



RELATIONS ENTRE PROPRIÉTÉS DES LIANTS ET CARACTÉRISTIQUES DES ENROBÉS

LES LIANTS HYDROCARBONES
Montréal, 15 au 17 novembre 2005

Session de formation réalisée par Bitume Québec en collaboration avec l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et l'Ecole de technologie supérieure

Bernard ECKMANN - EUROVIA

INTRODUCTION

Intérêt de la relation Liant / Enrobé

- Optimisation des performances
 - Enrobés
 - Liants
- Rationalisation des études de laboratoire
- Etablissement de spécifications performanciennes

Spécifications SUPERPAVE, normalisation européenne
- Bitumes modifiés et spéciaux !

Les relations empiriques établies pour les bitumes purs ne sont plus vérifiées !

INTRODUCTION

Un problème difficile

Liant → Enrobé → Comportement in-situ

- Imbrication d'un grand nombre de paramètres
 - Formulation et constituants de l'enrobé
 - Modes d'endommagement multiples et concomitants
 - Incidence des facteurs extérieurs (climat, trafic)
 - Pertinence, représentativité des essais de laboratoire
 - Essais sur Liants / Essais sur Enrobés
 - Essais sur Enrobés / Comportement in-situ
- ➔ Nous allons nous focaliser sur les relations Liant / Enrobé dans le cadre des essais de laboratoire !

INTRODUCTION

« Etat de l'Art ».

Principales sources :

- Session Formation ENPC (J.F. Corte / J. Samanos)
- Conférences Eurasphalte & Eurobitume
 - Strasbourg, 1996
 - Barcelone, 2000
 - Vienne, 2004
- Workshops Eurobitume : 1995, 1999
- Séminaires RILEM (1997, 2003)
 - Lyon, 1997
 - Zürich, 2003
- AAPT,

Mais il est difficile d'être exhaustif !

PLAN DE L'EXPOSE

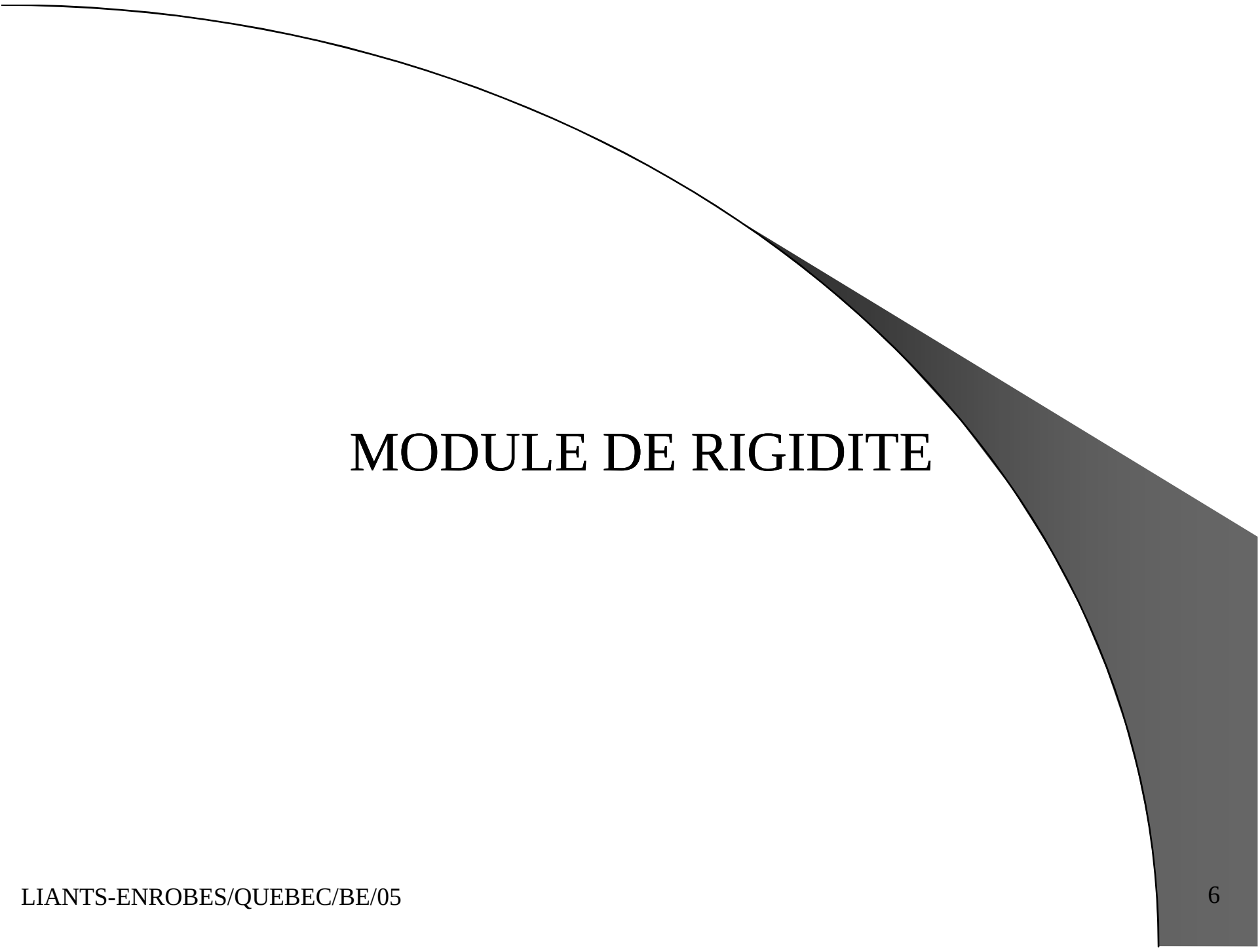
LES PRINCIPALES PROPRIETES CONSIDEREES

- Module de rigidité
- Résistance à l'orniérage
- Résistance à la fatigue
- Fissuration à basse température
- Fissuration par fatigue thermique

LES TROUBLE-FÊTE

Ce qui rend les corrélations aussi difficiles !

