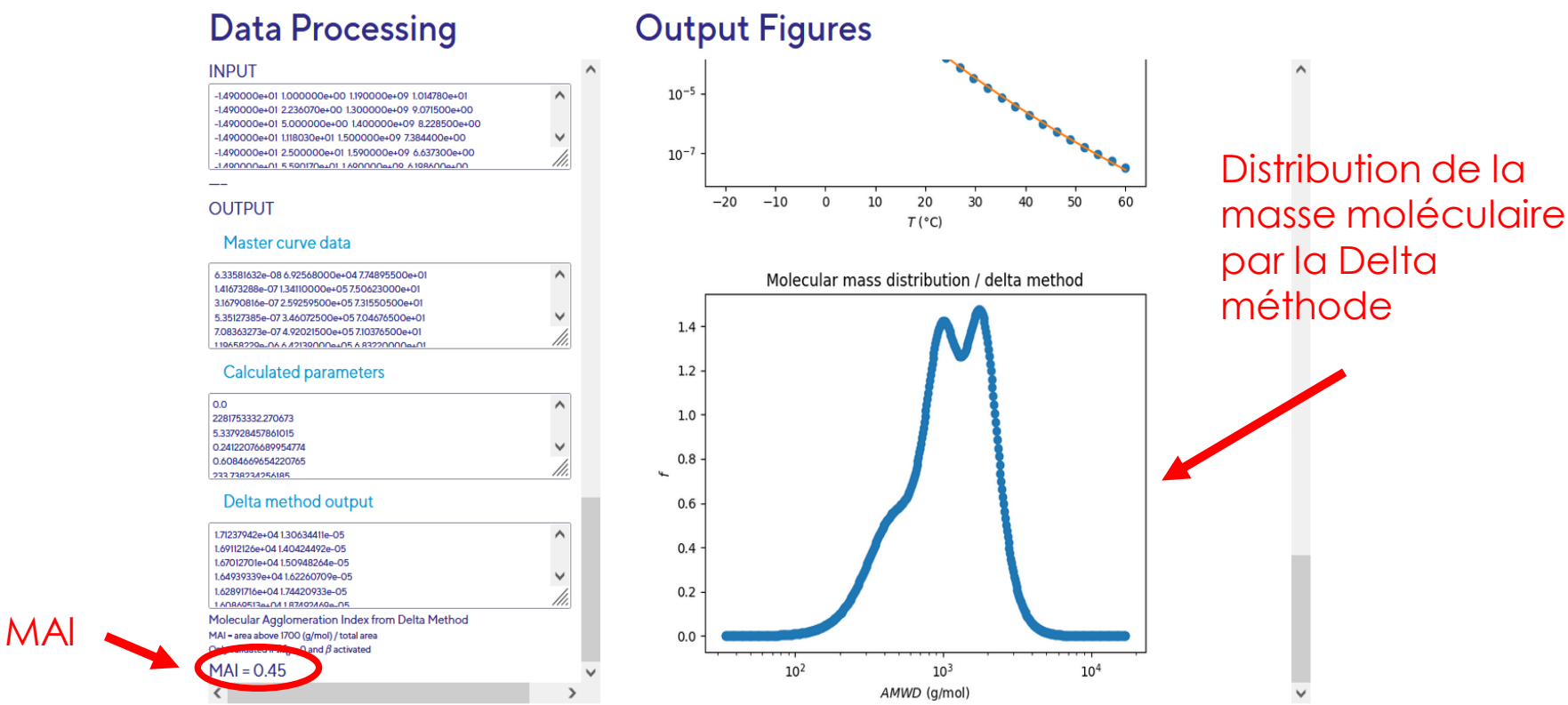


# Logiciel Viscoanalyse

- La Delta méthode ainsi que le MAI peuvent être déterminées avec le logiciel Viscoanalyse :

