

**Projet ANR MOVEDVDC
MOdélisation du Vieillissement et de
l'Endommagement pour l'évaluation de la
Durée de Vie Des Chaussées**

**Pierre Hornych, Univ Eiffel
Bertrand Pouteau, Eurovia**

Objectifs du projet MOVEDVDC

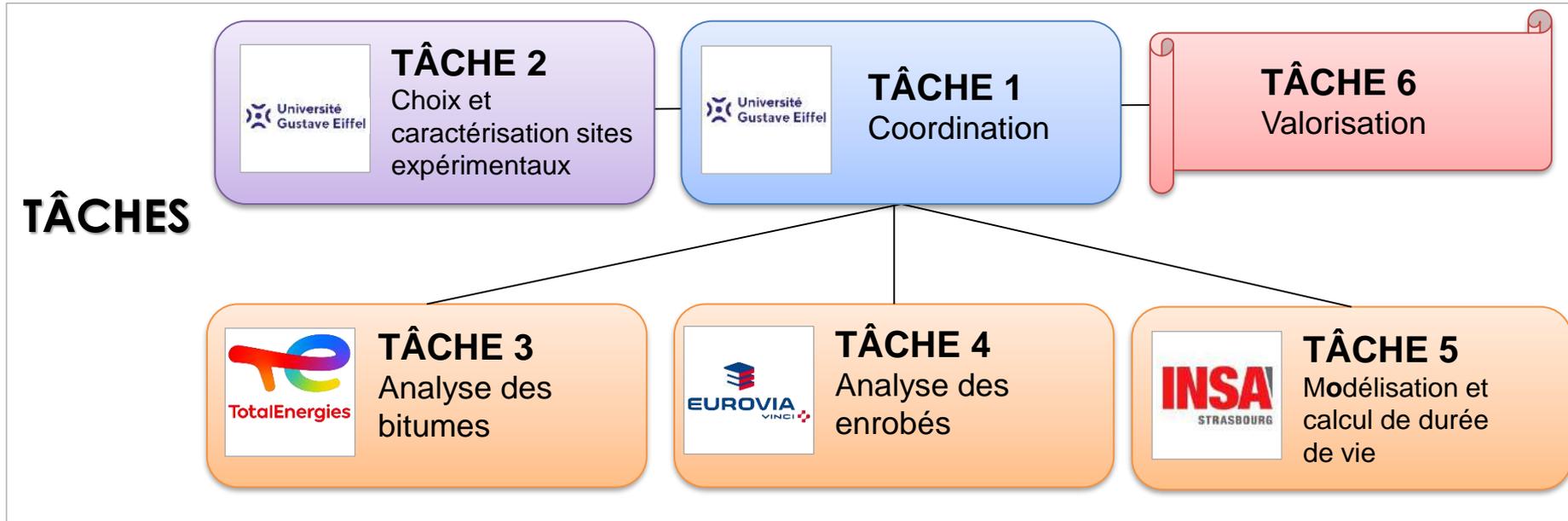
Projet lié aux problématiques de **préservation du patrimoine routier**
Associé au thème 1 du PN DVDC « mécanismes de dégradation des matériaux »

Enjeu : Mieux évaluer les **performances 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 chaussées et leur durée de vie
- S'intéresser à la fois aux mécanismes de **vieillessement** 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**

Partenariat / Organisation du projet



Sites de prélèvement de matériaux

4 sites choisis pour les prélèvements

Chaussées bitumineuses à moyen et fort trafic

âge ≈ 20 ans – structure en GB3

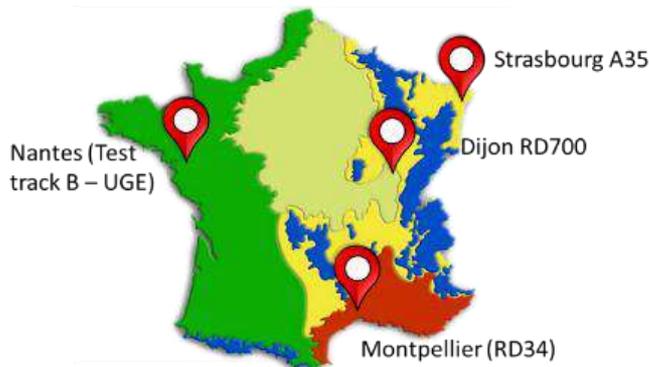
Endommagement faible à moyen - Prélèvement
de plaques et carottes **en zone circulée et non circulée**

