

Restitution des résultats de l'ORSI « DEDIR »
du Dimensionnement à l'Entretien Durable des Infrastructures Routières
IFSTTAR Nantes - 17 mai 2018

Evolutions des performances des matériaux vieilliss

Paul MARSAC
IFSTTAR MAST/MIT

Plan

Constats

- **Evolutions des propriétés mécaniques observées en laboratoire**
 - **Module sur 9 mois**
 - **Module et résistance en fatigue sur 24 ans**
- **Conséquences potentielles**

Caractérisation du vieillissement

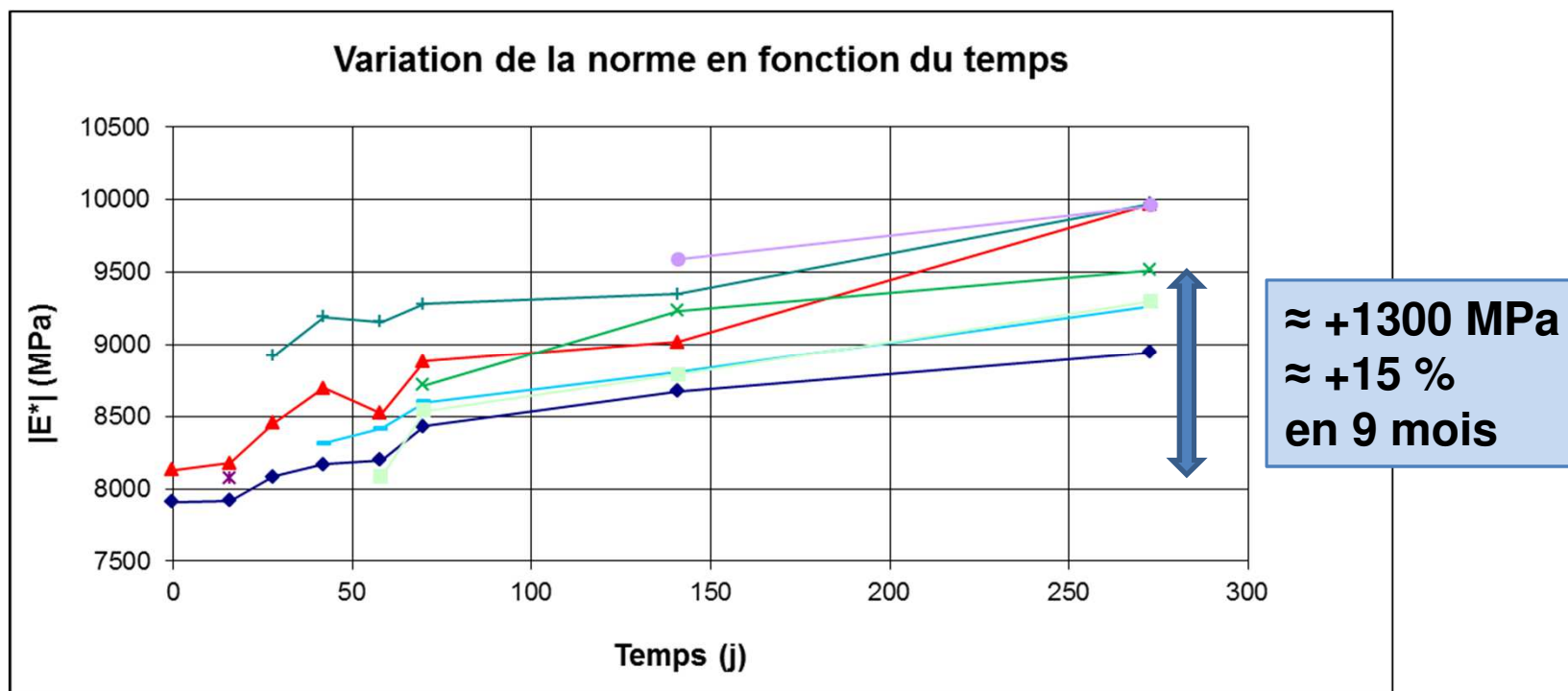
- **Simulation du vieillissement en laboratoire**
- **Caractérisation du vieillissement par mesures d'absorption IR**
- **Prédiction du module du liant $|G^*|$ à partir d'un indice IR ?**

Exemples d'évolutions observées en laboratoire (1)

- **Evolution du module sur 9 mois**
 - **BBSG 0/14 5,4 ppc 50/70**
 - **Plaque fabriquée en laboratoire**
 - **Éprouvettes découpées et testées à des intervalles de temps successifs**
 - **Plaque et éprouvettes conservées en salle à 18°C**
 - **Durée totale : 9 mois**

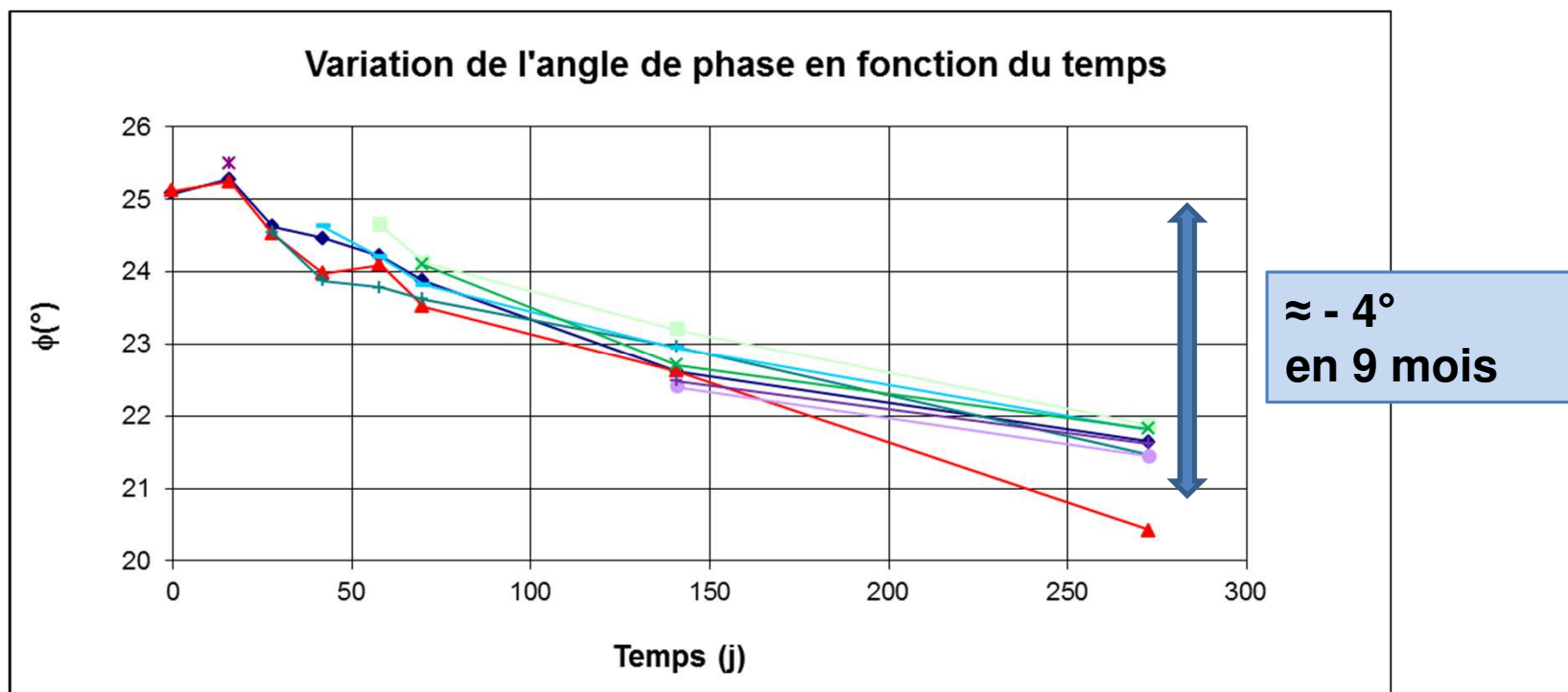
Exemples d'évolutions observées en laboratoire (1)