  **https://viscoanalyse-database.ifsttar.fr/**





© 2021 Chailleux production

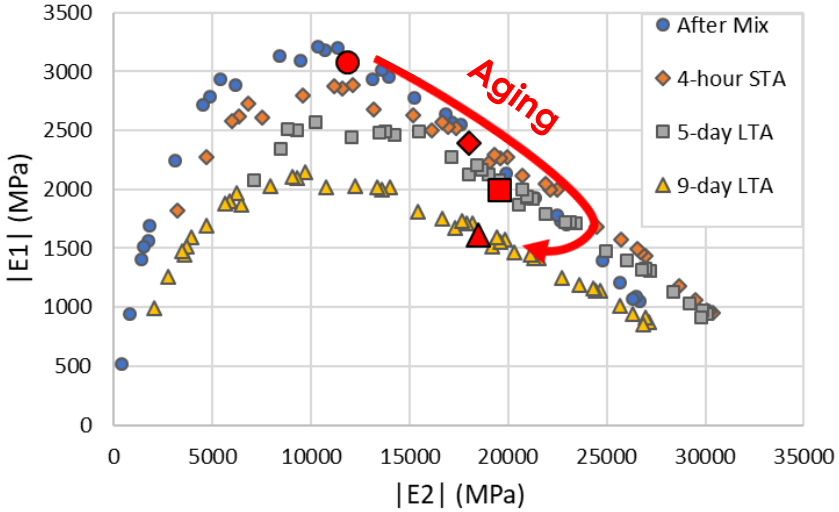
# Etude du viellissement des enrobés

- **Enrobés vieillis en Laboratoire** : Procédure de vieillissement RILEM
- **Enrobés prélevés sur 4 sites** (en zone circulée et non circulée)

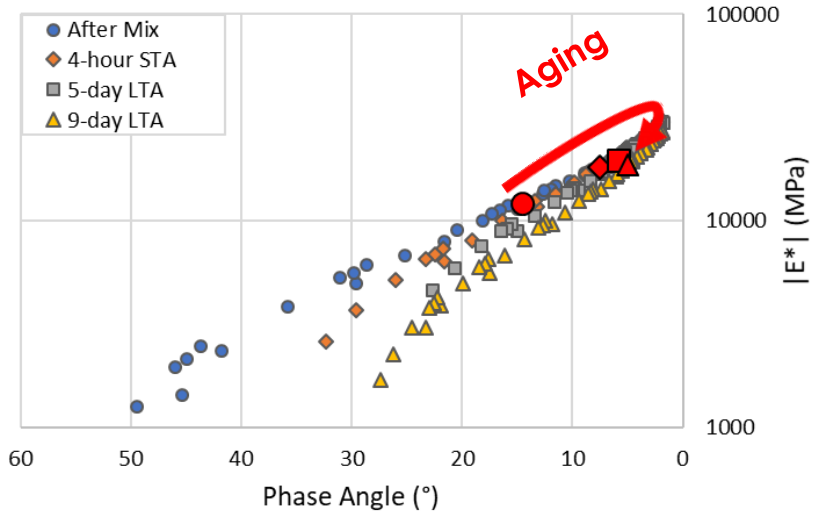
GB3 bitume pur vieillie en labo

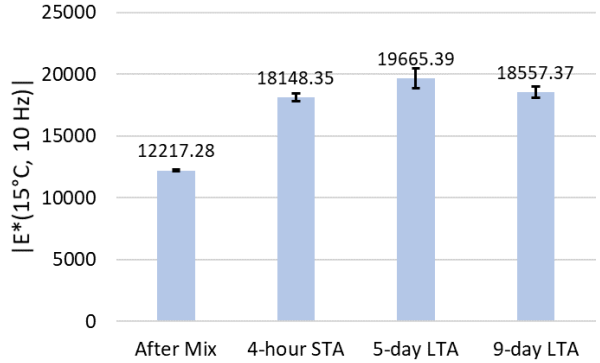
Symboles en rouge
|E* 15°C, 10 Hz|

Module complexe




Angle de phase




Avec le vieillissement :

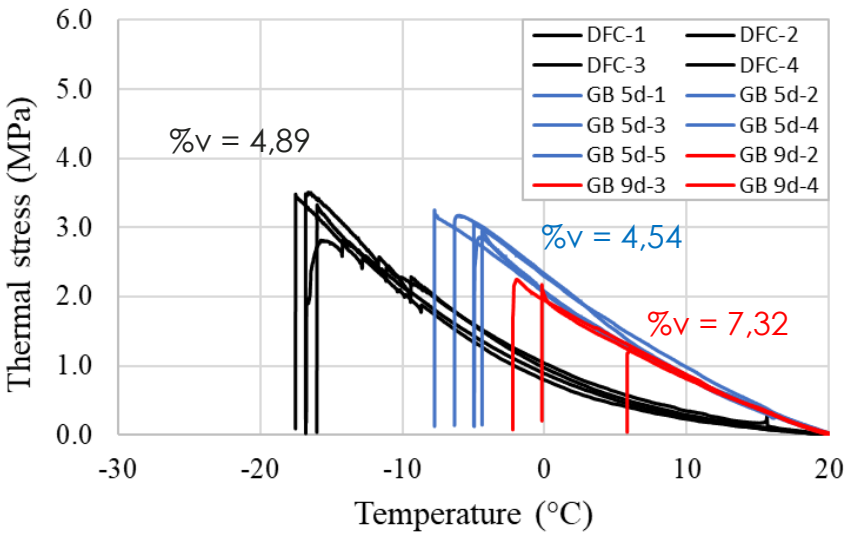
- Le Module augmente (jusqu'à 5 jours de vieillissement)
- L'angle de phase diminue toujours

