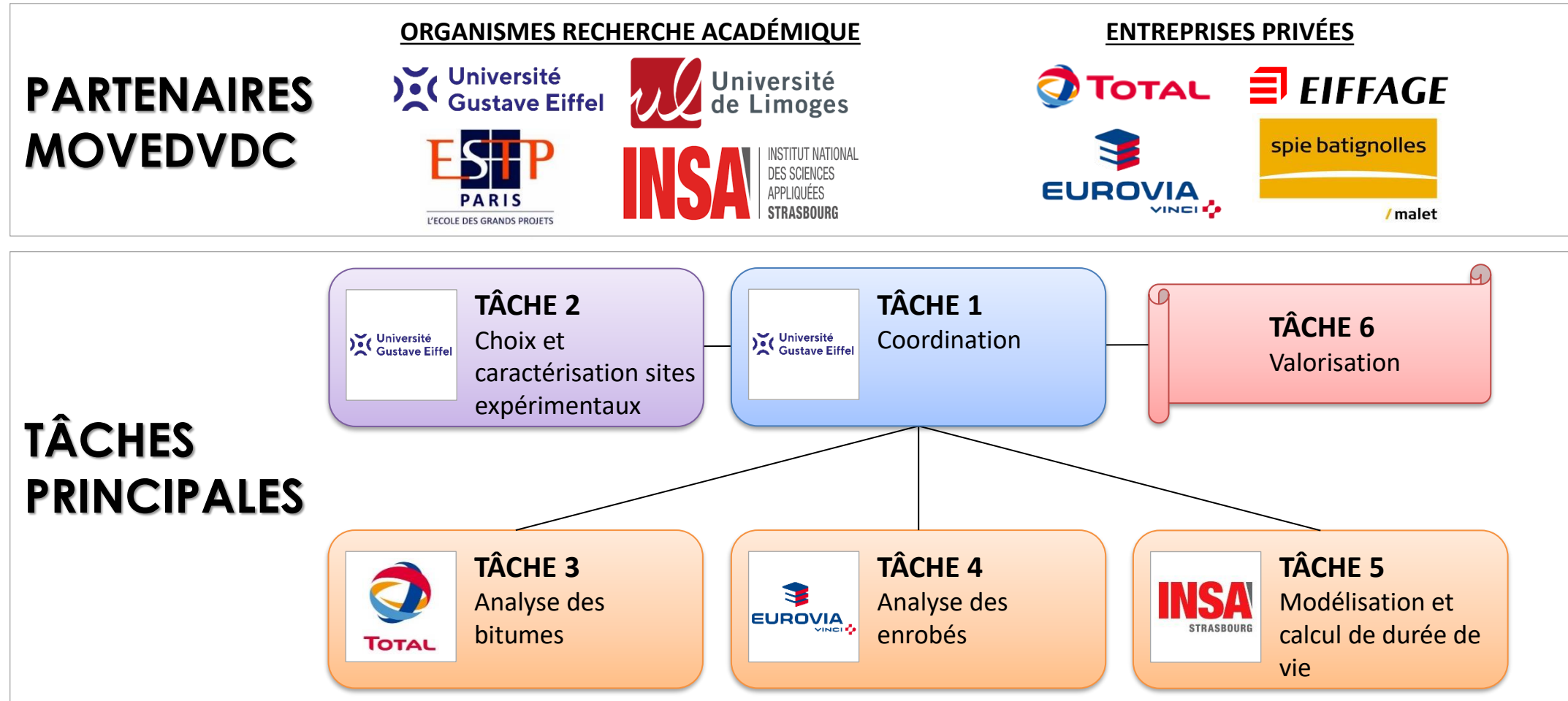


Etude du vieillissement des liants à partir de matériaux vieillis in situ et en laboratoire Résultats du projet ANR MoveDVDC

www.dvdc.fr

P. Horny (Université Gustave Eiffel)

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



23 janvier 2020, FNTF

Journée d'information sur les techniques d'auscultation et la durée de vie des chaussées

OBJECTIFS DU PROJET MOVEDVDC

1. Proposer une démarche d'évaluation du vieillissement et de l'endommagement des liants et enrobés, basée sur des essais mécaniques et physico –chimique
2. Appliquer ces méthodes à des cas de terrain, afin de mieux comprendre les mécanismes de vieillissement et d'endommagement in situ.
3. Proposer des modèles permettant de prédire les propriétés mécaniques des matériaux anciens, et leur évolution, applicables aux calculs de durée de vie des chaussées.



SITES EXPÉRIMENTAUX SÉLECTIONNÉS

Sites (5)	Réseaux	Type de climat	Matériaux d'assise	Note
RD 700	CD 21	Semi-continental (Nord-Est)	GB3	Fait le 07/11/2018
A35	DTerEst	Semi-continental (Nord-Est)	GB3	Fait le 18/06/2018
Manège B	IFSTTAR Nantes	Océanique (Ouest)	GB3	Carottages réalisés 10/2019
A40	ATMB	Montagnard (Est)		À confirmer
?	CD34	Méditerranéen (Sud)		Recherche de site en cours



Prélèvements réalisés sur A35
Zone circulée et non circulée



23 janvier 2020, FNTF

Journée d'information sur les techniques d'auscultation et la durée de vie des chaussées

ÉTUDES PRÉVUES

- Caractérisation de 2 bitumes vieillis en laboratoire à l'état initial + 3 niveaux de vieillissement **Réalisé**
- Caractérisation de 2 bitumes extraits d'enrobés vieillis en laboratoire (procédure RILEM) – 5 niveaux de vieillissement **En cours**
- Caractérisation de bitumes extraits des enrobés prélevés sur sites

Presque terminé pour les 2 premiers sites

ESSAIS RÉALISÉS

ESSAIS	LABORATOIRE
Pénétrabilité et TBA	Total
Fractions SARA	Total
Calorimétrie différentielle	UGE et ESTP
DSR	ESTP
Metravib	UGE
Spectrométrie Infrarouge (FTIR)	UGE et ESTP



23 janvier 2020, FNTF

Journée d'information sur les techniques d'auscultation et la durée de vie des chaussées

LIANTS BITUMINEUX

Liant pur

AZALT 35/50
TOTAL



Liant modifié aux polymère

STYRELF 13/40
TOTAL



GRANULATS

Diorite

LA NOUBLEAU



Calcaire



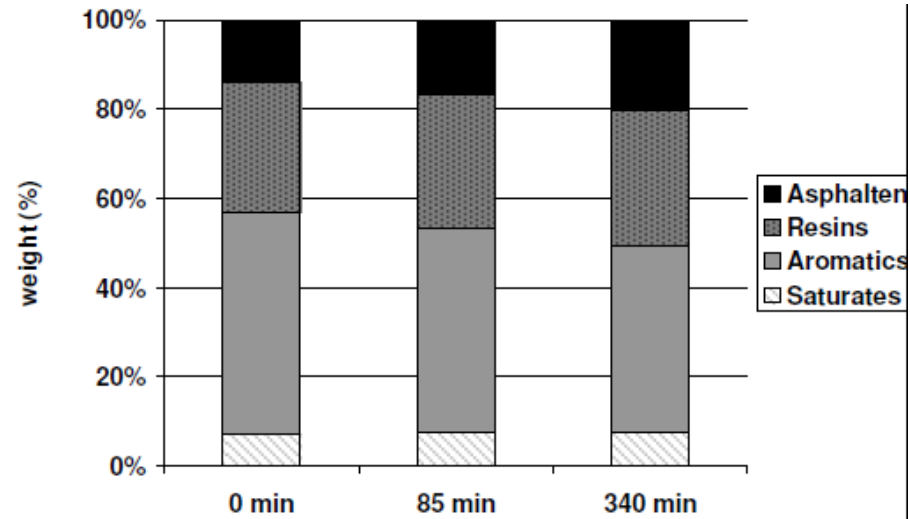
Caractérisation physico –chimique

Fractions SARA

Séparation du bitume en 4 fractions génériques en fonction de leur polarité.