- Evolution du module 15°C 10Hz



Exemples d'évolutions observées en laboratoire (1)

- Evolution du module 15°C 10Hz



Exemples d'évolutions observées en laboratoire (2)

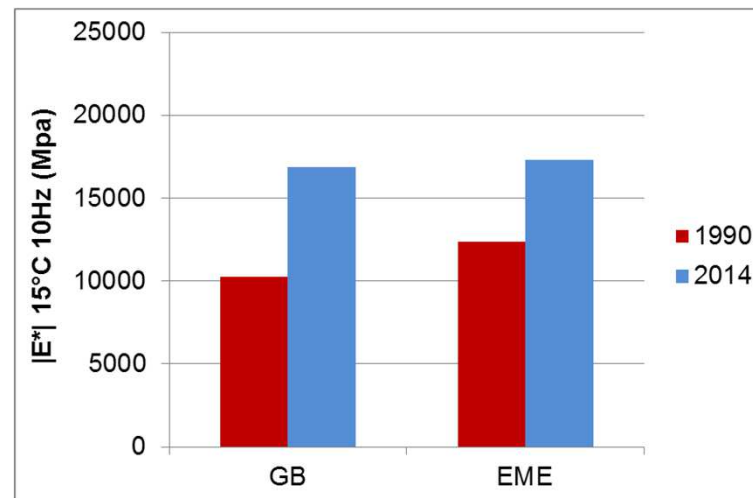
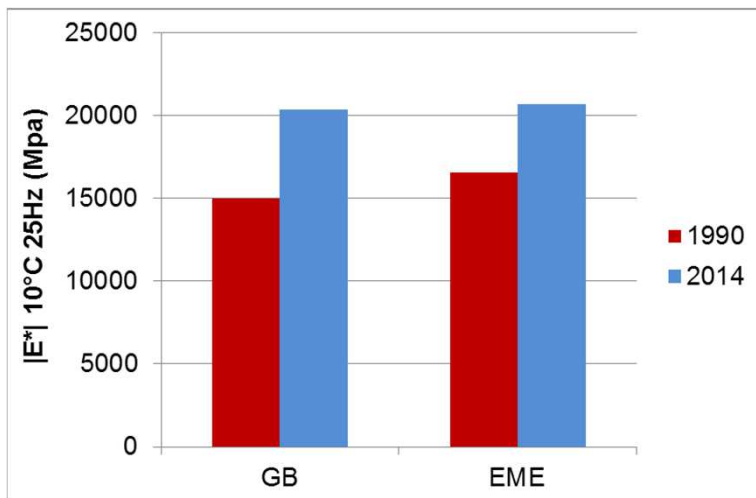
- **Evolution du module et de la résistance à la fatigue sur 24 ans**
 - **GB 0/14 4,6 ppc 50/70, 4,2% vide**
 - **EME 0/14 6,2 ppc 10/20, 1,7% vide**
 - **Fabrication centrale / compactage laboratoire**
 - **Testés en fatigue et module en 1990**
 - **1 plaque de chaque conservée dans un hall abrité**
 - **Testés à nouveau en 2014**

Exemples d'évolutions observées en laboratoire (2)

- Evolution du module sur 24 ans

GB		
Année	1990	2014
E* 10°C 25Hz (Mpa)	15017	20367
E* 15°C 10Hz (Mpa)	10292	16868

EME		
Année	1990	2014
E* 10°C 25Hz (Mpa)	16553	20694
E* 15°C 10Hz (Mpa)	12406	17337

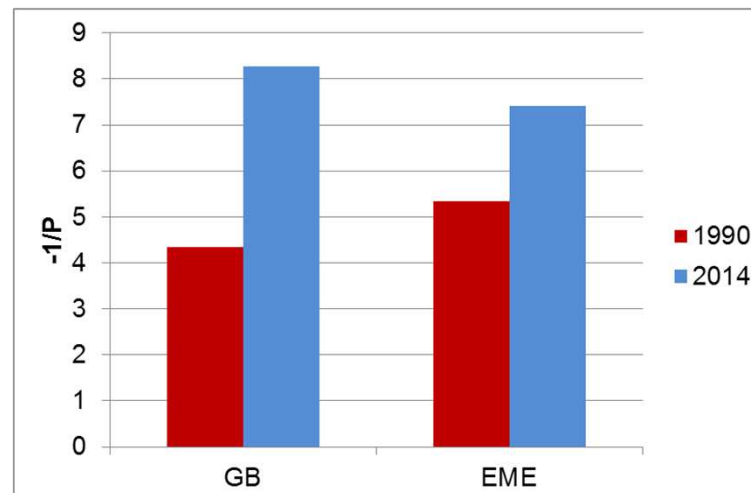
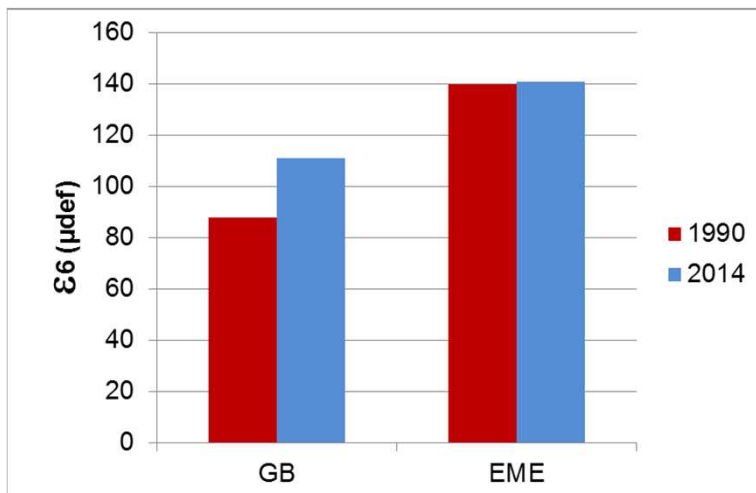