Caractérisation des dégradations

Plaques prélevées sur A35 près de Strasbourg



Prélèvement de matériaux – RD14 près de Montpellier



Choix des sites en lien avec DVDC – Appel à manifestation d'intérêt

Programme expérimental

Liant pur
AZALT
35/50

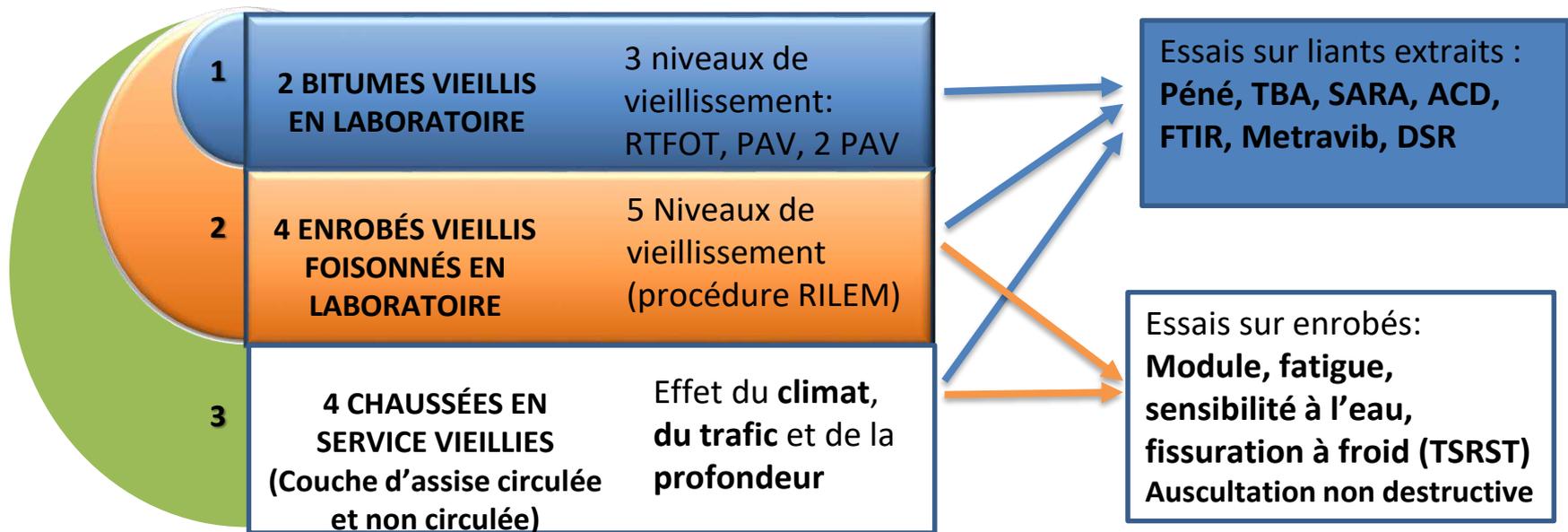


Liant modifié
STYRELF
13/40

Diorite
LA NOUBLEAU



Calcaire



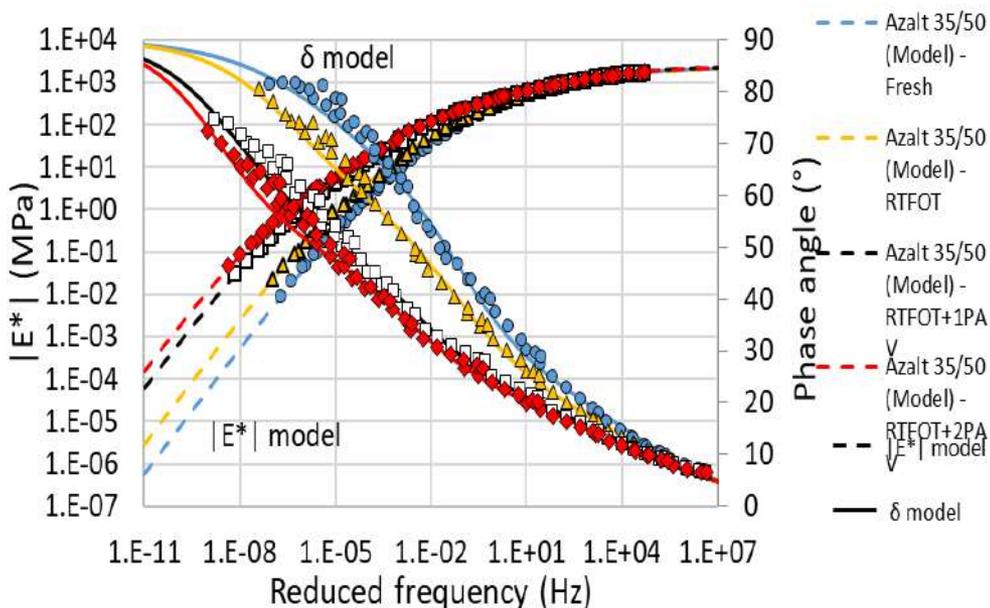
Tâche 3 - Etude de liants - Objectifs

- Etude de liants vieillis seuls et extraits d'enrobés vieillis