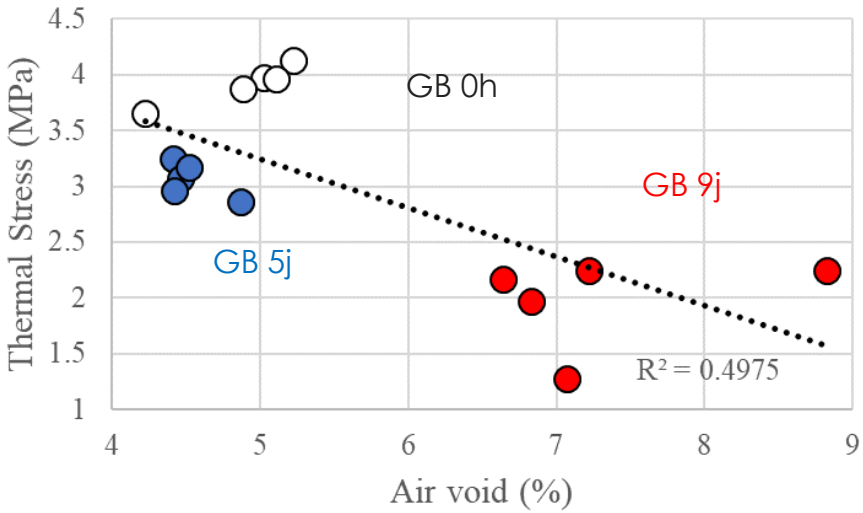
# Etude du vieillissement des enrobés
# Essais de retrait thermique empêché (TSRST)

GB3 bitume pur vieillie en labo

Essai Retrait thermique empêché (TSRST)

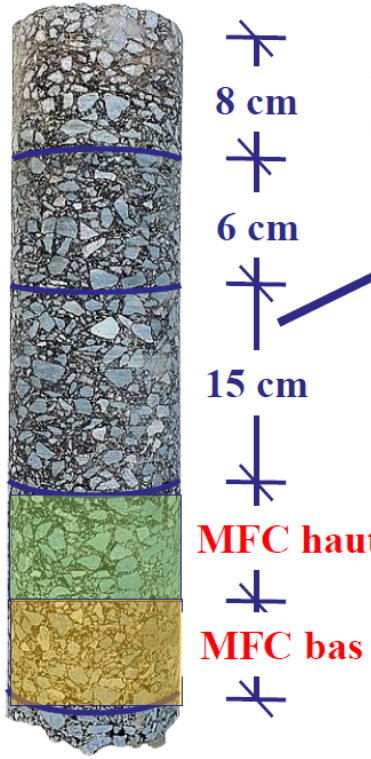
- La température de rupture augmente avec le vieillissement
- Les pentes des courbes GB 5j et 9j sont similaires
- Teneur en vide plus élevée de la GB 9j