Exemples d'évolutions observées en laboratoire (2)

- Evolution de la résistance à la fatigue sur 24 ans

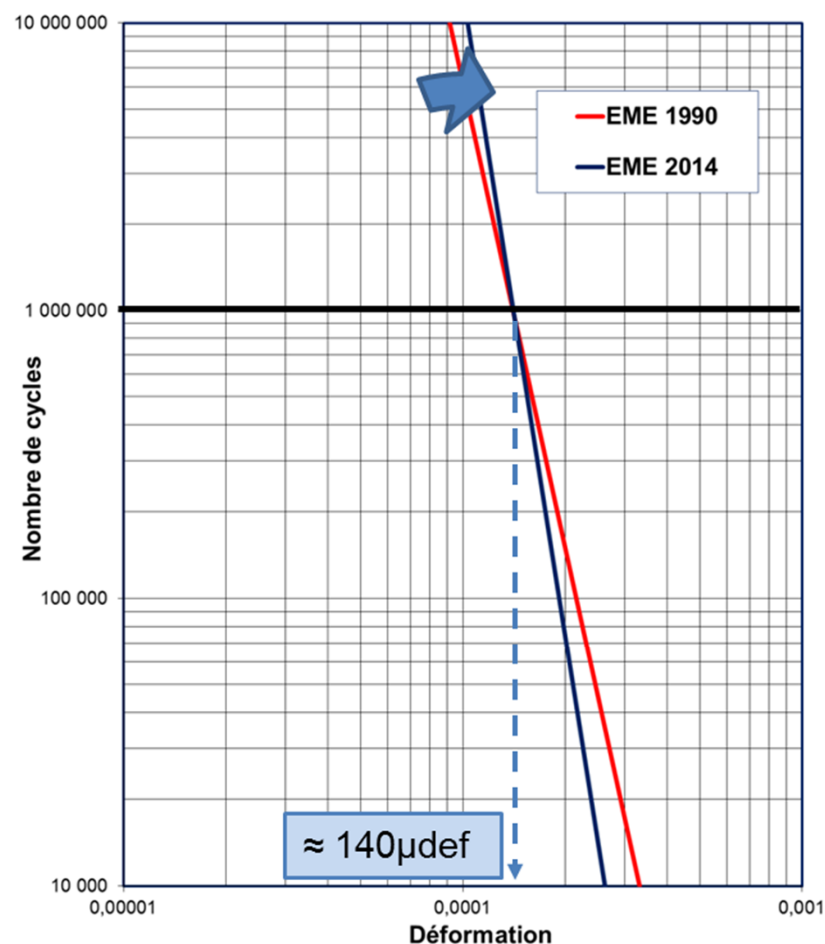
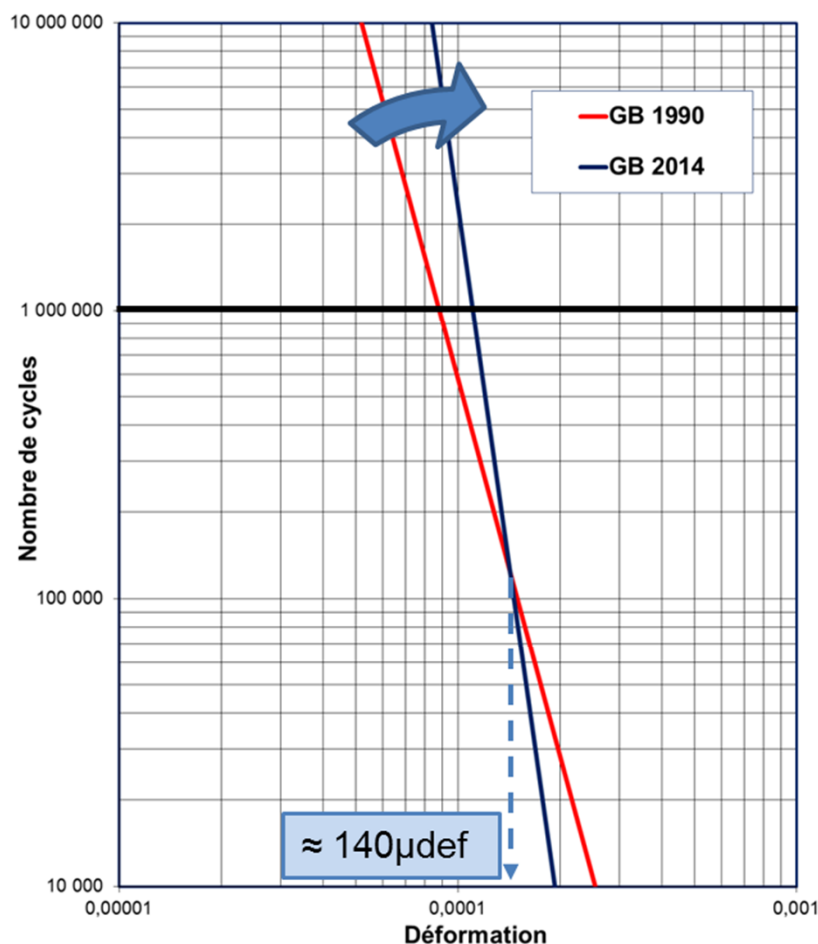
GB		
Année	1990	2014
$\epsilon_6 (10^{-6})$	88	111
-1/P	4,3	8,3