CONCLUSIONS

A decorative graphic element consisting of a thin black curved line starting from the top left and sweeping down towards the bottom right. A dark gray shaded area is located in the lower right quadrant, bounded by the curve and a vertical line.

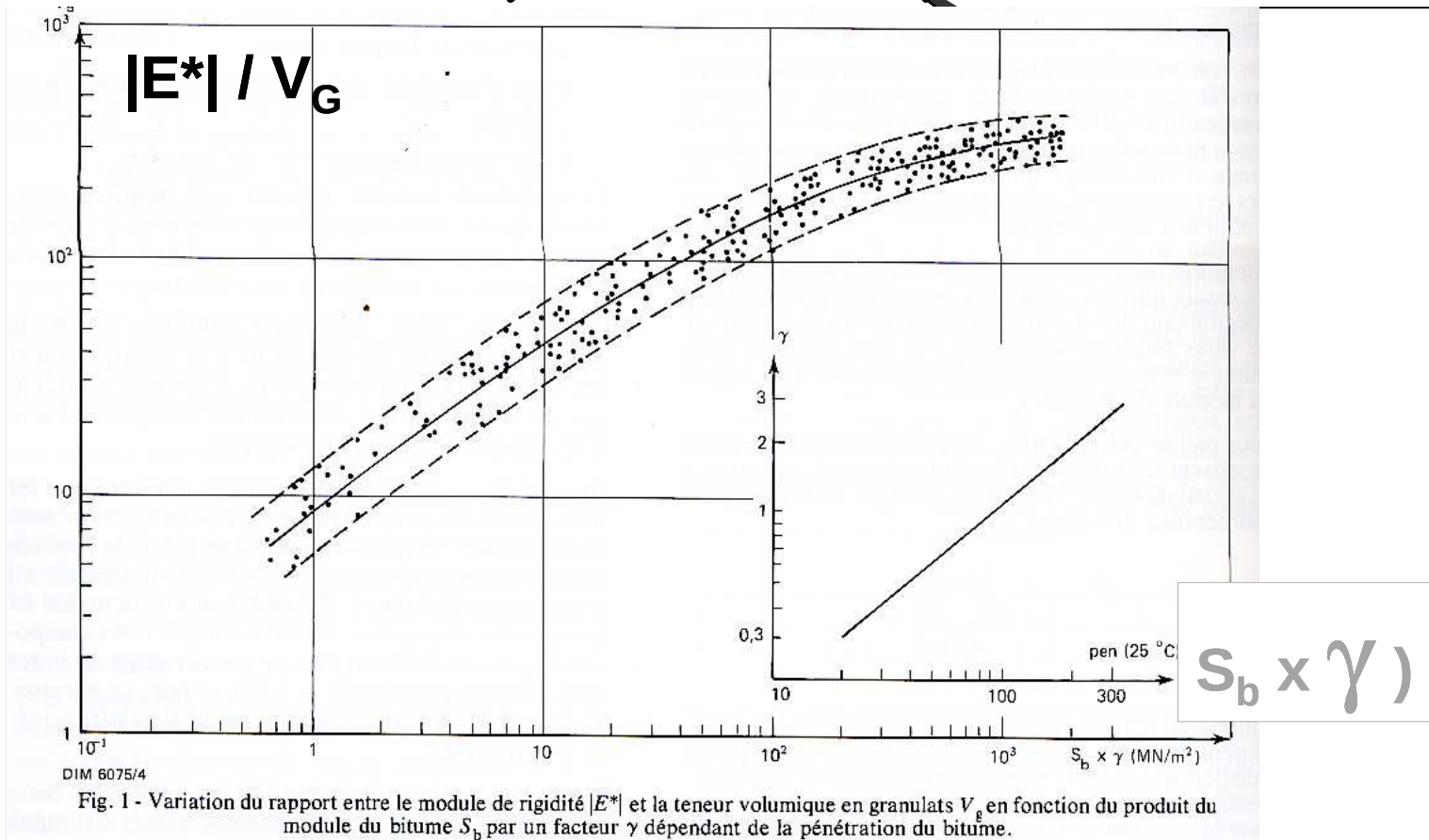
MODULE DE RIGIDITE

MODULE DE RIGIDITE

CRR Belgique