Indices mesurés:

- Teneur en saturés (%)
- Teneur en aromatiques (%)
- Teneur en résines (%)
- Teneur en asphaltènes (%)



Siddiqui and Ali (1999)

Evolution avec le vieillissement

Teneur en saturés **constante** ou **augmente légèrement**

Aromatiques: se **réduit**

Résines : se **réduit**

Asphaltènes : **augmente**

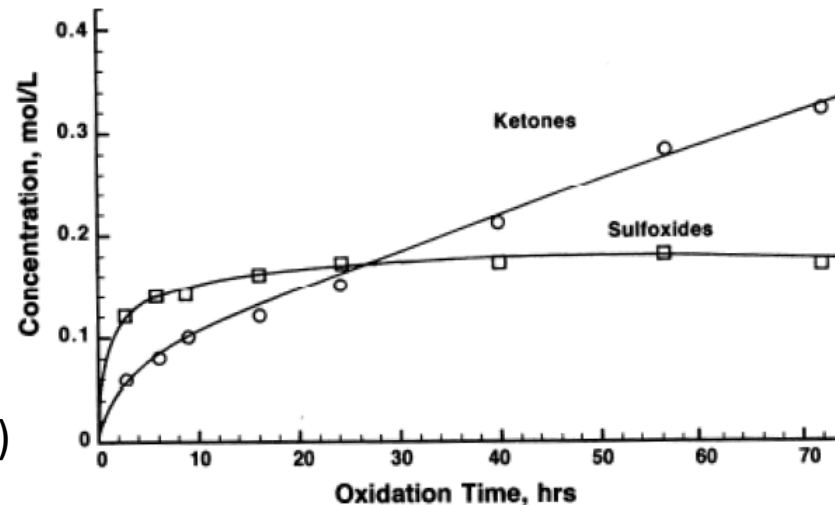
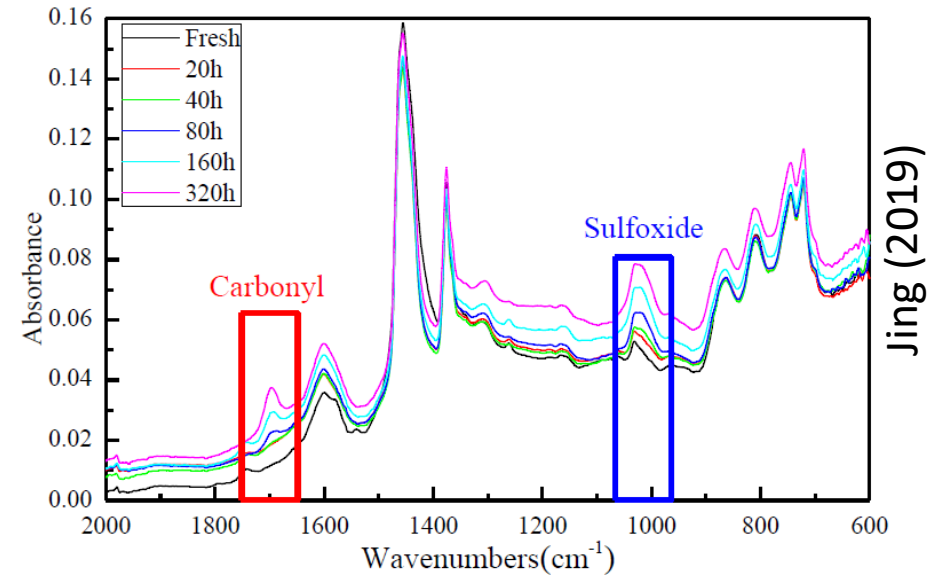
Caractérisation physico-chimique

Spectroscopie Infrarouge (FTIR)

Mesurer l'absorption de l'oxygène

Indice(s) mesuré(s):

- carbonyle (C=O)
- sulfoxide (S=O)



État initial :

Carbonyle **augmente lentement**

Sulfoxide **augmente rapidement**

État avancé :

Carbonyle **continue à augmenter**

Sulfoxide **reste presque constant**

Petersen (2009)

Caractérisation rhéologique ($G^* = G' + iG'' = |G^*| e^{i\phi}$)

Mesure du **module** et de l'**angle de phase** à différentes températures et fréquences

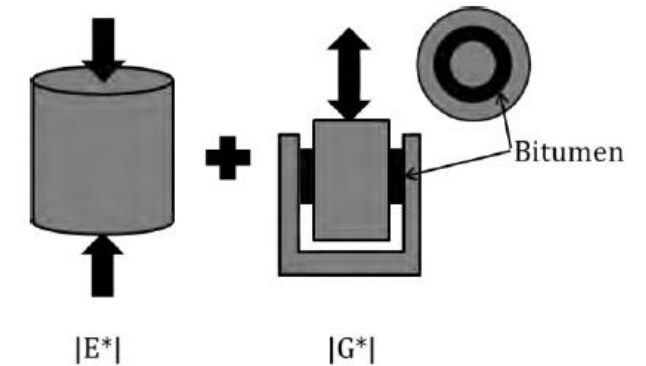
Metravib

Traction-compression (basse T)
Cisaillement (haute T)

Paramètres mesurés:

- Module complexe (E^*)
- Angle de phase (ϕ)

$$E = 2G(1 + \nu) \text{ où } \nu = 0.5$$



Perez Martinez (2017)



Caractérisation rhéologique ($G^* = G' + iG'' = |G^*| e^{i\varphi}$)

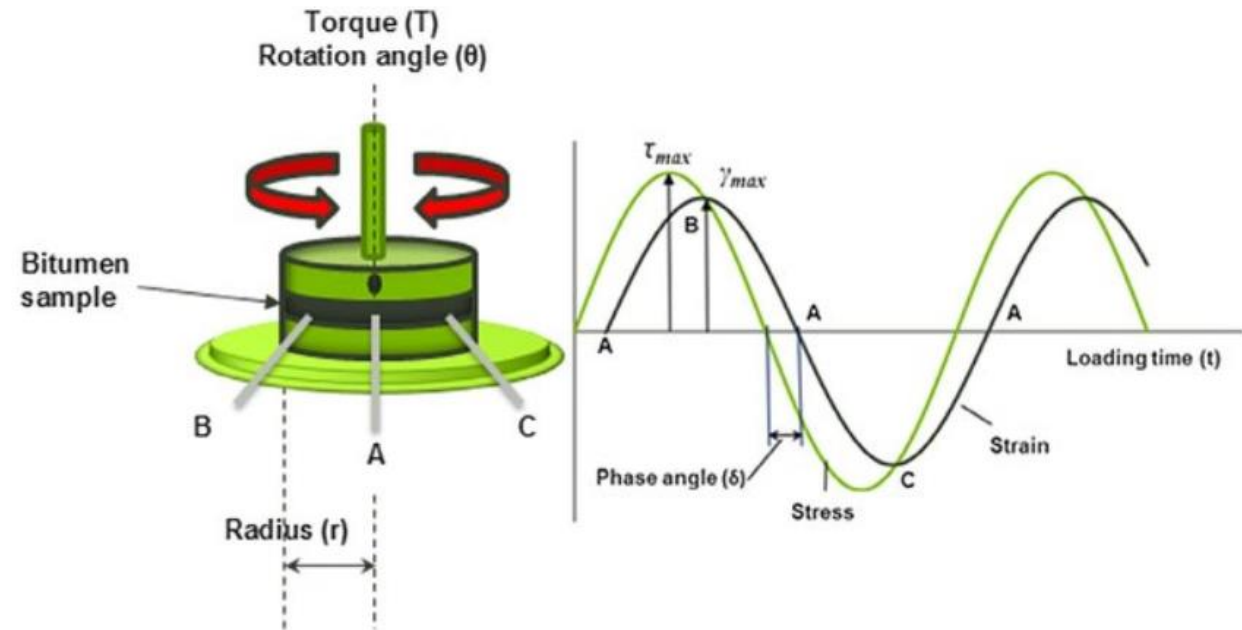
Mesure du **module** et de l'**angle de phase** à différentes températures et fréquences

DSR

Cisaillement avec différentes géométries (25mm, 8mm et 4mm)