EME		
Année	1990	2014
$\epsilon_6 (10^{-6})$	140	141
-1/P	5,3	7,4



Exemples d'évolutions observées en laboratoire (2)

- Evolution de la résistance à la fatigue sur 24 ans

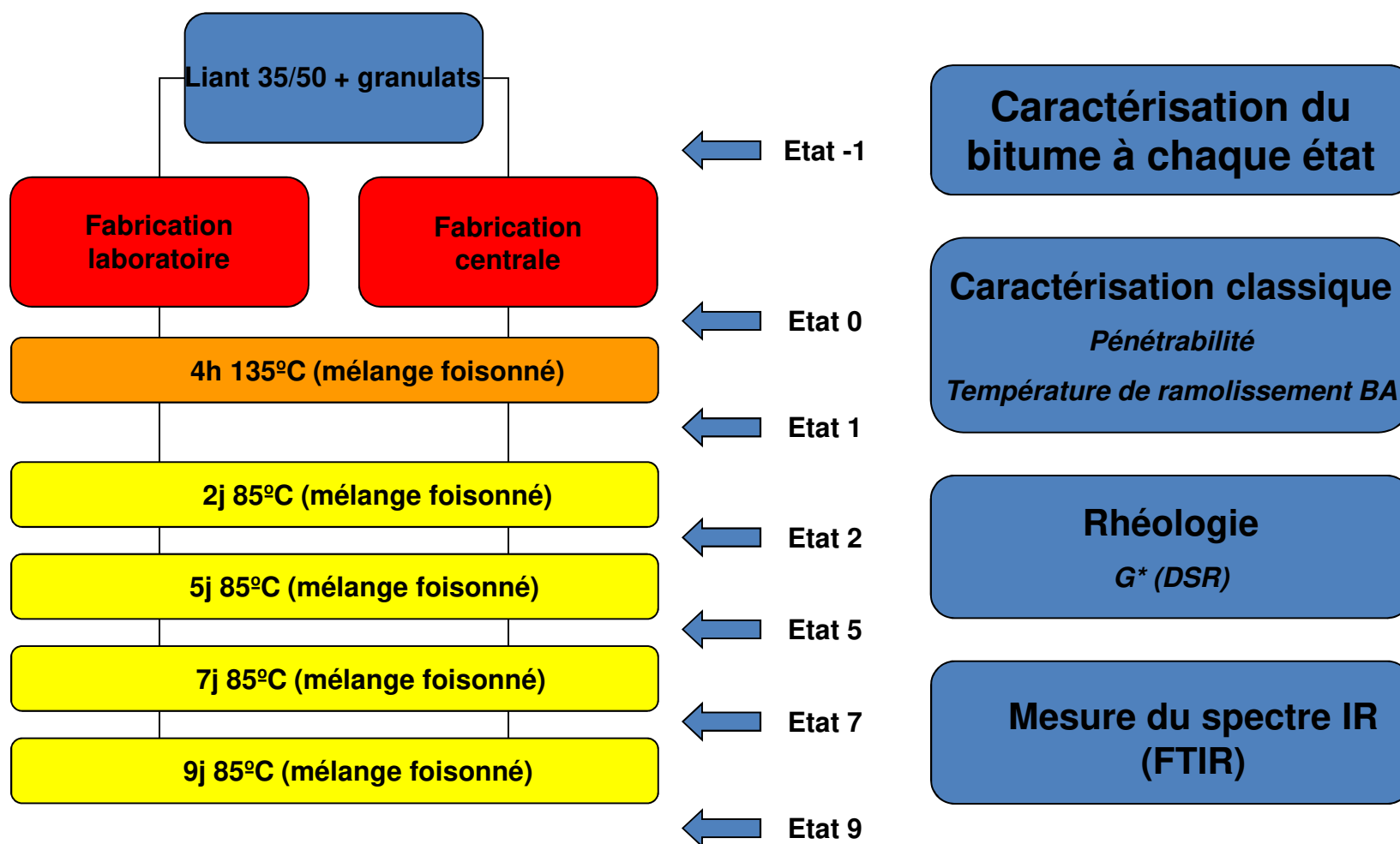


Evolutions observées: conséquences potentielles

- **À contrainte σ imposée**
(\approx couches d'assise/structures épaisses)
 - $|E^*| \nearrow \Rightarrow \varepsilon \searrow \Rightarrow \text{ddv} \nearrow$ (amélioration en fatigue)
- **À déformation ε imposée**
(\approx couches de roulement /structures souples)
 - $|E^*| \nearrow \Rightarrow \sigma \nearrow \Rightarrow \text{ddv} \searrow$ (contrainte limite de rupture)