$$|E^*| = f(V_G, S_b, \gamma)$$

Avec $\gamma = f(\text{Pen. } 25^\circ\text{C})$

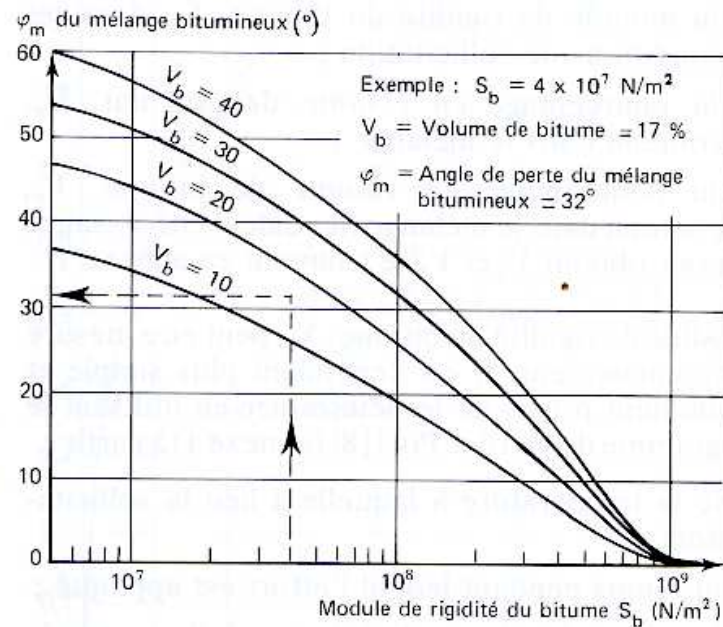


MODULE DE RIGIDITE

Abaque SHELL

$$S_m = f(S_b, V_b, V_g)$$

$$\phi_m = f(S_b, V_b)$$



Ugé,.... BLLPC, Spécial V, 1977

LIANTS-ENROBES/QUEBEC/BE/05

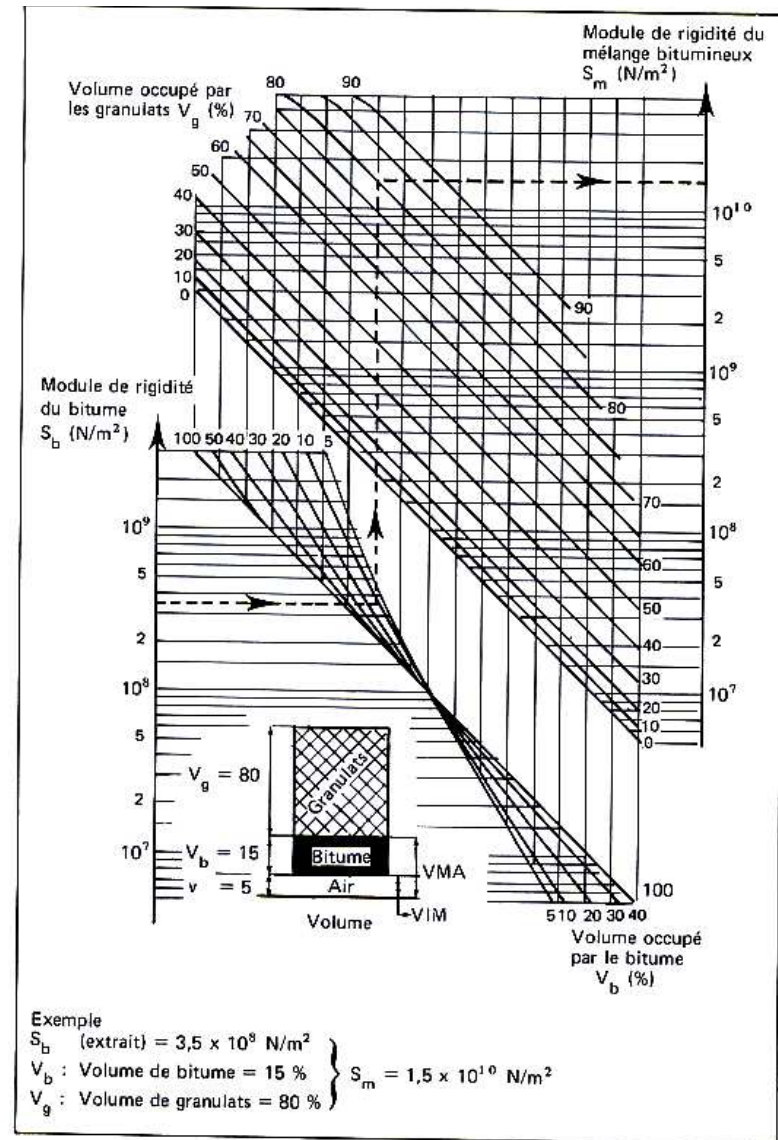
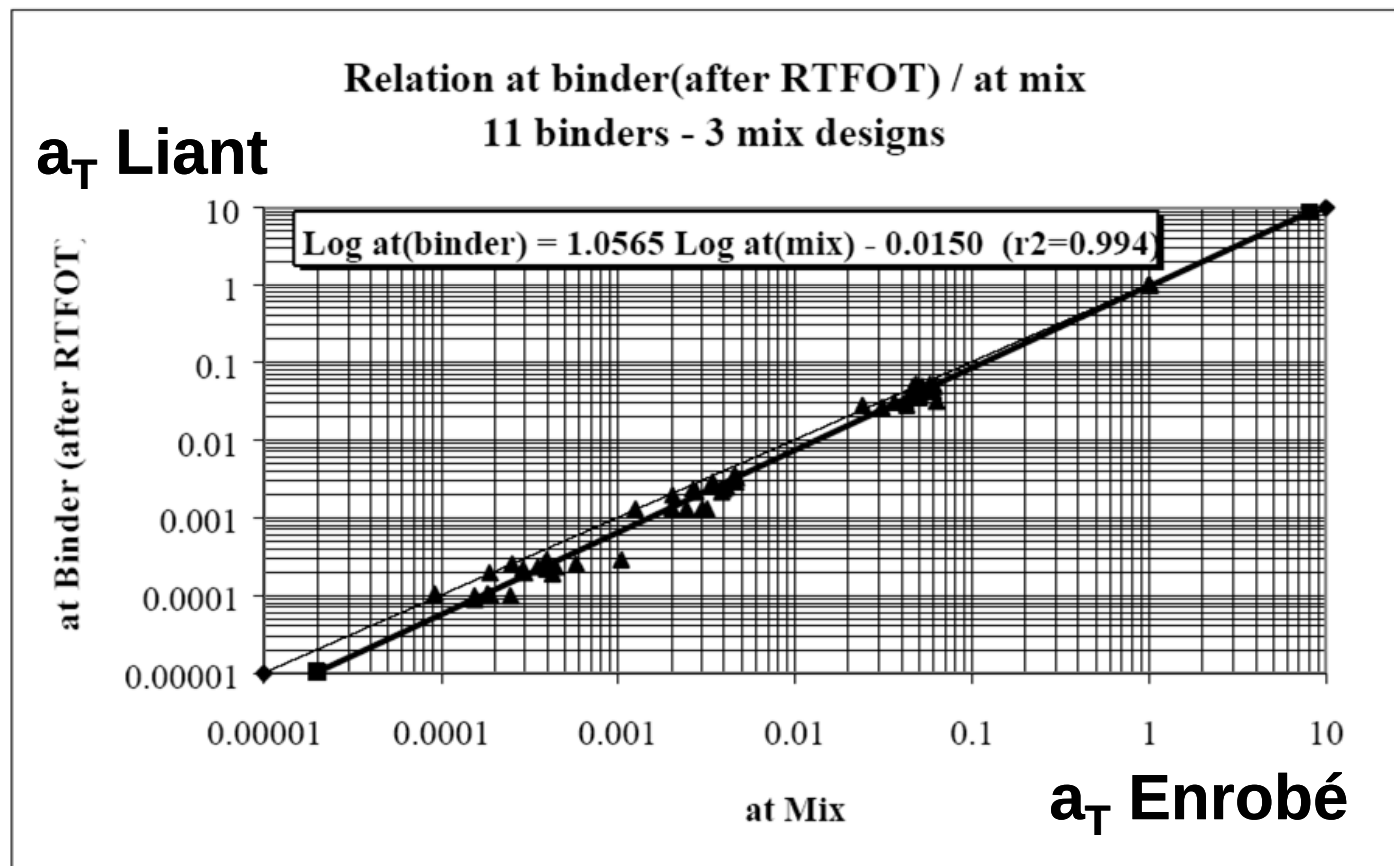