Paramètres mesurés :

- Module complexe (G^*)
- Angle de phase (φ)

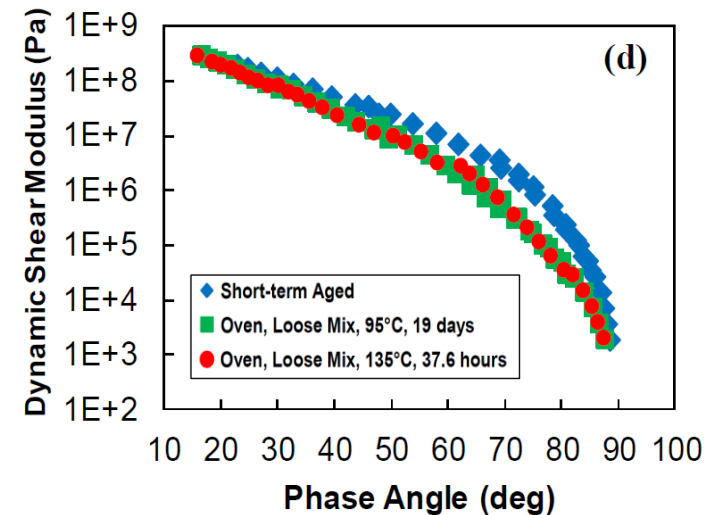
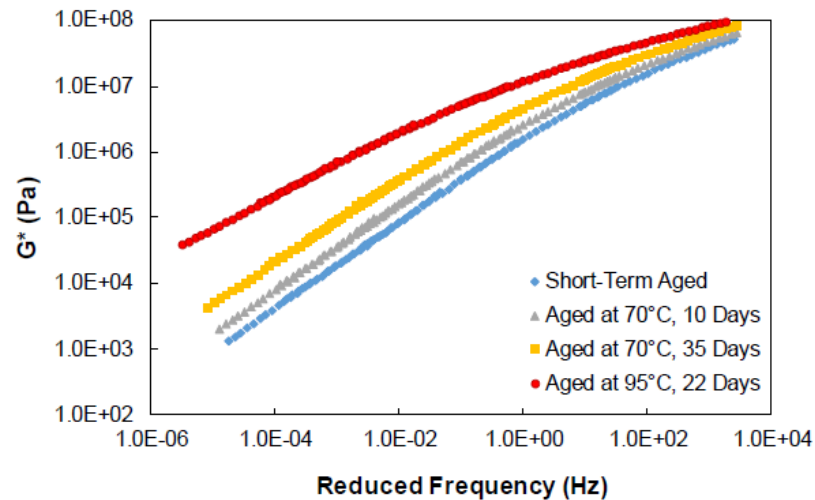


Asphalt Institute (1997)



Caractérisation rhéologique ($G^* = G' + iG'' = |G^*| e^{i\phi}$)

Mesure du **module** et de l'**angle de phase** à différentes températures et fréquences

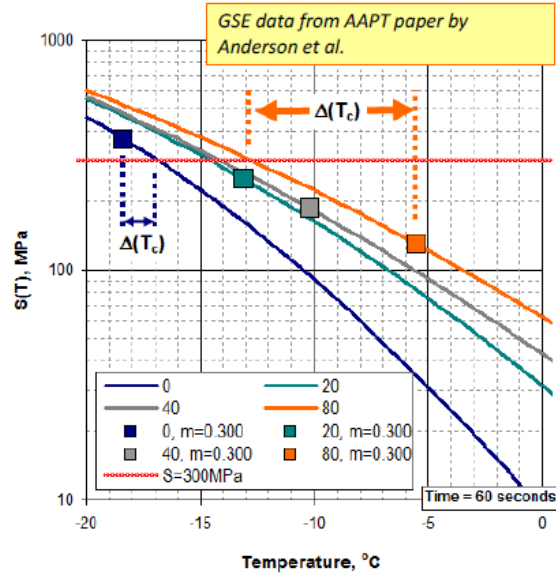


Elwardany (2017)

Le **module augmente** et l'**angle de phase diminue** avec le vieillissement



➤ Quelques approches pour suivre le vieillissement

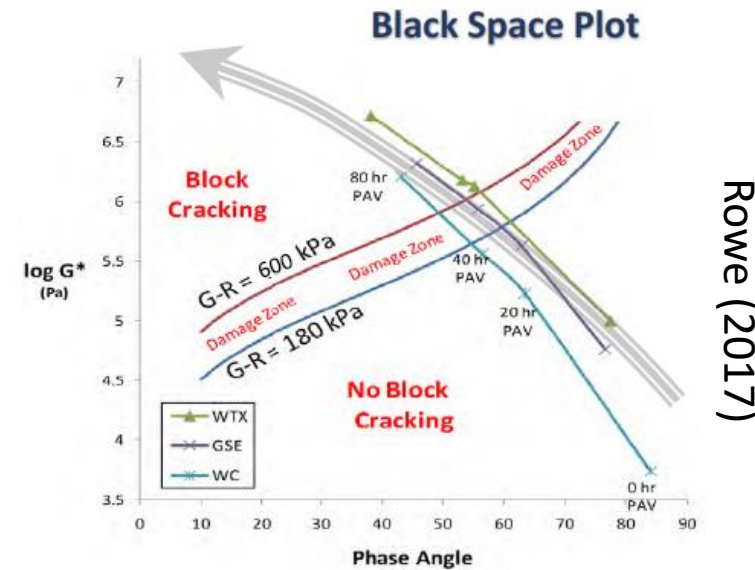


Rowe (2017)

METHODE ΔT_c

$$\Delta T_c = T_s(S=300\text{MPa}) - T_m(m=0,3)$$

- ΔT_c plus négatif avec le vieillissement
- $\Delta T_c \leq -2.5^\circ\text{C}$ (possible risque de fissures)
- $\Delta T_c \leq -5^\circ\text{C}$ (réparation urgente)



Rowe (2017)

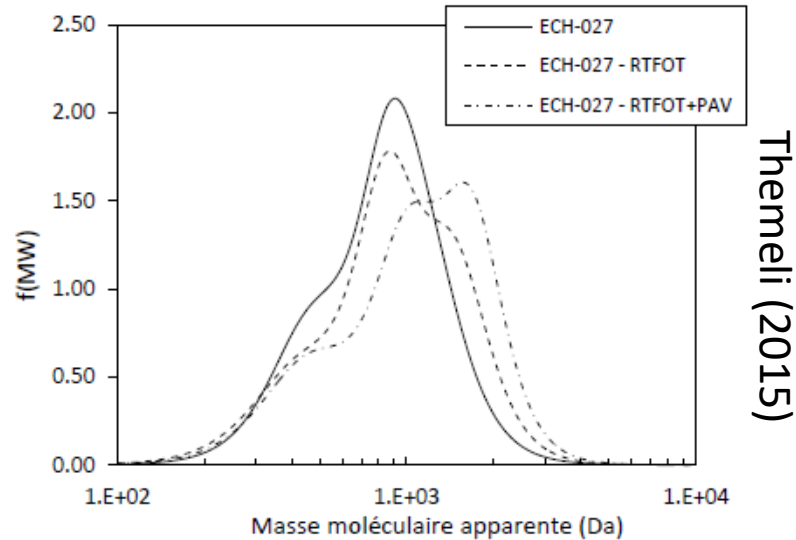
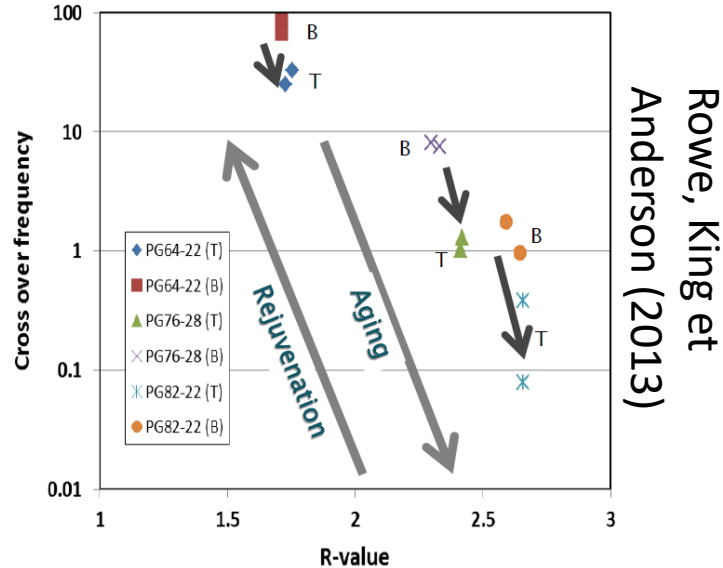
METHODE GLOVER-ROWE (G-R)