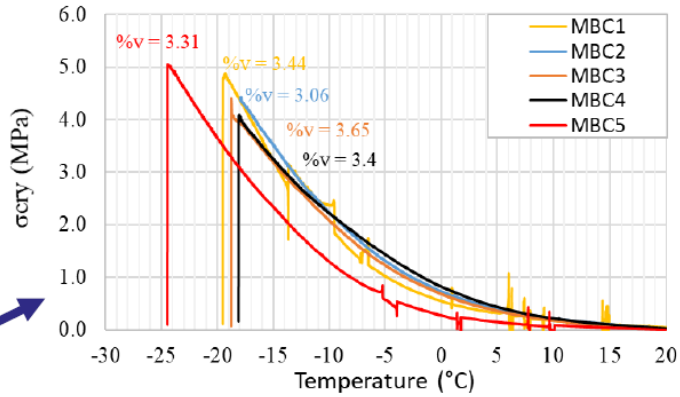


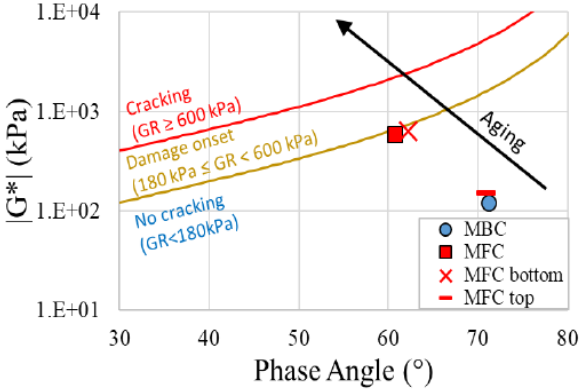



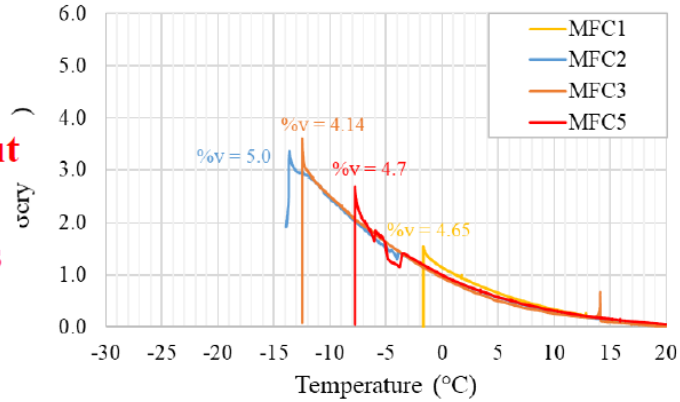
# Etude du vieillissement des enrobés
# Essais TSRST

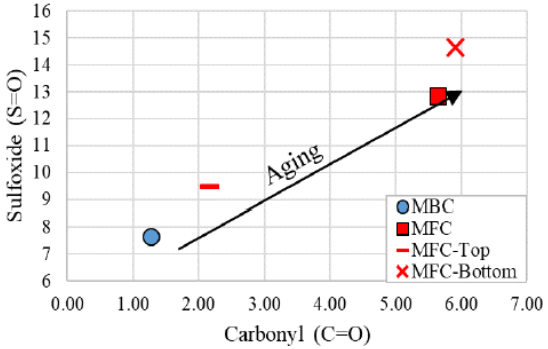
GB3 bitume pur prélevée sur le manège de fatigue (20 ans)



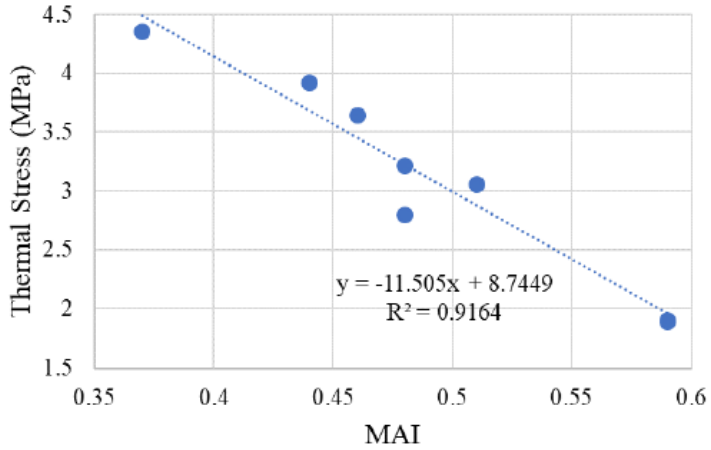



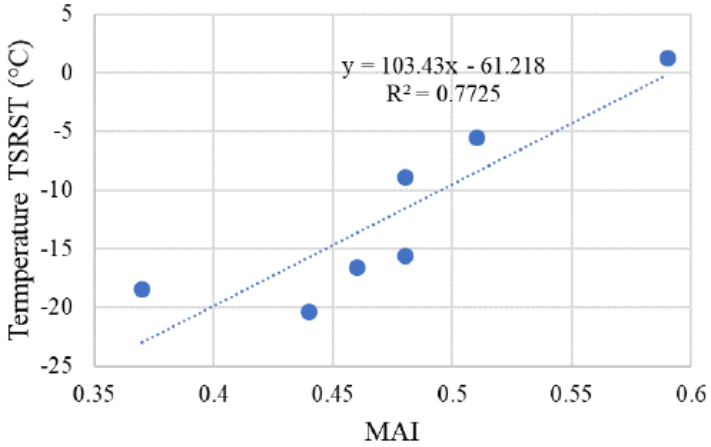

- Bonne relation entre performances TSRST et indicateurs de vieillissement du liant
- Couche de fondation beaucoup plus vieillie que la couche de base (avec la même GB3)