Fig. 10 - Nomogramme de calcul du module de rigidité des mélanges bitumineux.

MODULE DE RIGIDITE

Une étroite relation bitumes purs

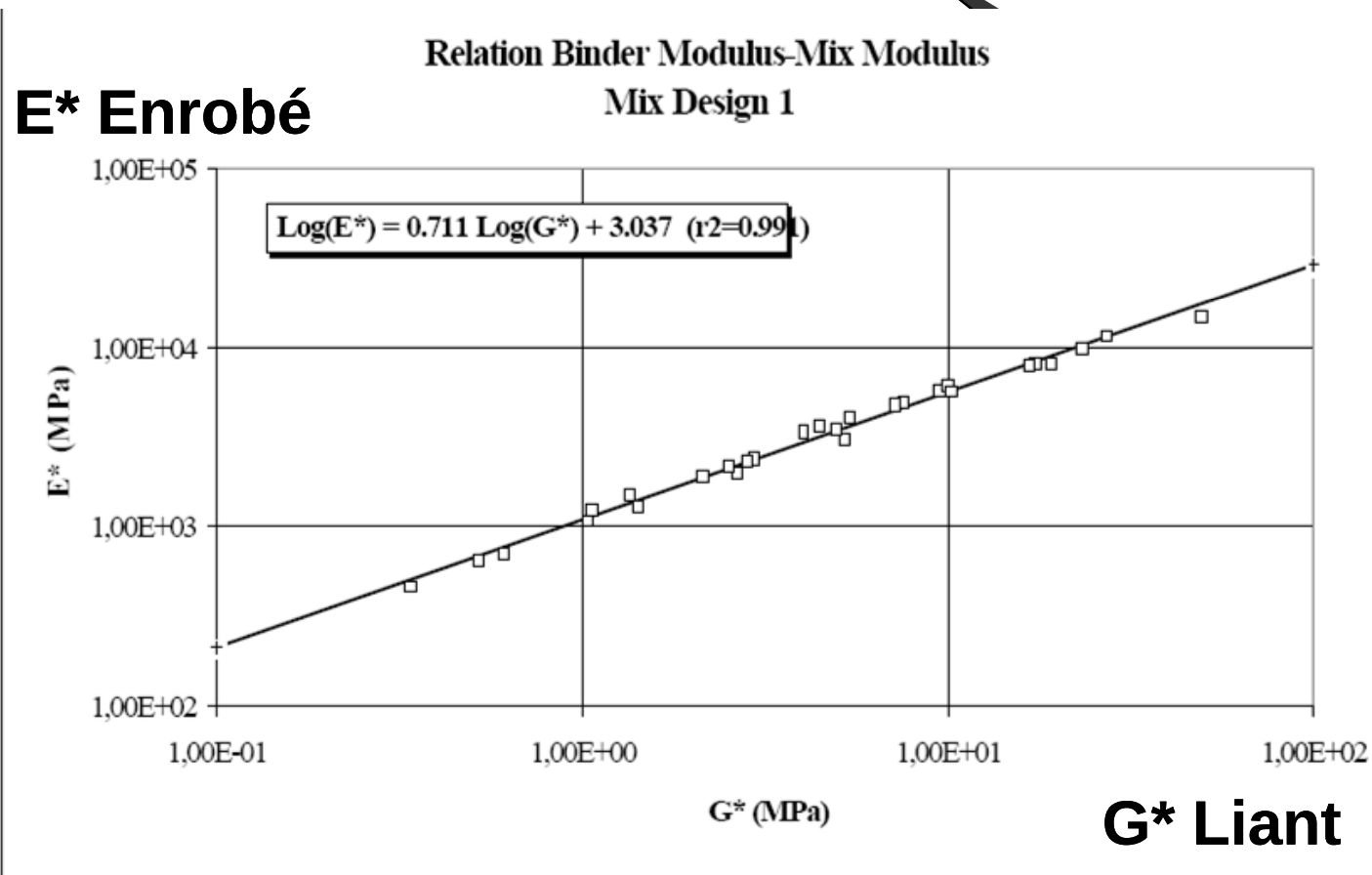
Facteurs de translation (a_T)