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

- G^* défini à 15°C et $0,005 \text{ rad/seg}$
- G-R augment avec le vieillissement



➤ Quelques approches pour suivre le vieillissement



R-value et Crossover frequency (ω_0)

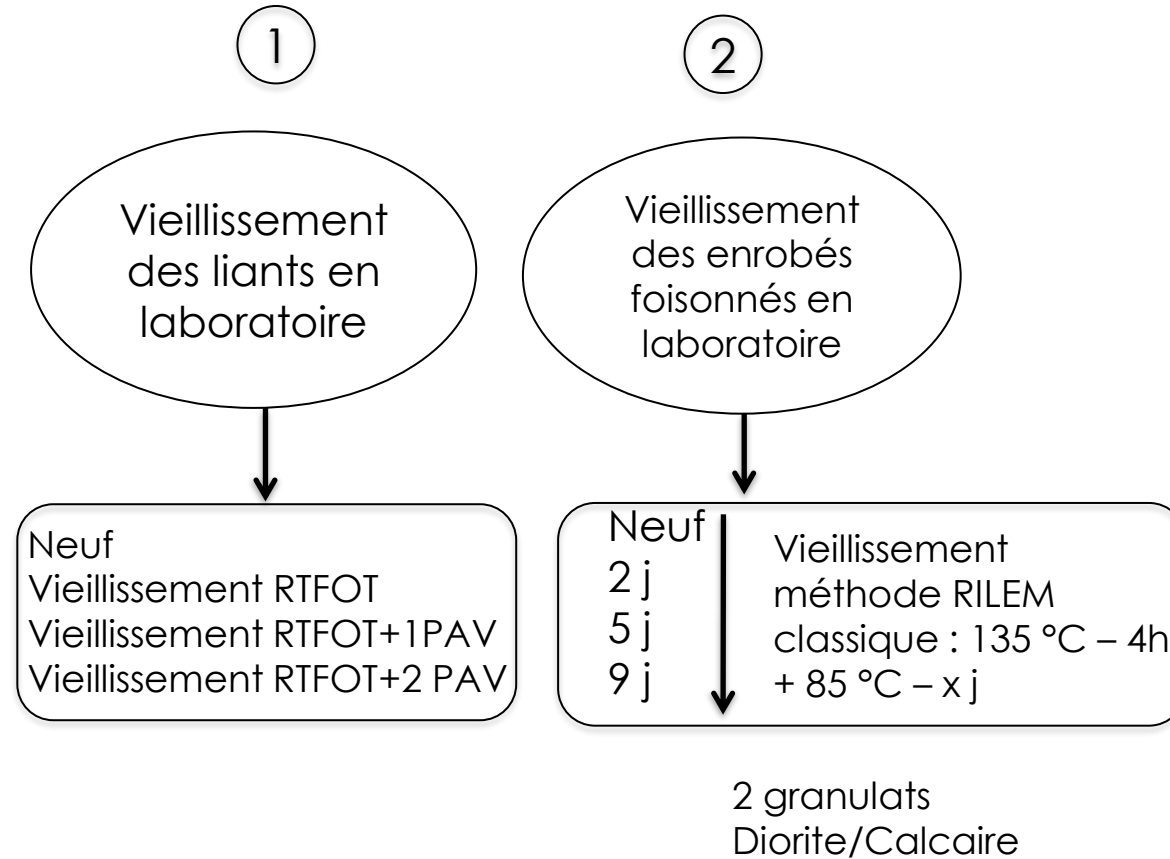
- R-value est la distance entre G_{∞} et le module à 45° (crossover modulus)
- ω_0 est la fréquence qui correspond au crossover modulus
- Avec le vieillissement, la **R-value** **augment** et **ω_0 diminue**

δ-METHODE

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

- Sensible à l'évolution de la **masse moléculaire** des espèces du bitume
- Afin de permettre la différentiation, les données doivent s'ajuster par un **modèle continu (1S2P1D)**
- Evaluation de la distribution moléculaire vers les masses moléculaires plus élevées avec le vieillissement

PROCEDURE DE VIEILLISSEMENT



3

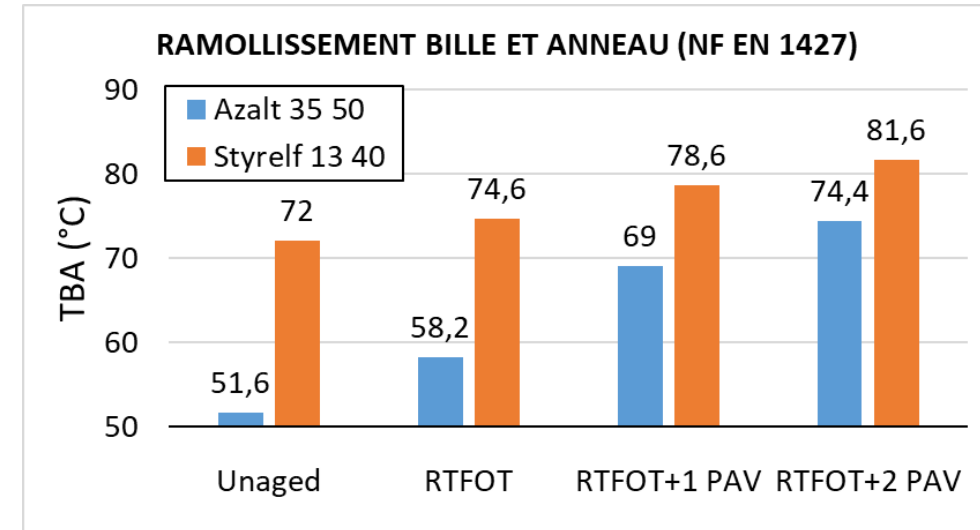
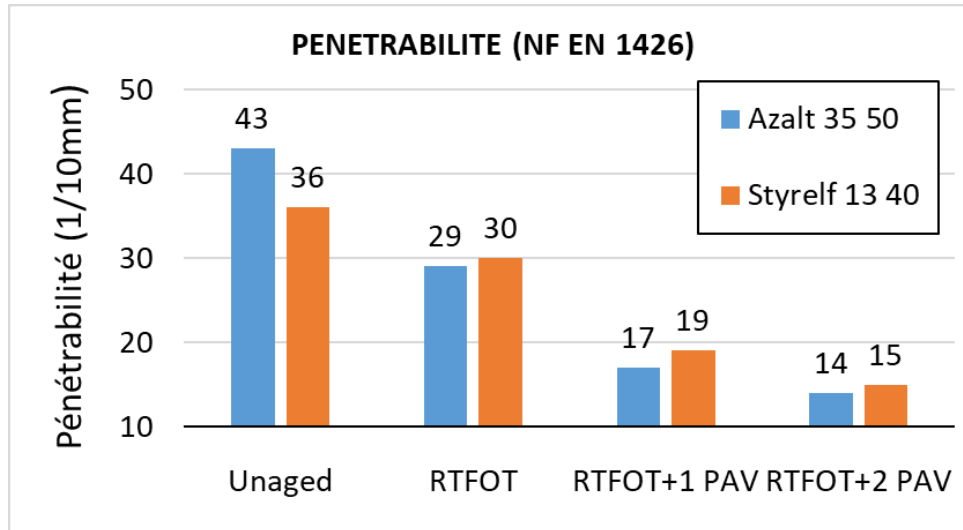
Liants extraits de sites
 Base / fondation
 zones circulée / non circulée