Simulation du vieillissement en laboratoire

- Essai RILEM TC ATB : programme expérimental



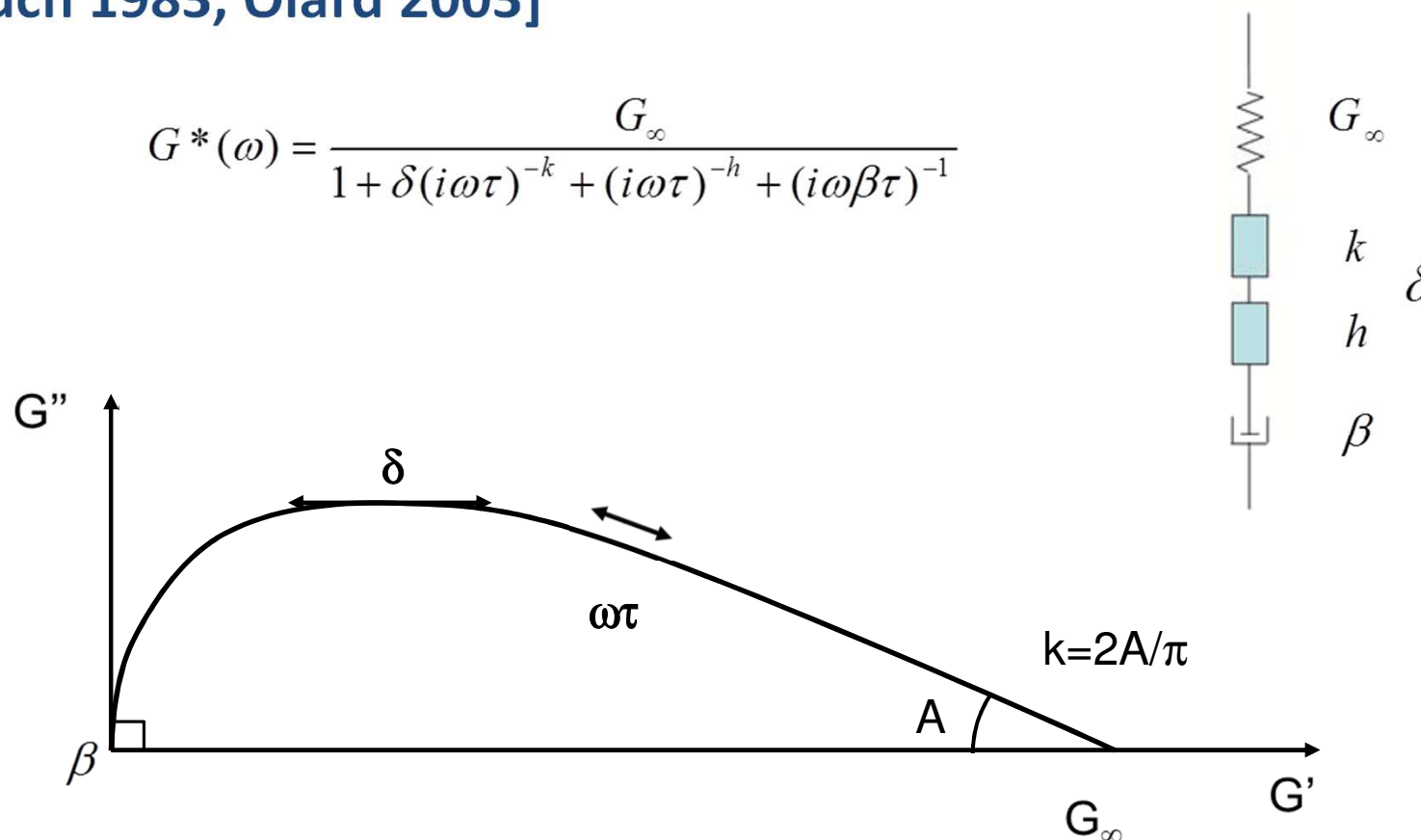
Simulation du vieillissement en laboratoire

- **Essai RILEM TC ATB: base de données DSR sur les bitumes extraits**
 - **Résultats complets pour**
 - Fabrication laboratoire: 4 labos
 - Fabrication centrale: 2 labos
 - **≈ 3000 valeurs ($|G^*|$ et angle de phase)**
 - **Prétraitement des données en utilisant le modèle de Huet modifié (100 valeurs \Rightarrow 6 paramètres)**

Simulation du vieillissement en laboratoire

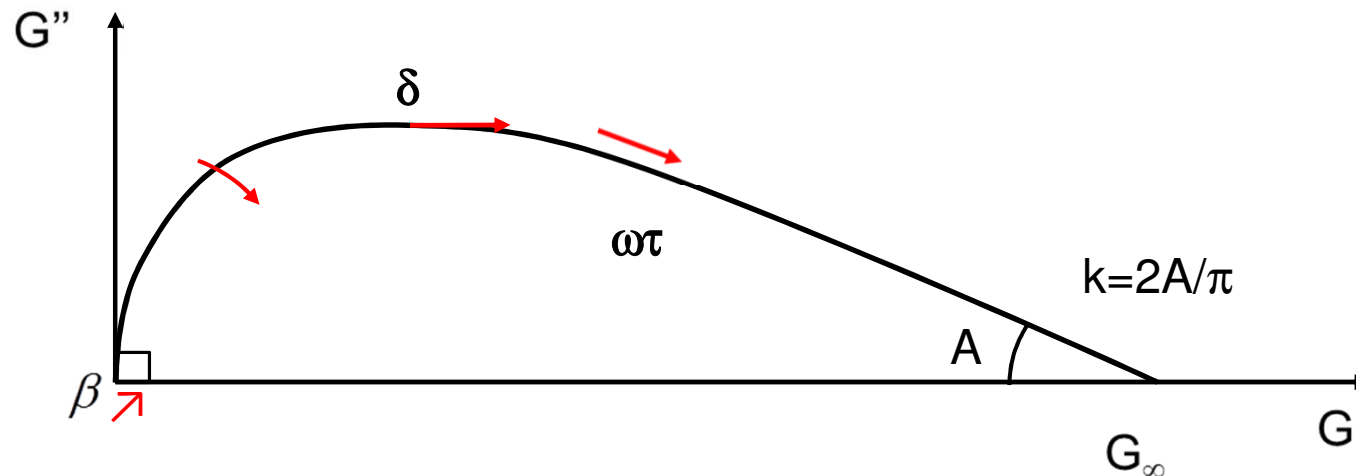
- **Essai RILEM TC ATB: Modèle de Huet modifié**
[Such 1983, Olard 2003]

$$G^*(\omega) = \frac{G_\infty}{1 + \delta(i\omega\tau)^{-k} + (i\omega\tau)^{-h} + (i\omega\beta\tau)^{-1}}$$



Simulation du vieillissement en laboratoire

- **Evolution des paramètres avec le vieillissement**
 - **même tendance dans tous les labs:**
 - G_{∞} et $k \approx$ constantes
 - $\beta, h, \delta \nearrow$ mais faible impact sur la forme générale
 - $\tau \nearrow$ fortement