MODULE DE RIGIDITE

Une étroite relation bitumes purs

Modules de rigidité



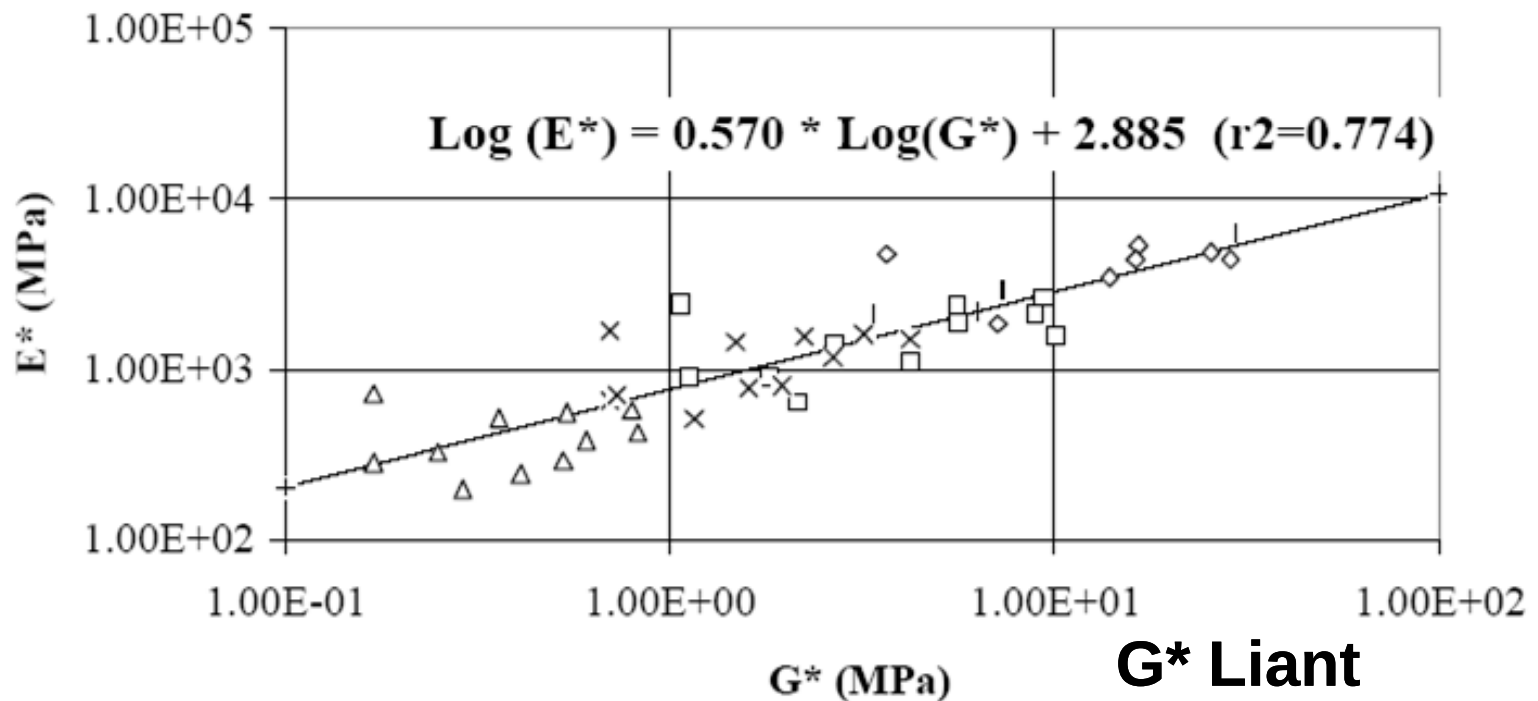
MODULE DE RIGIDITE

Une étroite relation bitumes modifiés

Modules de rigidité

Enrobé microvia 0/6 discontinu 2/4

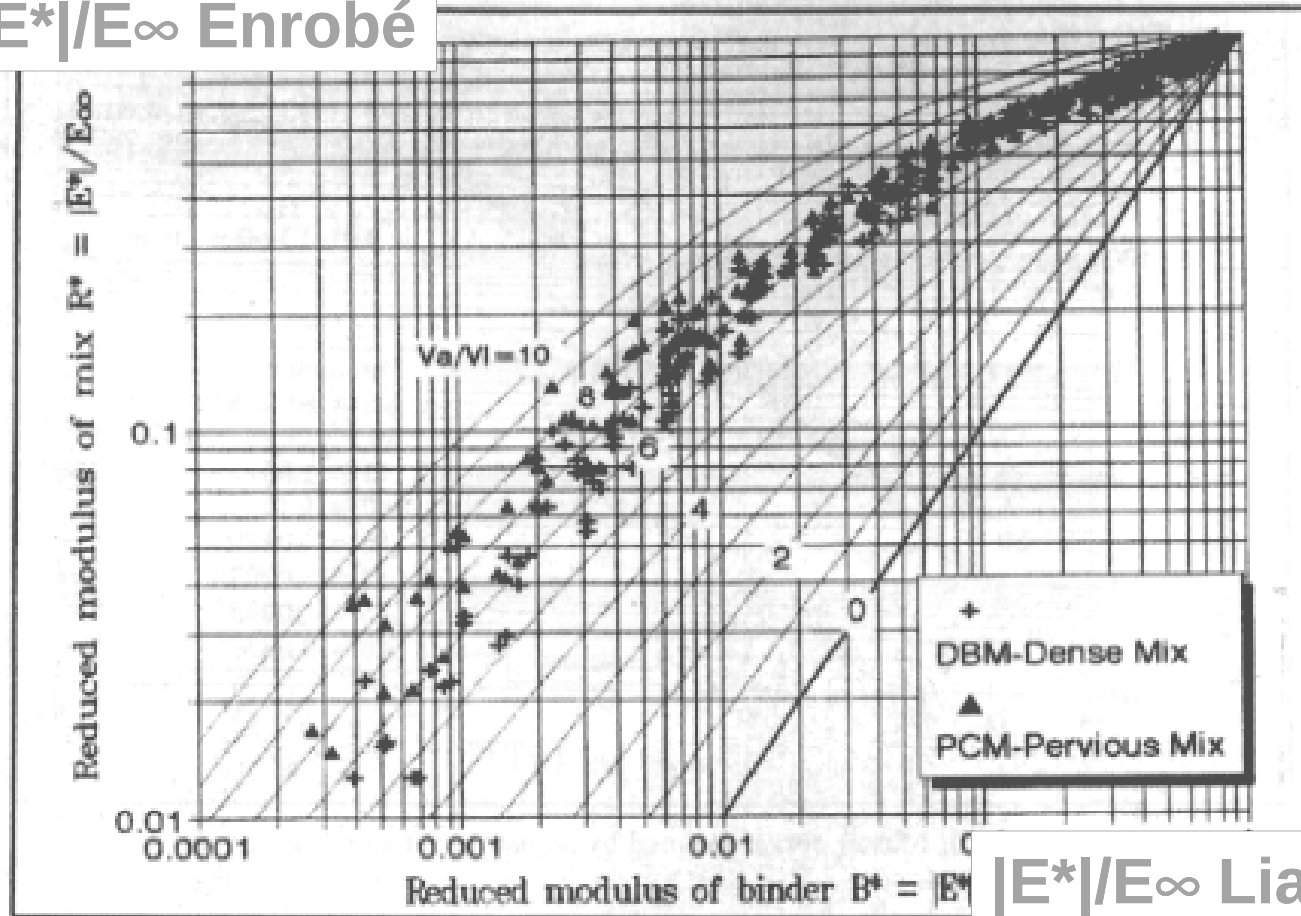