- ✓RD700 (Dijon)
- ✓A35 (Strasbourg)
- ✓Manège de fatigue IFSTAR (Nantes)

Liants vieillis en laboratoire

ESSAIS EMPIRIQUES (PENETRABILITE et RAMOLLISSEMENT BILLE ET ANNEAU)



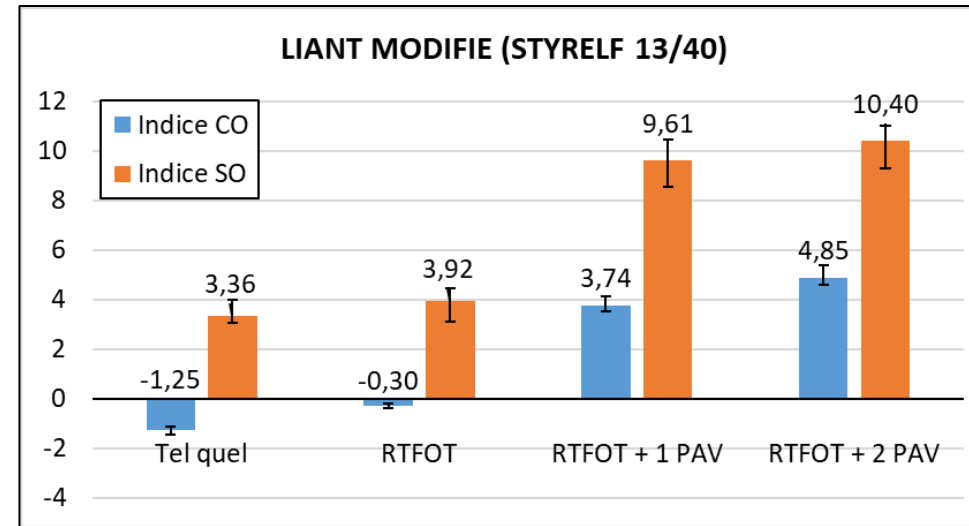
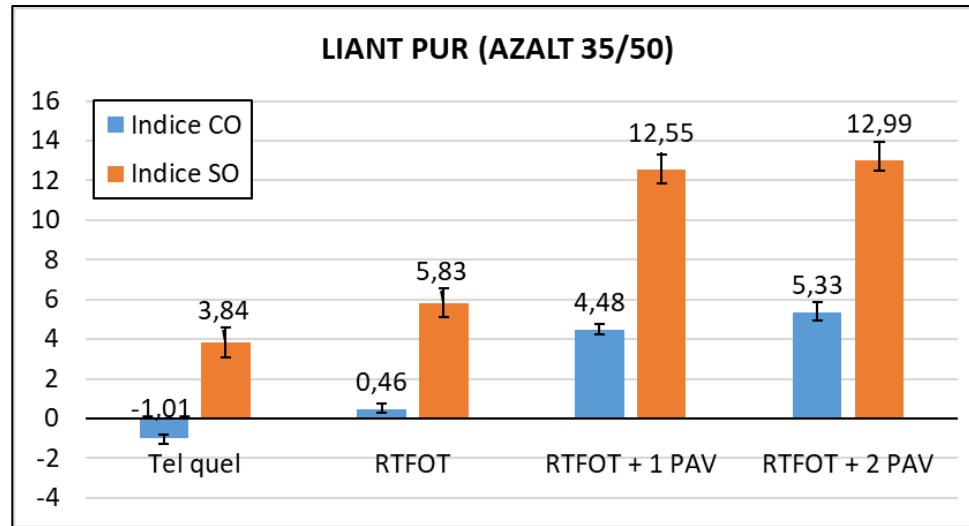
- ▶ Les tendances sont en accord avec celles trouvées dans la littérature.
- ▶ L'évolution des valeurs du bitume pur est plus forte par rapport au bitume modifié.



Liants vieillis en laboratoire

SPECTROSCOPIE INFRAROUGE A TRANSFORMEE DE FOURIER (FTIR)

► En mode transmission

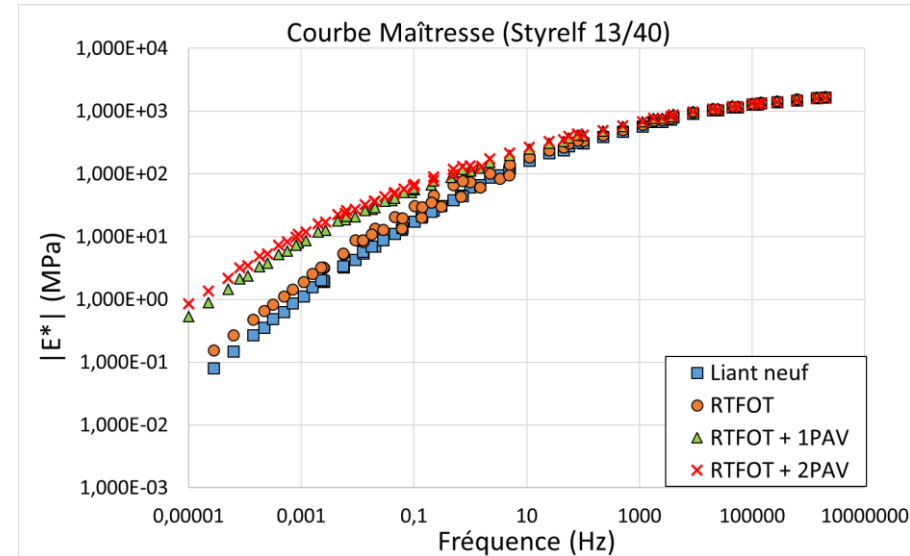
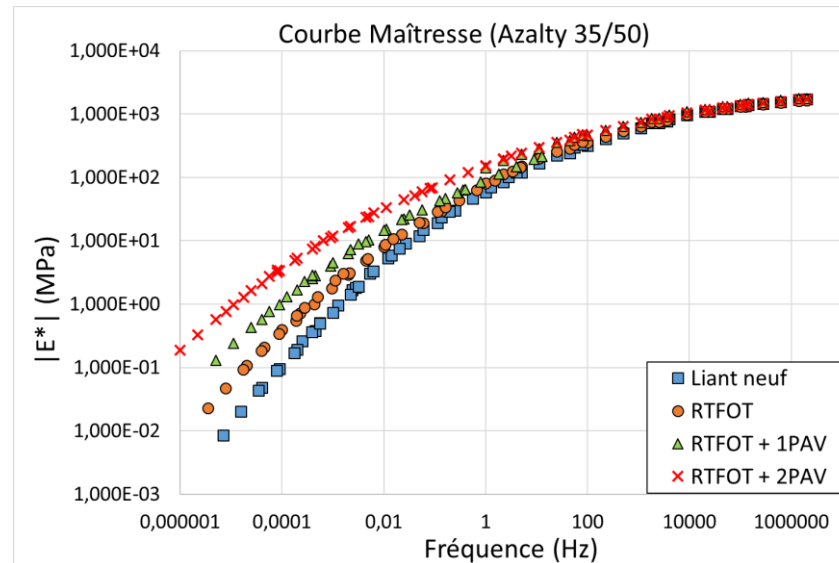


- Le taux de croissance du S=O est supérieur à celui du C=O à l'état initial (en accord avec la littérature)
- Les valeurs négatives sont dues à la méthode de calcul de pics



Liants vieillis en laboratoire

METRAVIB (ESSAI RHEOLOGIQUE)



- Les valeurs du module augmentent avec le vieillissement (notamment celles à **hautes températures** et **basses fréquences**)