# Etude du vieillissement des enrobés – essais TSRST

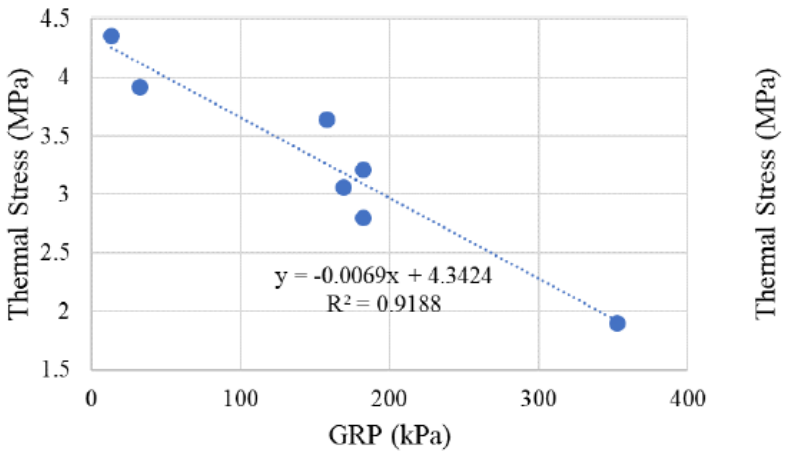
## Corrélation essai TSRST – Indicateurs de vieillissement