E* Enrobé



MODULE DE RIGIDITE

Bitumes modifiés : les modèles restent vérifiés (CRR)

$|E^*|/E_\infty$ Enrobé

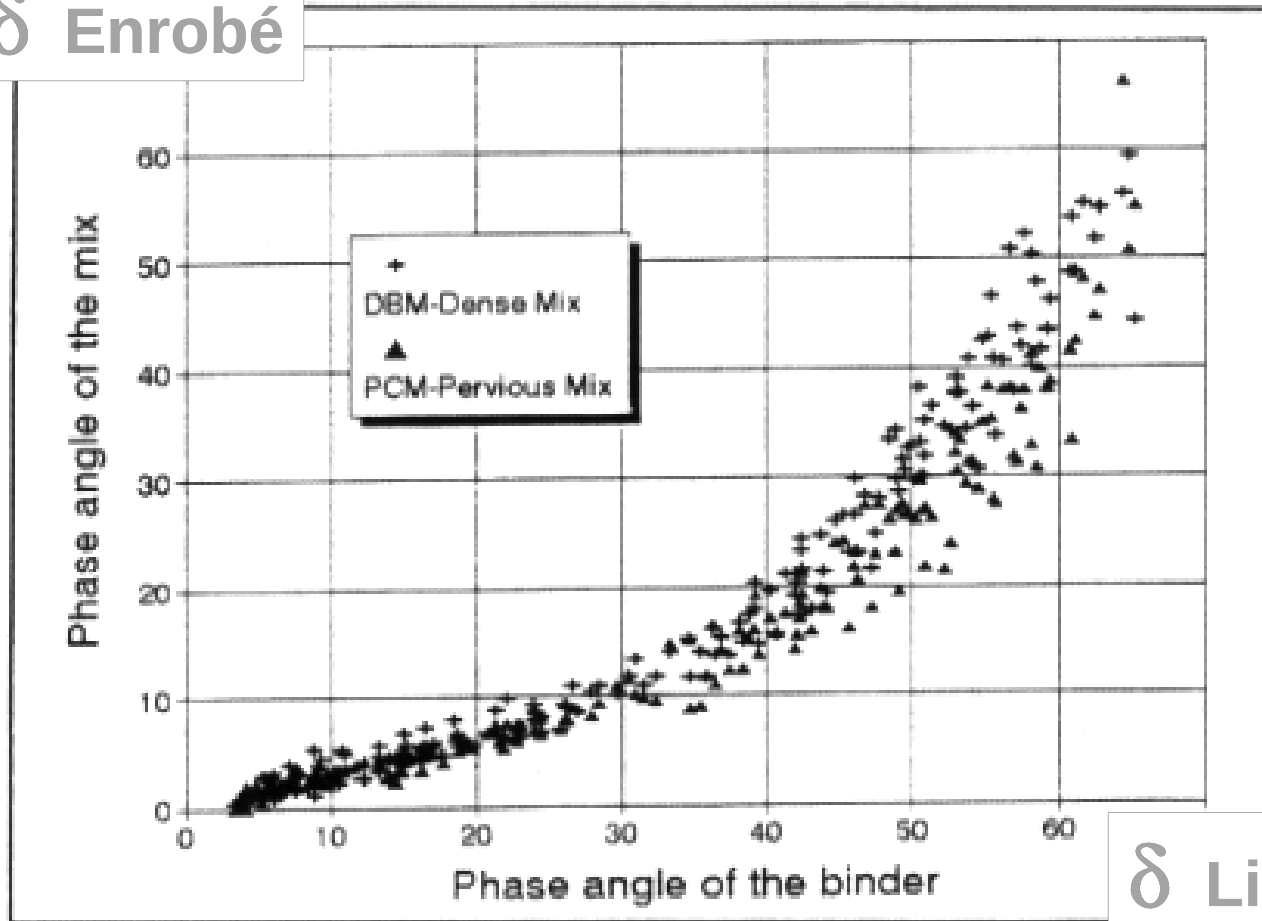


$|E^*|/E_\infty$ Liant

MODULE DE RIGIDITE

Relation entre les angles de phase (CRR)