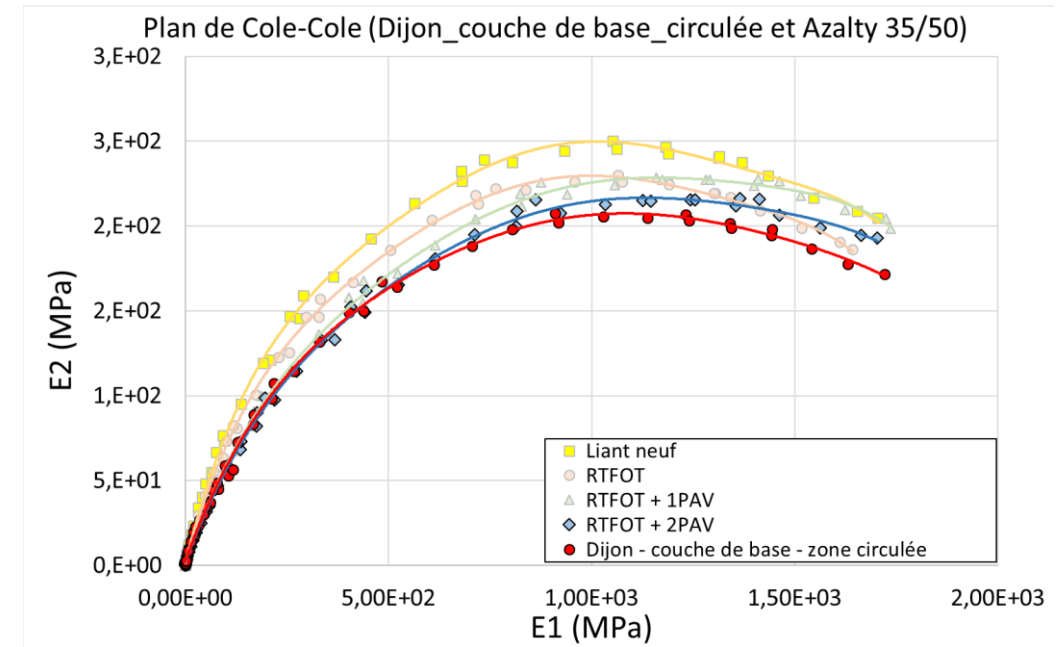
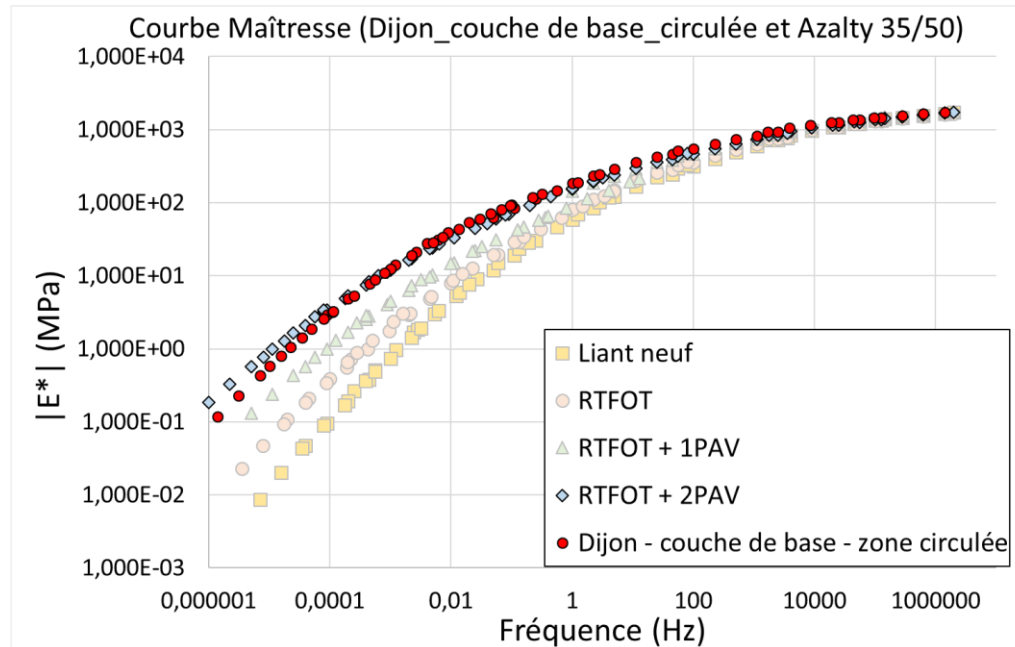


23 janvier 2020, FNTF

Journée d'information sur les techniques d'auscultation et la durée de vie des chaussées

METRAVIB - ESSAI RHEOLOGIQUE

- Comparaison entre bitume Azalt 35/50 vieilli en laboratoire et bitume 35/50 extrait du site de Dijon (couche de base RD700, 2002)



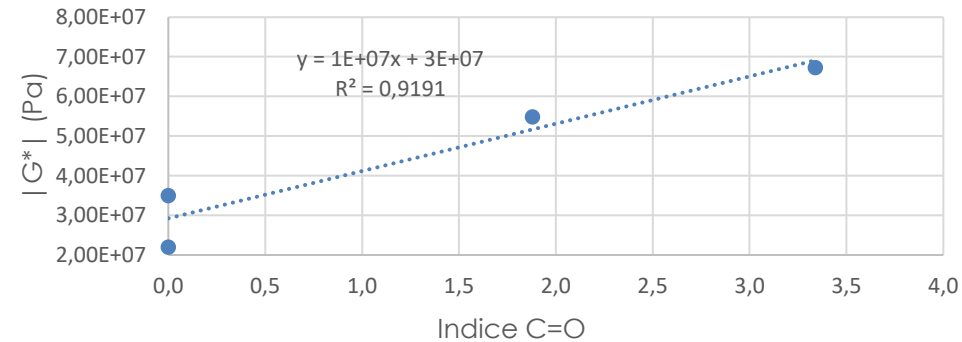
- Les caractéristiques rhéologiques du liant extrait du site sont proches de celles du liant vieilli en labo après RTFOT + 2 PAV



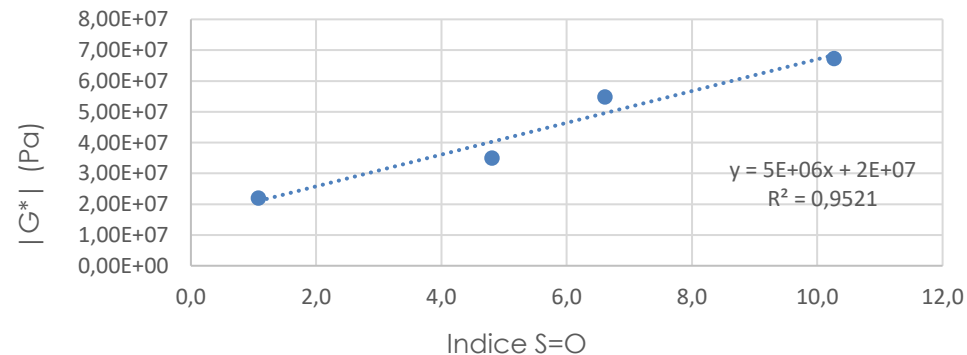
Liants vieillis en laboratoire

CORRELATION ENTRE ESSAIS PHYSICO-CIMIQUES ET RHEOLOGIQUES

|G*| bitume modifié en fonction de l'indice C=O

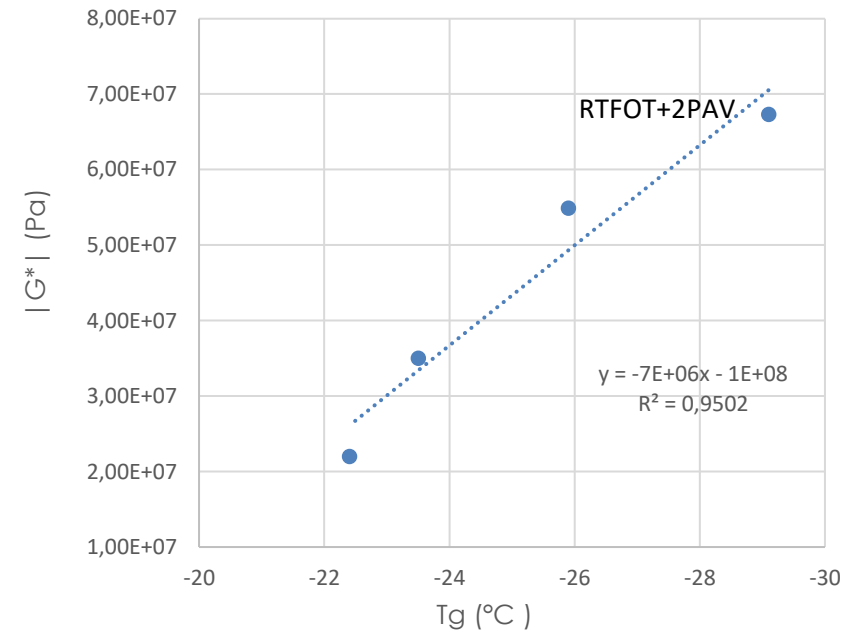


|G*| bitume modifié en fonction de l'indice S=O



Correlation entre module |G*| et indices C=O et S=O

|G*| bitume modifié en fonction de la Tg



Correlation entre module |G*| et la température de transition vitreuse (Tg)