- Analyse de l'évolution des propriétés rhéologiques et physico-chimiques avec le vieillissement – proposition de modèles d'évolution des propriétés
- Meilleure compréhension du vieillissement in situ des couches d'assise
- Proposition de critères pratiques d'évaluation du niveau de vieillissement
- Etablissement de relations entre niveau de vieillissement des liants et performances mécaniques des enrobés

Tâche 3 – Etude des liants - Exemples de résultats

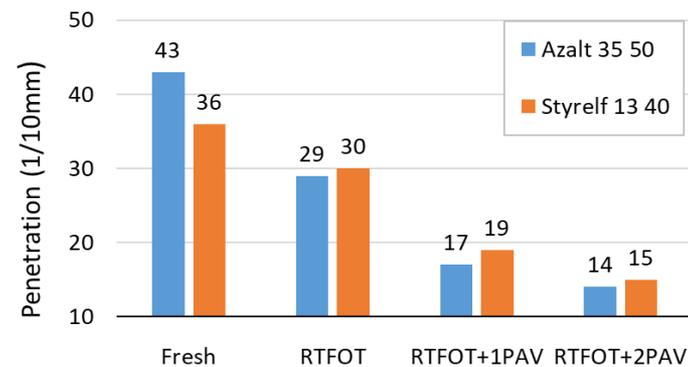
➤ Evolution des paramètres rhéologiques et physico-chimiques avec le vieillissement – bitume 35/50 vieilli en labo