δ Enrobé



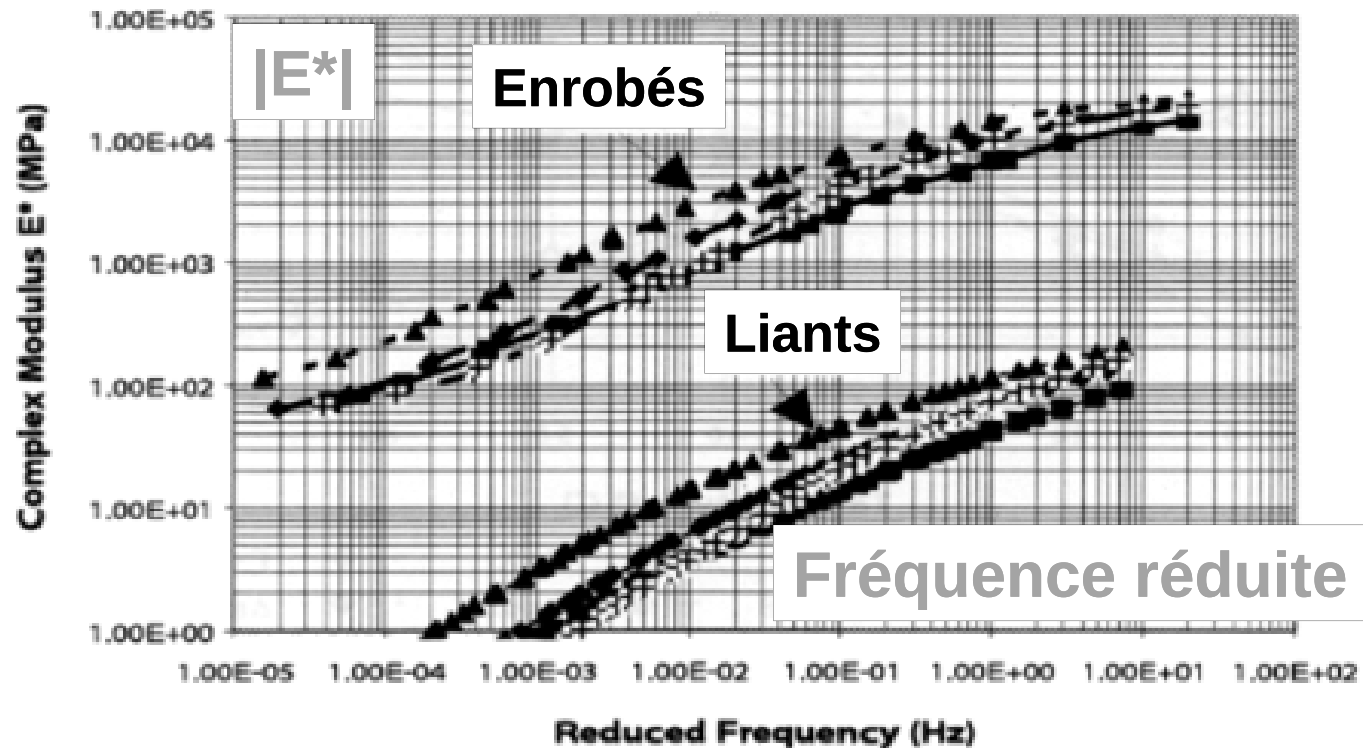
δ Liant

MODULE DE RIGIDITE

En affinant l'analyseModules de rigidité

Courbes maîtresses Enrobés // Courbes maîtresses Liants

Mais infléchissement des courbes Enrobé aux faibles modules !