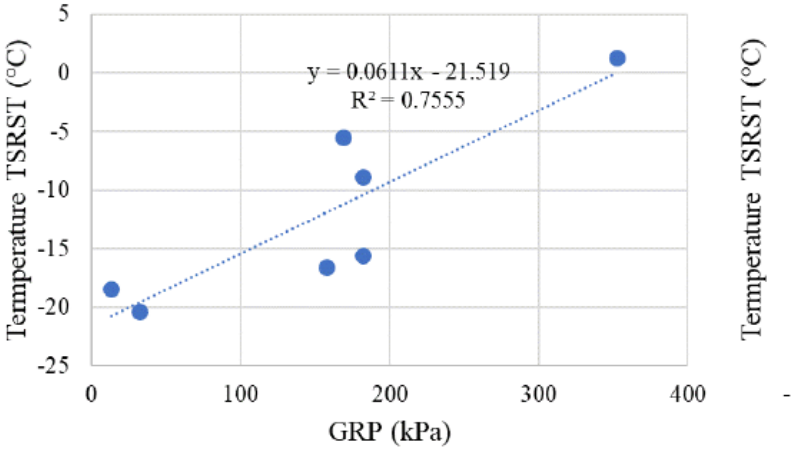
### Indice MAI



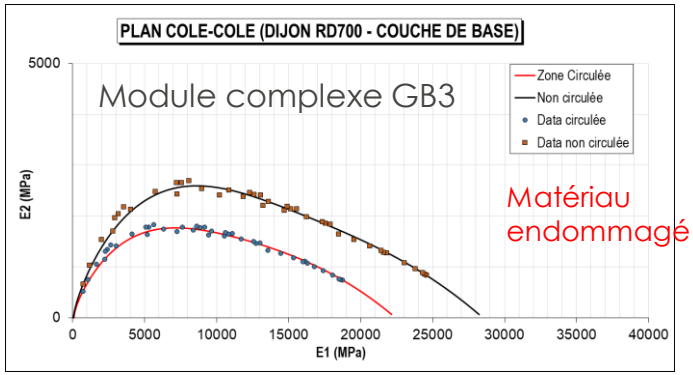

### Paramètre Glower Rowe

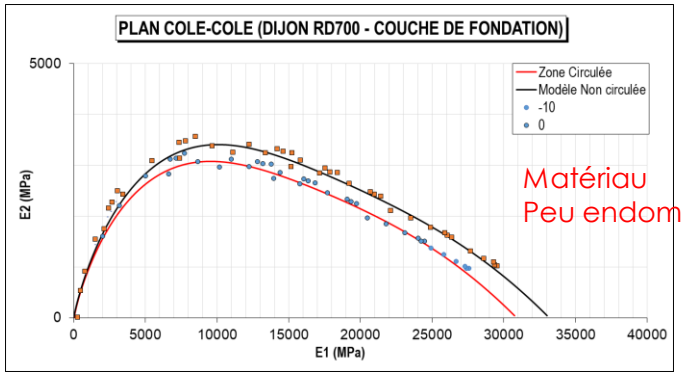


# Etude des enrobés – Module complexe

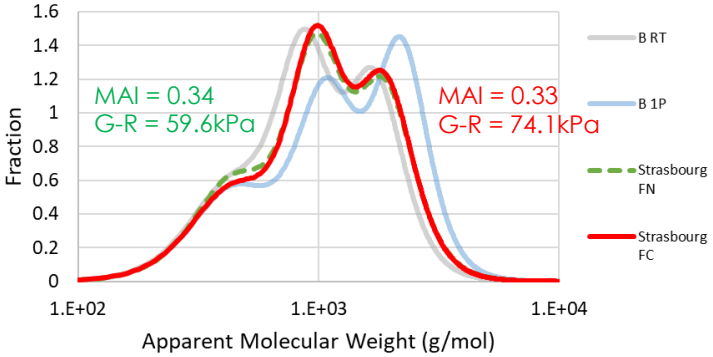
## GB3 site Dijon (19 ans)



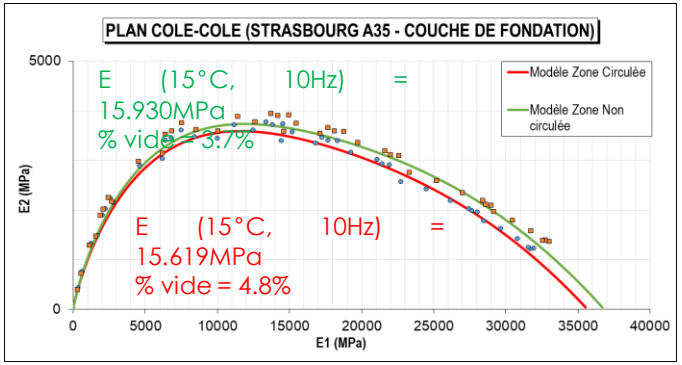

## GB3 site de Strasbourg (19 ans)

Masse moléculaire liant




Liant faiblement vielli

Module complexe GB3




Matériau Peu endommagé

- La comparaison entre modules en zone circulée et non circulée permet d'estimer l'endommagement
- L'analyse du liant extrait permet d'estimer le vieillissement

# Principaux résultats du projet après 3 ans

**Etude des liants**

- Choix de méthodes de vieillissement en labo sur liant seul (RTFOT, PAV) et enrobé (RILEM)
- Meilleure compréhension des cinétiques de vieillissement des liants
- Vieillissement in situ situé entre les niveaux RTFOT et RTFOT + PAV pour les chaussées étudiées
- Plusieurs critères proposés pour estimer le niveau de vieillissement

  Delta-méthode + indice MAI

  Paramètre de Glover Rowe
- Nouvelle version du logiciel Viscoanalyse incluant le calcul de la Delta-méthode et de l'indice MAI

**Très importante base de donnée** de comportement de liants et d'enrobés avec différents niveaux de vieillissement

# Principaux résultats du projet après 3 ans

**Etude des enrobés**

- Meilleure compréhension de l'évolution des propriétés mécaniques avec le vieillissement (module, fatigue, TSRST)
- Approche pour distinguer vieillissement et endommagement (comparaison matériaux circulés / non circulés).
- Bonne aptitude de l'essai TSRST à évaluer la fragilité des enrobés après vieillissement.
- Bonnes relations entre niveau de vieillissement du liant – propriétés mécaniques de l'enrobé (TSRST, module).
- L'analyse des essais de fatigue reste à faire - utilisation des émissions acoustiques couplées à des essais de fatigue, pour mieux analyser l'endommagement.

**Développement d'un modèle pour les enrobés** permettant de prendre en compte vieillissement et fatigue.

**Objectif final :** Proposition de recommandations -

Méthodologie d'évaluation du vieillissement des liants et enrobés

# Merci pour votre attention



PN MURE - ANR IMPROVMURE