Norme du module et angle de phase

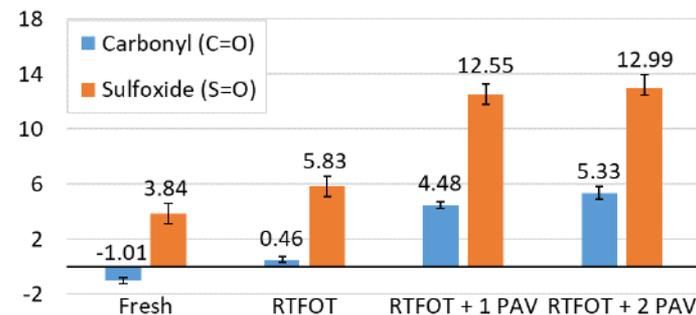


Angle de phase très sensible au vieillissement

Pénétrabilité



Indices carbonyle et sulfoxyde



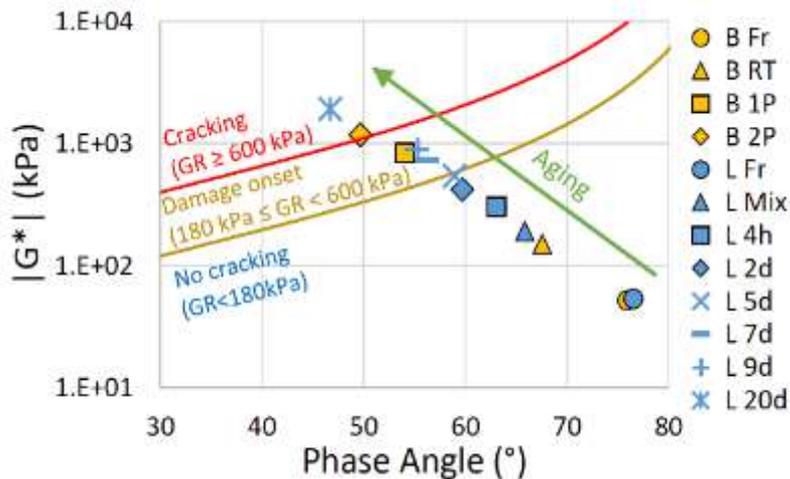
Tâche 3 – Etude des liants - Exemples de résultats

➤ Définition d'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 augmente avec le vieillissement

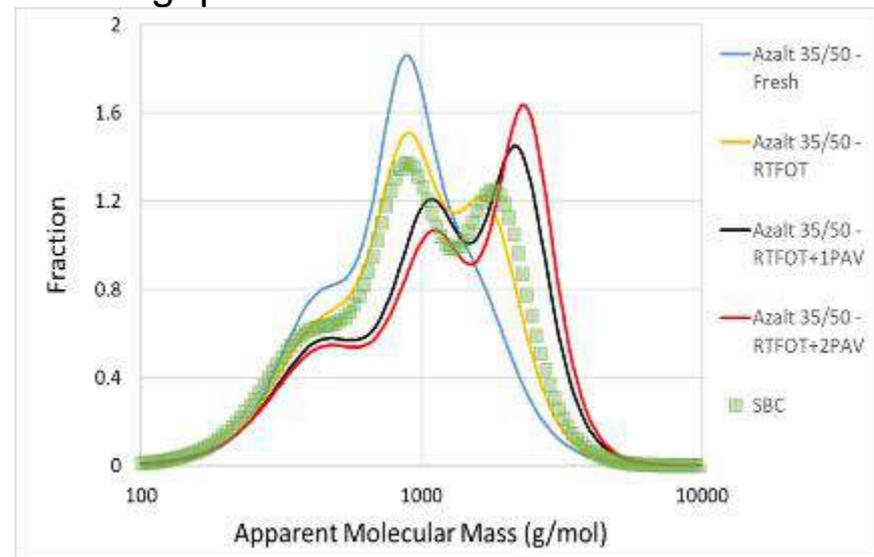


Définition d'un risque de fissuration (fragilité) du liant

DELTA METHODE

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

Estimation de la distribution de **masse moléculaire apparente** à partir des données rhéologiques



Evolution vers les masses moléculaires plus élevées (asphaltènes)

Tâche 4 – Etude des enrobés - Objectifs

- Recherches appliquées à des enrobés bitumineux
 - **prélevés in situ**
 - **fabriqués & vieilliss en laboratoire**
- Développement de méthodes d'évaluation des performances fonctionnelles résiduelles
 - **Aspect général, Répartition des vides**
 - **Module, Fatigue,**
 - **Tenue à l'eau, Résistance à la fissuration basse température**
- Evaluation de méthodes de caractérisation avancées pour la détection et la quantification des défauts présents dans les échantillons
 - **Contrôle non destructif : Ultrasons / Emissions acoustiques**
 - **Imprégnation résine**