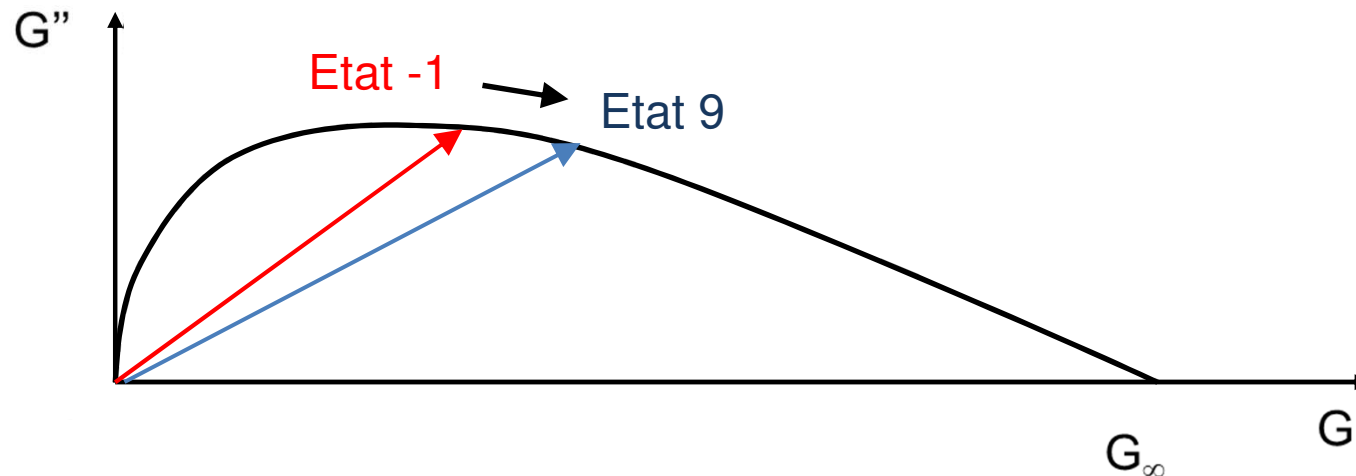


Simulation du vieillissement en laboratoire

• Evolution des paramètres avec le vieillissement

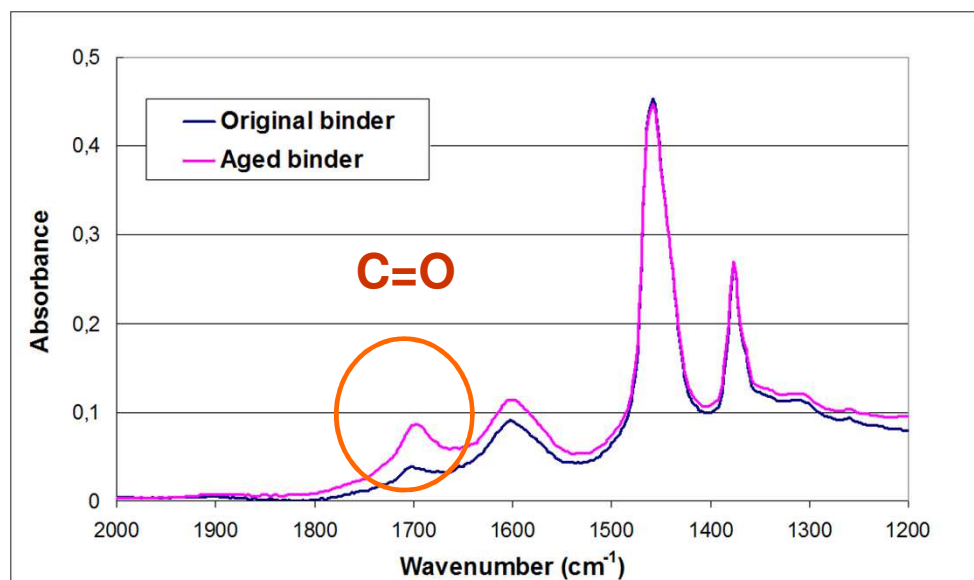
– En première approximation :

- Vieillessement \approx déplacement sur une abscisse curviligne
- Etat -1 à état 9 \approx fréquence $\times 14$ ou température -9°C



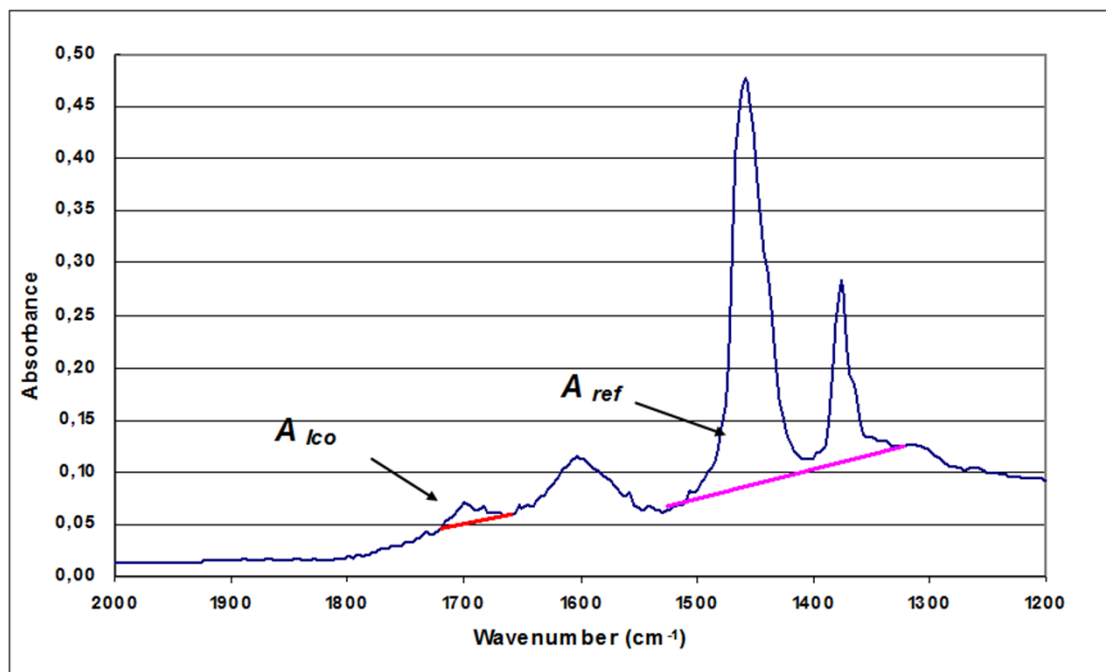
Caractérisation du vieillissement en laboratoire

- **Essai RILEM TC ATB: données FTIR**
 - Principal facteur de vieillissement : oxydation
 - Principaux composés chimiques formés par oxydation
 - Carbonyles $\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{R}'}{\text{C}}}$, sulfoxydes $\text{R}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{R}'}{\text{S}}}$
 - Ces composés peuvent être identifiés par des bandes d'absorption spécifiques dans le spectre infra-rouge



Caractérisation du vieillissement en laboratoire

- Mais différentes méthodes de calcul d'indice d'oxydation sont utilisées dans les laboratoires
- Exemple: méthode des aires