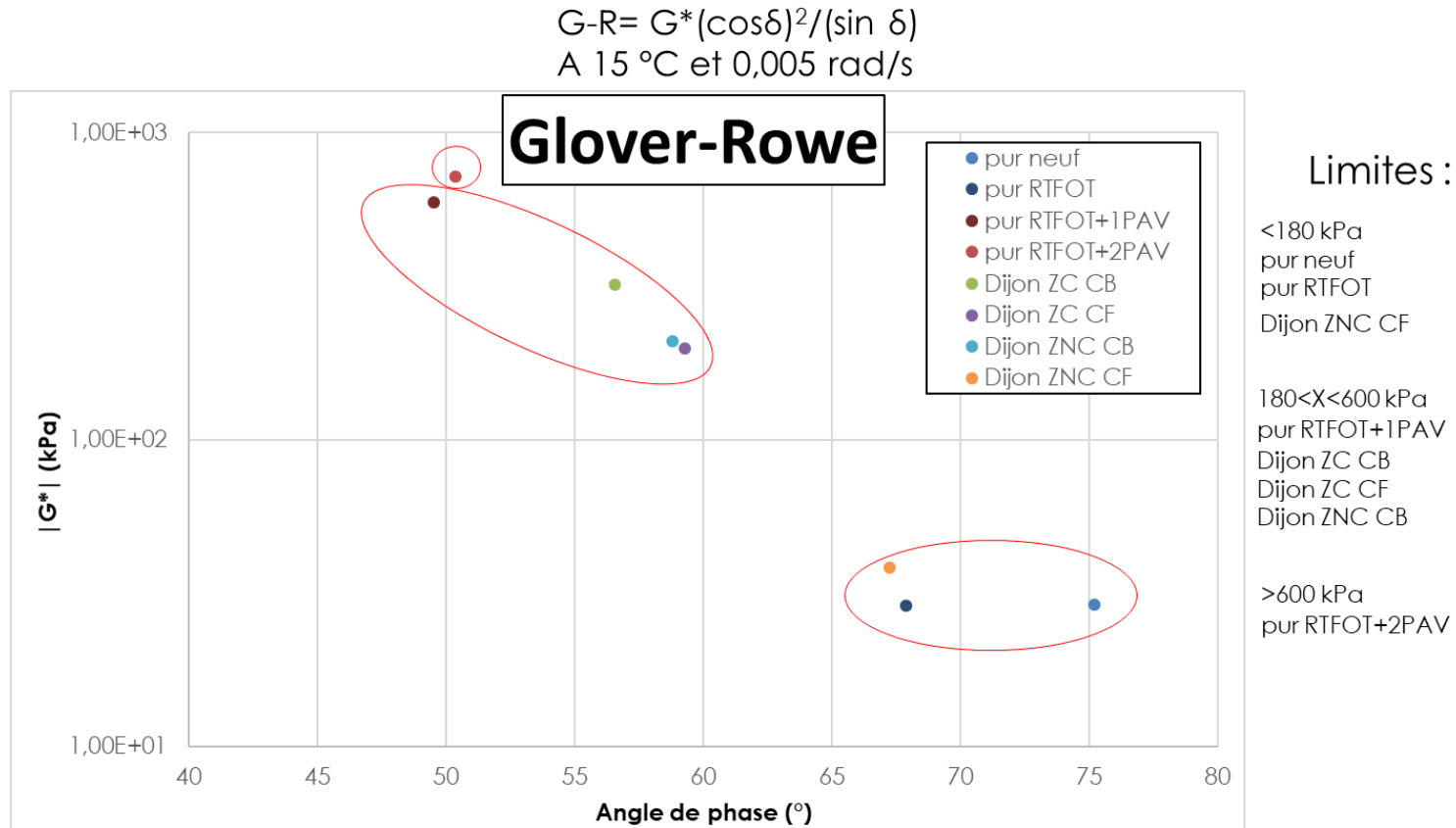


23 janvier 2020, FNTF

Journée d'information sur les techniques d'auscultation et la durée de vie des chaussées

Liants vieillis en laboratoire/ in situ

Comparaison des valeurs du paramètres de Glover-Rowe



23 janvier 2020, FNTF

Journée d'information sur les techniques d'auscultation et la durée de vie des chaussées

PERSPECTIVES

- Recaler les propriétés observées sur les liants extraits des sites expérimentaux par rapport aux évolutions de celles obtenues sur des enrobés vieillis en laboratoire.
- Appliquer des nouvelles approches, comme la **δ -méthode**, qui peuvent améliorer l'analyse de l'évolution du vieillissement du bitume.
- Relier indicateurs de vieillissement et dégradations observées sur chaussées
- Définir des lois d'évolution des paramètres rhéologiques avec le vieillissement
- **Enfin, Déterminer les indicateurs les plus pertinents pour évaluer le vieillissement des matériaux bitumineux à partir des liants extraits.**



ÉTUDES PRÉVUES

- Caractérisation de 4 enrobés vieillis en laboratoire (2 liants, 2 granulats)
procédure de vieillissement en cours
- Caractérisation d'enrobés prélevés sur les 5 sites (zone circulée et non circulée). **Essais en cours pour les 2 premiers sites**

ESSAIS RÉALISÉS

ESSAIS	LABORATOIRE
Module Complexe	UGE
Retrait thermique empêché (TSRST)	UGE
Fatigue	Eurovia et Eiffage
Résistance à l'eau (essai ITSr, Duriez)	Eurovia et ESTP
Visualisation des fissures (imprégnation)	Eurovia
Essai mécaniques + mesures par ultrasons, émissions acoustiques	GEMH (Université de Limoges)



23 janvier 2020, FNTF

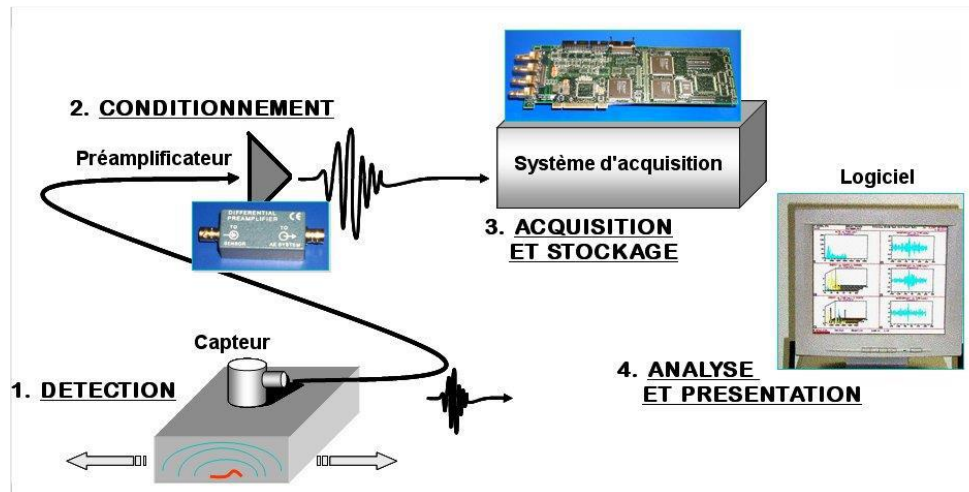
Journée d'information sur les techniques d'auscultation et la durée de vie des chaussées