Tâche 4 - Etude des enrobés – Exemples de résultats

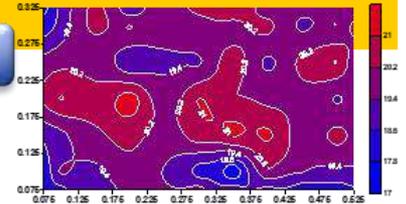
Modes opératoires expérimentaux

- Procédure de confection et d'usinage des éprouvettes depuis les prélèvements chantiers → **opérationnel**
- Essais de fatigue enrichis par émission acoustique → **indicateurs d'endommagement E.A. et méthode de détermination automatique des phases I II et III**
- Essais de tenue à l'eau enrichis par ultra sons → première approche non pertinente. Un nouveau mode opératoire sera à construire
- Essais de retrait thermique empêché enrichis par E.A. → première analyse prometteuse

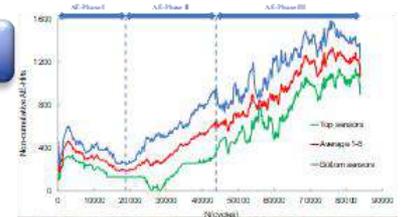
Résultats expérimentaux

- Programme d'essais complet reposant sur 6 partenaires
- Une base de données importante : 1000 + résultats élémentaires (Module, Fatigue, TSRST, Tenue à l'eau résiduelle ...)
- Essais de fatigue sur matériaux altérés (artificiellement / circulés / non circulés) → **nécessité de faire évoluer les méthodes d'essais**
- Synthèse documentaire des résultats → **En cours**
- Analyses de données et conclusions matériaux → **S2 2022**

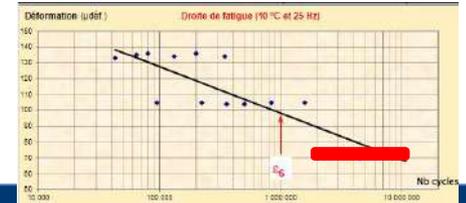
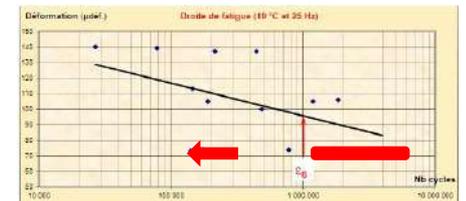
U.S. : E, G



Fatigue



E.A.