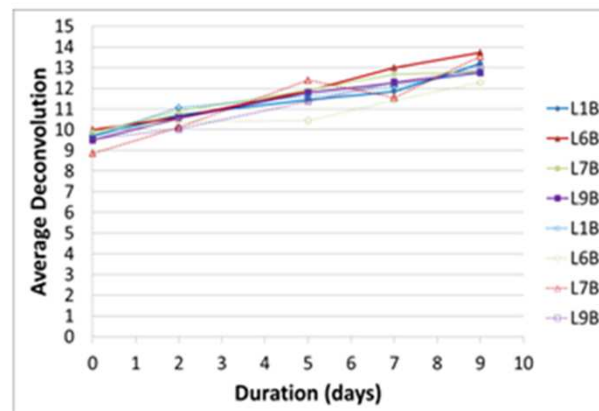
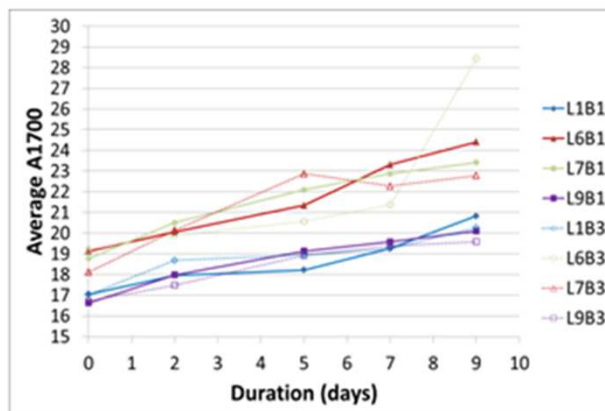
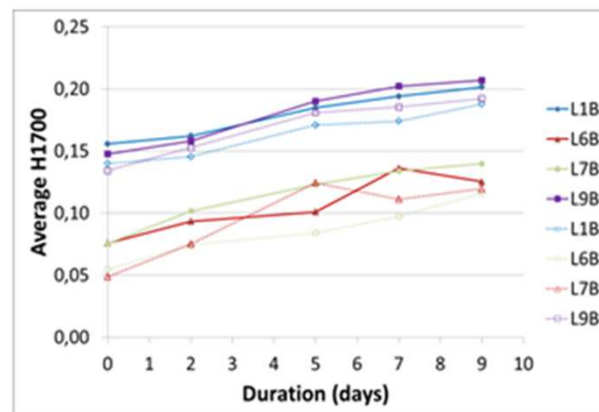
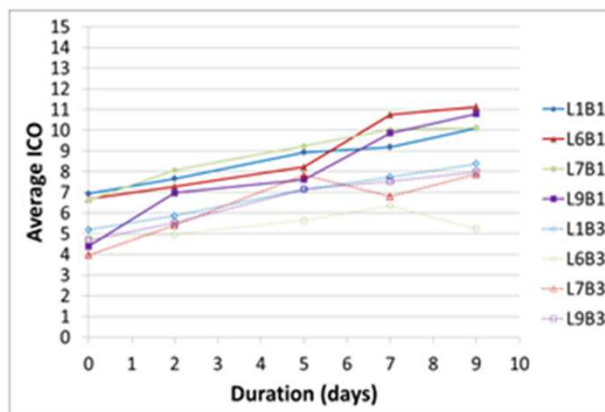
A_{ico} = aire carbonyles au dessus de la ligne de base 1160, 1723 cm^{-1}

A_{ref} = aire de référence non affectée par le vieillissement au dessus de la ligne de base 1350, 1525 cm^{-1}

$$I_{co} = A_{ico} / A_{ref}$$

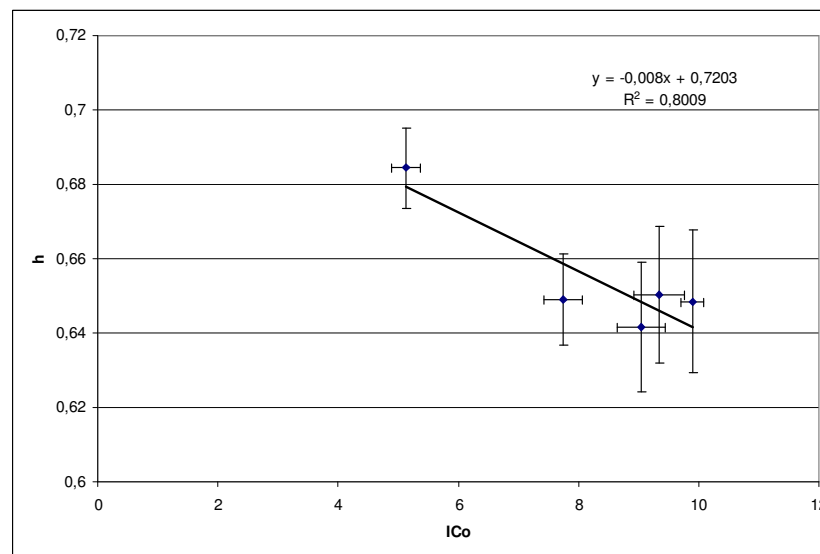
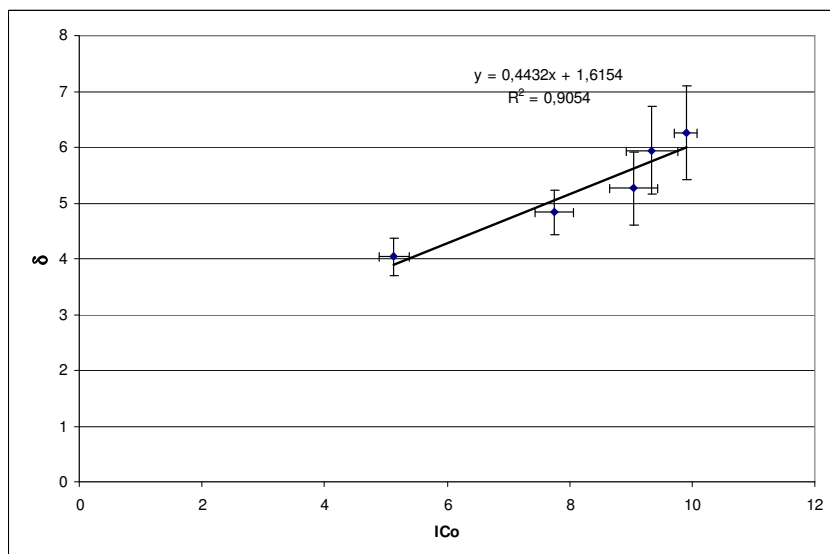
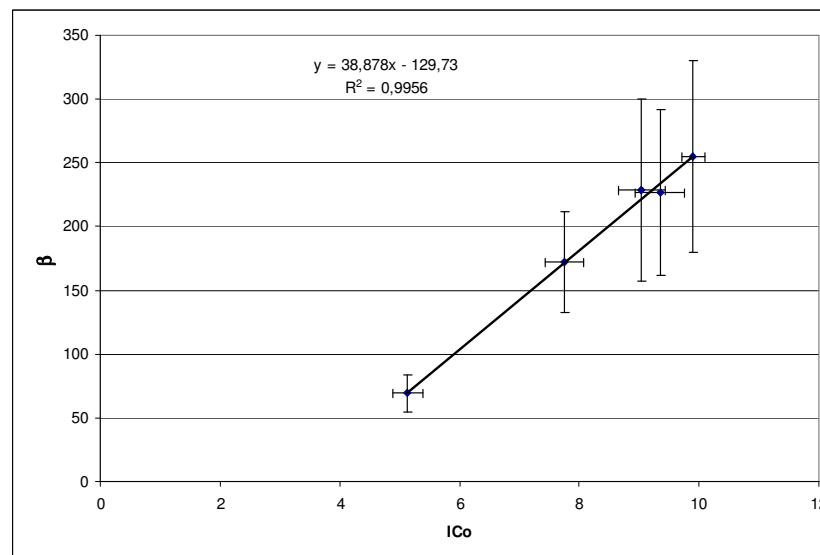
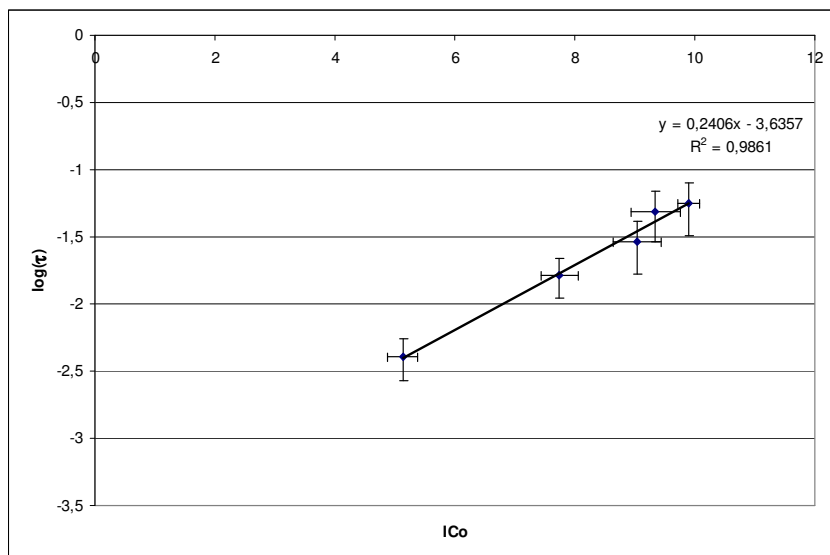
Caractérisation du vieillissement en laboratoire