EXEMPLES DE PREMIERS RÉSULTATS

Essai de fatigue avec mesures d'émission acoustiques

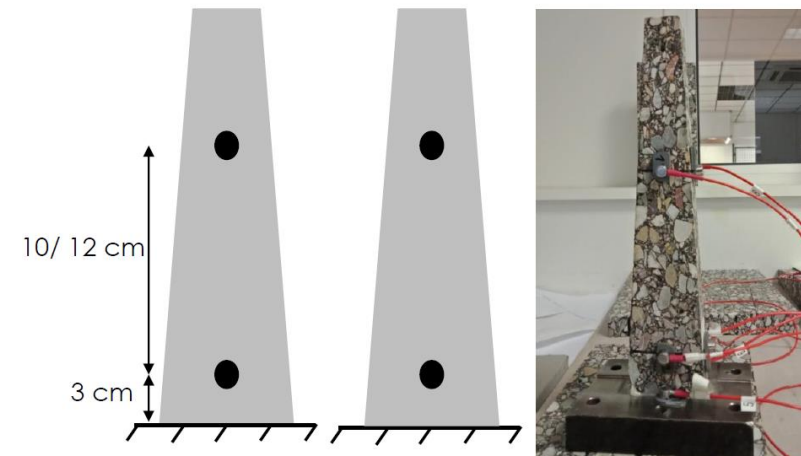
Principe : Mesure de l'énergie libérée sous forme d'ondes élastiques transitoires qui accompagne un processus évolutif (endommagement, fissuration...) à l'aide de capteurs piézo-électriques

Principe de mesure



Eprouvette instrumentée

Face : Avant & arrière



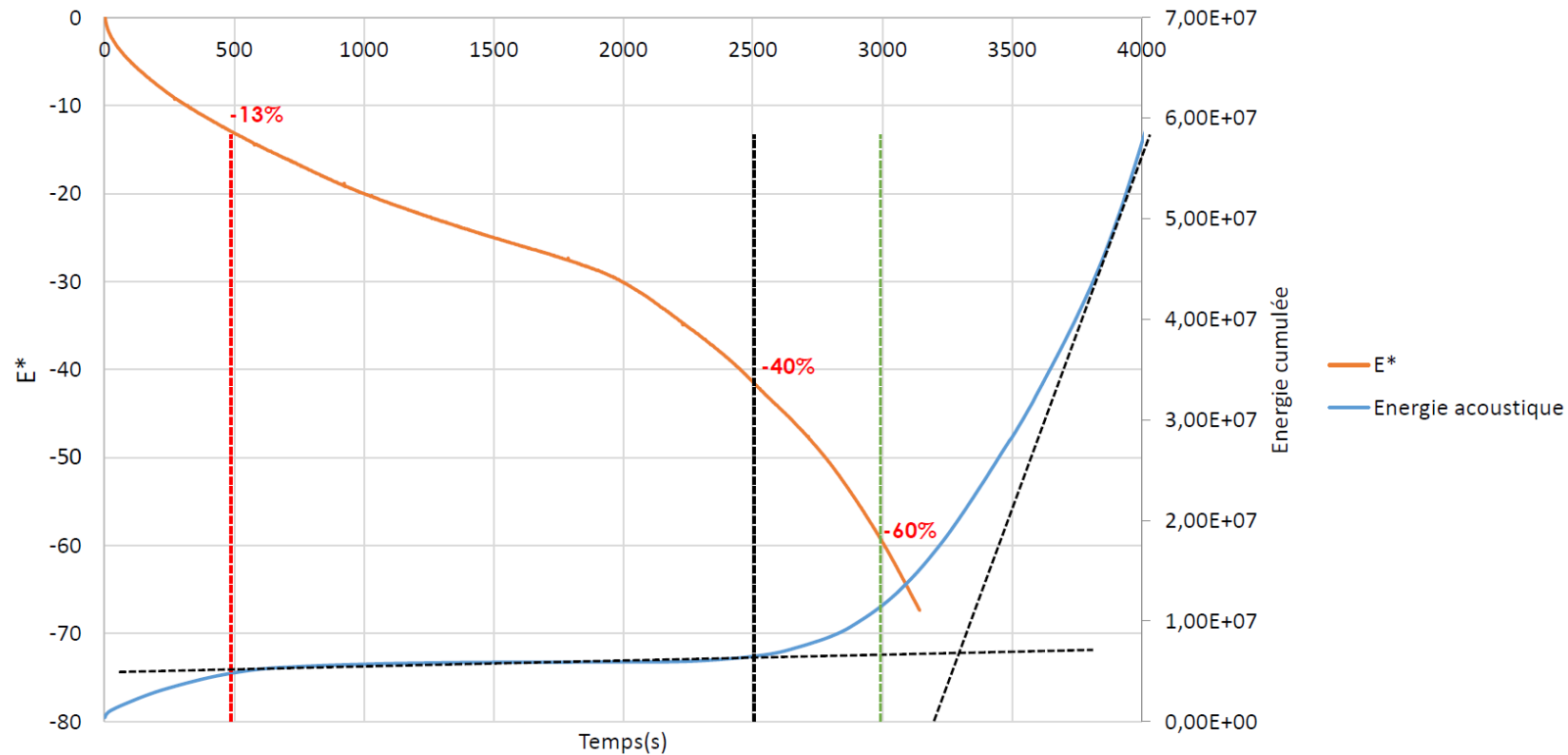
23 janvier 2020, FNTF

Journée d'information sur les techniques d'auscultation et la durée de vie des chaussées

EXEMPLES DE PREMIERS RÉSULTATS

Essai de fatigue avec mesures d'émission acoustiques

Suivi de l'énergie acoustique émise au cours d'un essai de fatigue



23 janvier 2020, FNTF

Journée d'information sur les techniques d'auscultation et la durée de vie des chaussées

TRAVAUX DE MODÉLISATION EN COURS

- ▶ **Thèse de Léo Coulon (INSA strasbourg)** : approche DEM
 - 1) Prise en compte des évolutions de E^* et ϕ en fatigue : loi de contact Visco-élastique + prise en compte de l'endommagement (adaptation de la loi de D.Bodin)
 - 2) Prise en compte des effets du vieillissement sur la fatigue par évolution de la loi de contact.
- ▶ **Thèse de Soufyane Benaboud** (Egletons)

Approche par FEM : modèle hétérogène + thermodynamique
modélisation du mastic / de l'enrobé, géométrie 2D
basé sur essais de fatigue en Traction/Compression
Utilisation de méthodes non destructives (ultrasons, émissions acoustiques) pour caractériser l'endommagement dans les essais de fatigue



Merci de votre attention

Pierre Hornych
Université Gustave Eiffel
Campus de Nantes
Pierre.hornych@ifsttar.fr



The poster features a large white circle on the left containing the 'apt' logo, with '2020' in red text to its right. The background is red with a faint, stylized sunburst pattern. Logos for IFSTTAR, TRB (Transportation Research Board of the National Academies), and UCPRC (University of California Pavement Research Center) are displayed in the top right. The dates '21-23 September 2020' and location 'Nantes FRANCE' are also present. A QR code and the URL 'https://apt2020.sciencesconf.org' are located in the middle right. The main title 'Accelerated Pavement Testing 6th international conference' is centered in large, bold letters. At the bottom, a subtitle reads 'Contribution of Accelerated Pavement Testing to transport infrastructure innovation'.

apt 2020

IFSTTAR

TRB
Transportation Research Board
OF THE NATIONAL ACADEMIES

UCPRC
UNIVERSITY of CALIFORNIA | PAVEMENT RESEARCH
Davis • Berkeley | CENTER

21-23
September
2020
Nantes
FRANCE

<https://apt2020.sciencesconf.org>

Accelerated Pavement Testing
6th international conference

Contribution of Accelerated Pavement Testing to transport infrastructure innovation



23 janvier 2020, FNTF

Journée d'information sur les techniques d'auscultation et la durée de vie des chaussées