Tâche 5 – Modélisation - Objectifs

Développement d'un modèle de fatigue pour enrobés vieilliss

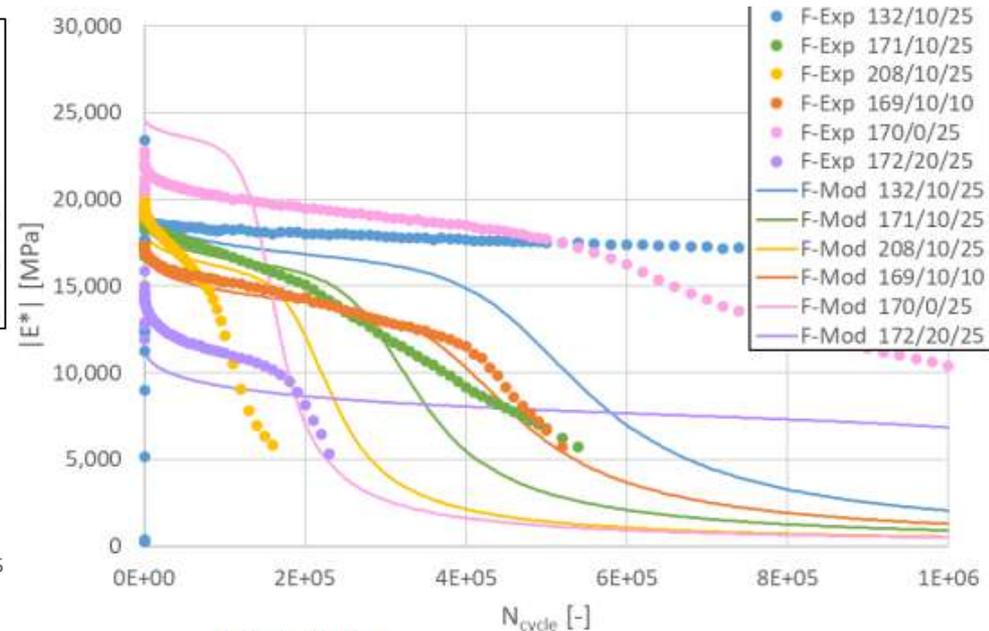
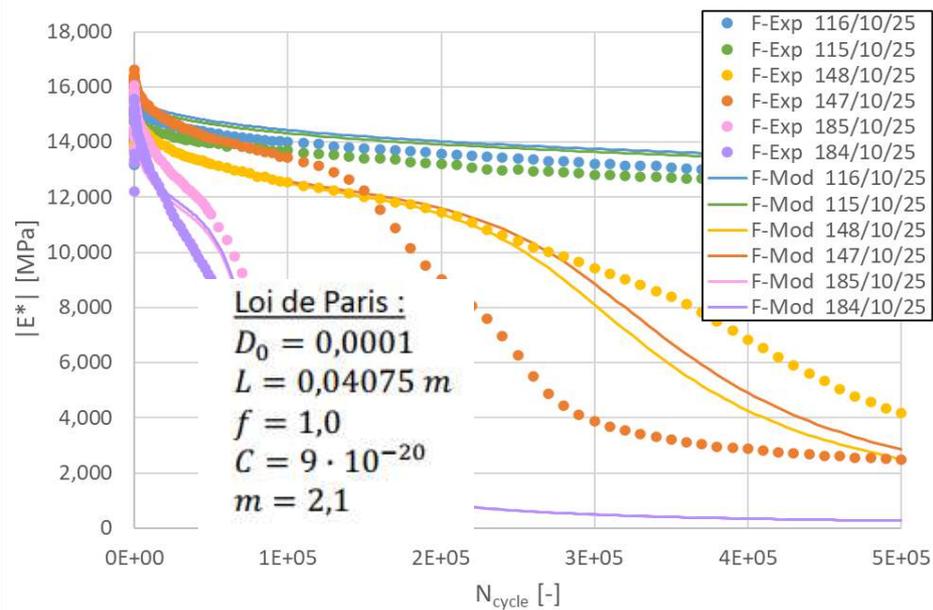
- **Modèle analytique de viscoélasticité (Venol)** prenant en compte le comportement des enrobés lors d'essais de module complexe (MC), mais également les non linéarités liées à l'amplitude des sollicitations, la thixotropie et l'endommagement lors d'essais de fatigue → formulations aux éléments discrets
- **Modèle microstructurel de viscoélasticité** prenant en compte l'auto-échauffement, et l'endommagement lors d'essais de fatigue → formulation aux éléments finis
- Pour des enrobés produits en laboratoire non vieilliss :
 - Calibration sur des essais de T/C (MC et fatigue)
 - Calibration sur des essais de flexion 2PB (MC et fatigue) à l'aide des modèles aux éléments finis, aux éléments discrets et analytique.
- Travaux à poursuivre sur des enrobés vieilliss (laboratoire et in situ)
- Travaux à poursuivre sur l'estimation de la durée de vie résiduelle des matériaux et impact sur le dimensionnement des infrastructures