- Ico : évolutions suivant différentes méthodes de calcul



Résultats différents suivant le mode de calcul adopté mais même tendance

Relations empiriques I_{co} / paramètres $\log(\tau)$, β , δ et h



Prédiction de $|G^*|$ à partir de l'indice I_{co} ?

- **Caractérisation initiale**

$$G_{orig}^*(\omega) = \frac{G_{\infty}}{1 + \delta(i\omega\tau)^{-k} + (i\omega\tau)^{-h} + (i\omega\beta\tau)^{-1}}$$

- **Estimation des paramètres pour un I_{co} donné**

$$G_{\infty \text{ vieilli}} \approx G_{\infty}$$

$$\delta_{\text{vieilli}} \approx \delta + b \cdot \Delta I_{co}$$

$$k_{\text{vieilli}} \approx k$$

$$h_{\text{vieilli}} \approx h + c \cdot \Delta I_{co}$$

$$\tau_{\text{vieilli}} \approx \tau \cdot 10^{a \cdot \Delta I_{co}}$$

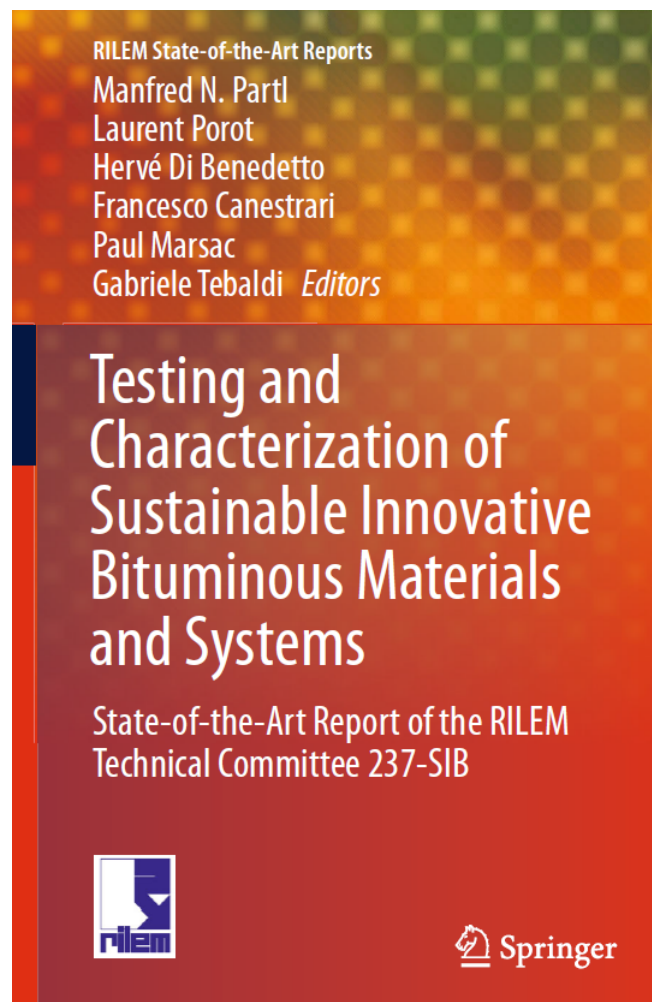
$$\beta_{\text{vieilli}} \approx \beta + d \cdot \Delta I_{co}$$

Prédiction de $|G^*|$ à partir de l'indice I_{co} ?

- **Limites**
 - relations strictement empiriques
 - estimées sur un seul bitume
 - multiples méthodes de calculs d'indices
 - caractérisation du bitume initial indispensable
 - représentativité de la méthode de vieillissement
 - généralisable ? (projet ANR MOVEDVDC)

Publications

- **RILEM TC 237-SIB State-of-the-Art Report:**



Chapitre 5: Recycling

Merci de votre attention

Paul MARSAC
IFSTTAR
paul.marsac@ifsttar.fr