Tâche 5 – Modélisation – exemples de résultats

Modèle analytique d'essais de fatigue en flexion 2 pts

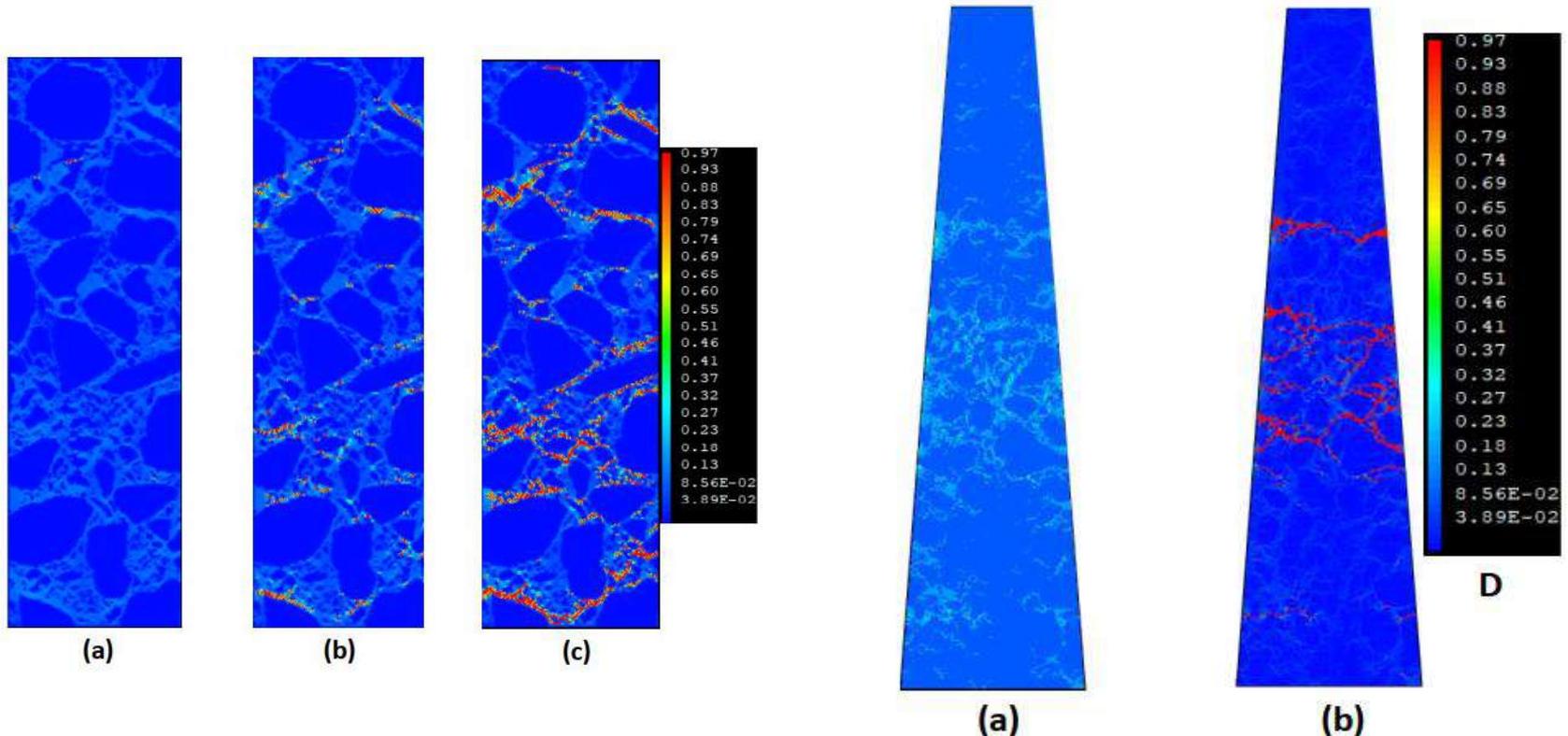
Eprouvettes fabriquées en laboratoire
 Essais 10°C/25Hz sur GB3 non vieillie

Eprouvettes prélevées in situ (Dijon – couche de fondation)
 Essais à différentes amplitudes, fréquences et températures



Tâche 5 – Modélisation – exemples de résultats

Modèle aux éléments finis prenant en compte la microstructure



Cartographies d'endommagement à (a) 100 (b) 10000 (c) 20000 cycles de chargement, pour un essai de fatigue (T/C) à 10°C-10 Hz et une amplitude de 250µm/m

Cartographies de l'endommagement à (a) 100 cycles et (b) 10000 cycles de chargement pour un essai à 250 µm/m, 10°C et 10 Hz

Principaux résultats du projet

Etude des liants

- Méthodes de vieillissement en labo sur liant seul (RTFOT, PAV) à améliorer
- Meilleure compréhension des cinétiques de vieillissement des liants - Vieillissement in situ situé entre les niveaux RTFOT et RTFOT + PAV
- Plusieurs critères proposés pour estimer le niveau de vieillissement

Etude des enrobés

- Méthode de vieillissement en labo des enrobés
- Protocoles de prélèvements et d'échantillonnages
- Meilleure compréhension de l'évolution des propriétés mécaniques avec le vieillissement
- Relations niveau de vieillissement du liant – propriétés mécaniques de l'enrobé
- Approche pour distinguer vieillissement et endommagement (comparaison matériaux circulés / non circulés)
- Utilisation des émissions acoustiques couplées à des essais de fatigue, pour mieux analyser les phénomènes d'endommagement et de rupture

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

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

Principales publications (Articles)

Etude des liants

- [1] Siroma R., Nguyen M.L., Horny P., Lorino T., Chailleux E. (2021). **Clustering aged bitumens through multivariate statistical analyses using phase angle master curve** Road Materials and Pavement Design, 22:sup1, pp51-68
- [2] Siroma R., Nguyen M.L., Horny P., Chailleux E. (2022) **A literature review of bitumen aging: from laboratory procedures to field evaluation**, ASTM Journal of Testing and Evaluation, vol 50, no. 2 (March/April 2022): 1023–1044.
- [3] Siroma, R., Nguyen M.L., Horny P., Lorino T., Hung Y., Nicolai A., Ziyani L., Chailleux E. (2022) **Molecular Agglomeration Index (MAI): Quantification of the Incidence of Asphaltene Molecular Agglomeration in Aged Asphalt Binders Through Rheological Measurements**, Transportation Research Record

Etude des enrobés

- [4] Soufyane BENABOUD, Mokhfi TAKARLI, Bertrand POUTEAU, Fatima ALLOU, Frédéric DUBOIS, Pierre HORNYCH, Mai Lan NGUYEN (2021), **Fatigue Damage Monitoring and Analysis of Aged Asphalt Concrete Using Acoustic Emission Technique**, Road materials and pavement Design, 22:sup1, pp
- [5] Soufyane BENABOUD, Mokhfi TAKARLI, Bertrand POUTEAU, Fatima ALLOU, Frédéric DUBOIS, Pierre HORNYCH, Mai Lan NGUYEN (2021). **A New Analysis of Fatigue Test for Bituminous Mixtures using Fourier Series Fitting and Acoustic Emission Measurements**. Construction and Building Materials 301 (2021)
- [6] Coulon, L., Koval, G., Chazallon, C. et Roux, J.-N. (2021). **Analytical modelling of thixotropy contribution during T/C fatigue test of asphalt concrete with the VENoL model**. Road Materials and Pavement Design, Volume 22, 2021 - Issue sup1: EATA2021, pp 536 - 559
- [7] COULON L., KOVAL G., CHAZALLON C., ROUX J.-N.: **Analytical modeling of T/C complex stiffness modulus test on asphalt concrete and non-linearity effect due to strain amplitude**, soumis à Road Materials and Pavement Design, Published online: 29 Dec 2021.

Thèses du projet MOVEDVDC

- **M. Soufyane BENABOUD**



Evaluation du vieillissement et de l'endommagement des matériaux bitumineux par modélisation hétérogène et mesures acoustiques

Soutenance publique le 13 mai 2022 9h00

Campus Universitaire de Génie Civil - Boulevard Jacques Derche - 19300 Egletons

- **M. Rodrigo SIROMA**



Méthodes expérimentales et théoriques d'évaluation de la durée de vie des chaussées basées sur l'analyse des liants extraits

Soutenance prévue en Juin 2022

- **M. Léo COULON**



Modélisation de l'effet du vieillissement et de la fatigue sur le comportement résiduel des matériaux de chaussées

Soutenance prévue fin 2022

Merci de votre attention

Pierre Hornych
Université Gustave Eiffel
Allée des Ponts et Chaussées
44344 Bouguenais CEDEX
pierre.hornych@univ-eiffel.fr

Bertrand Pouteau
Eurovia
Centre de recherche de Merignac
22 rue Thierry Sabine
33703 Mérignac
bertrand.pouteau@eurovia.com