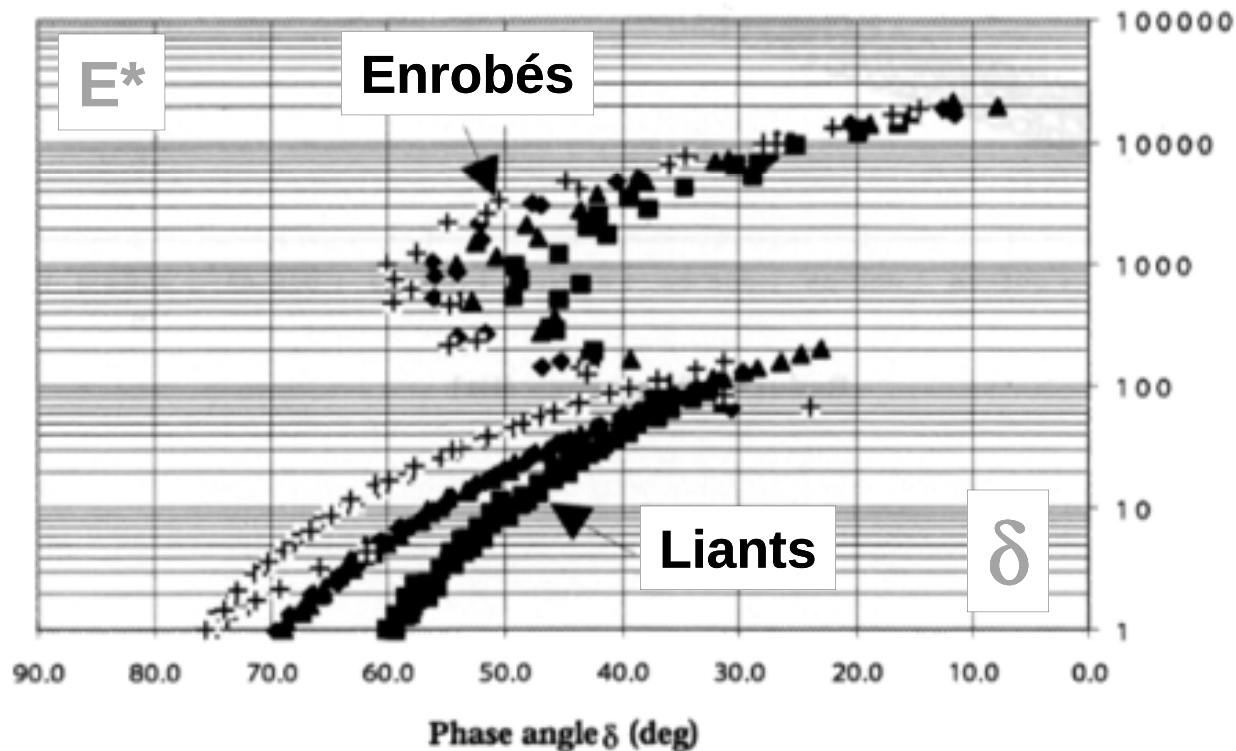


MODULE DE RIGIDITE

En affinant l'analyseAngles de phase

δ Enrobé passe par un maximum !

➔ Impact du squelette granulaire lorsque G^* liant devient faible



MODULE DE RIGIDITE

En affinant l'analyse Bitumes purs / modifiés

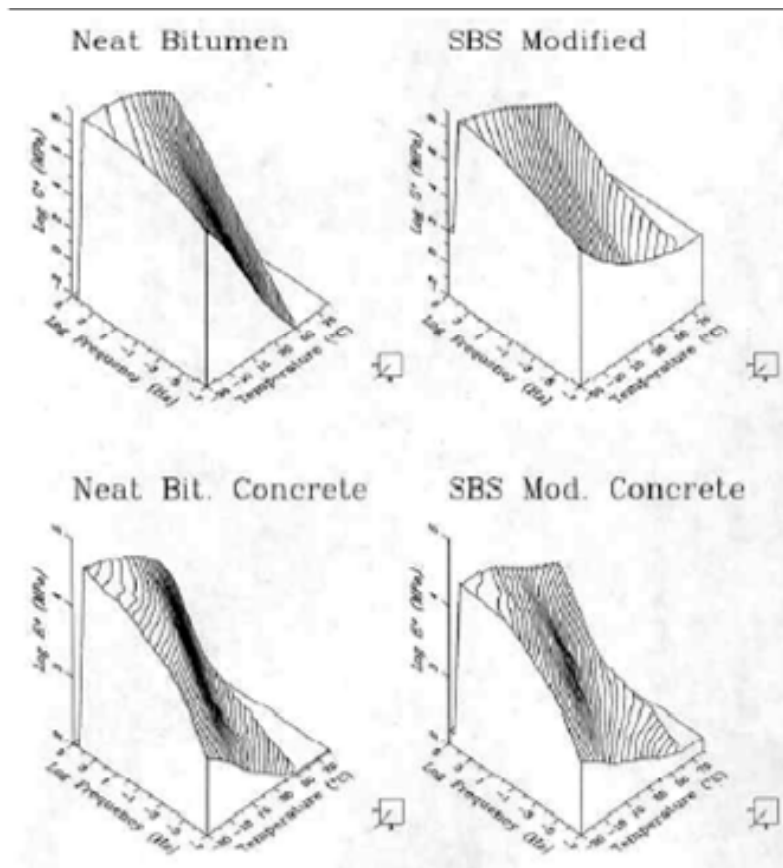


Figure 1 - Complex modulus vs. temperature and frequency

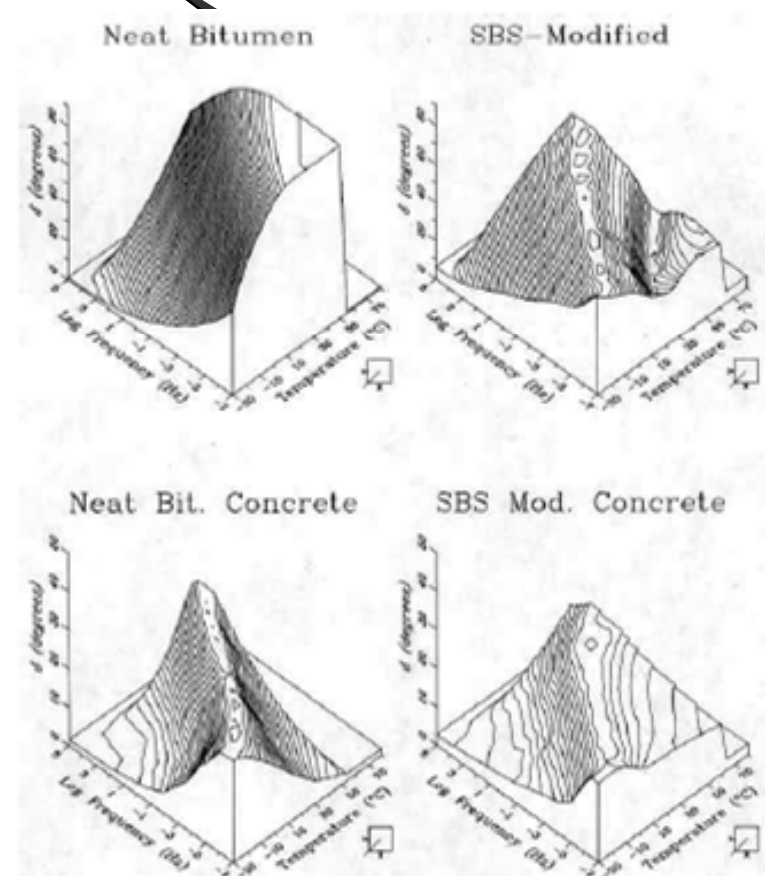
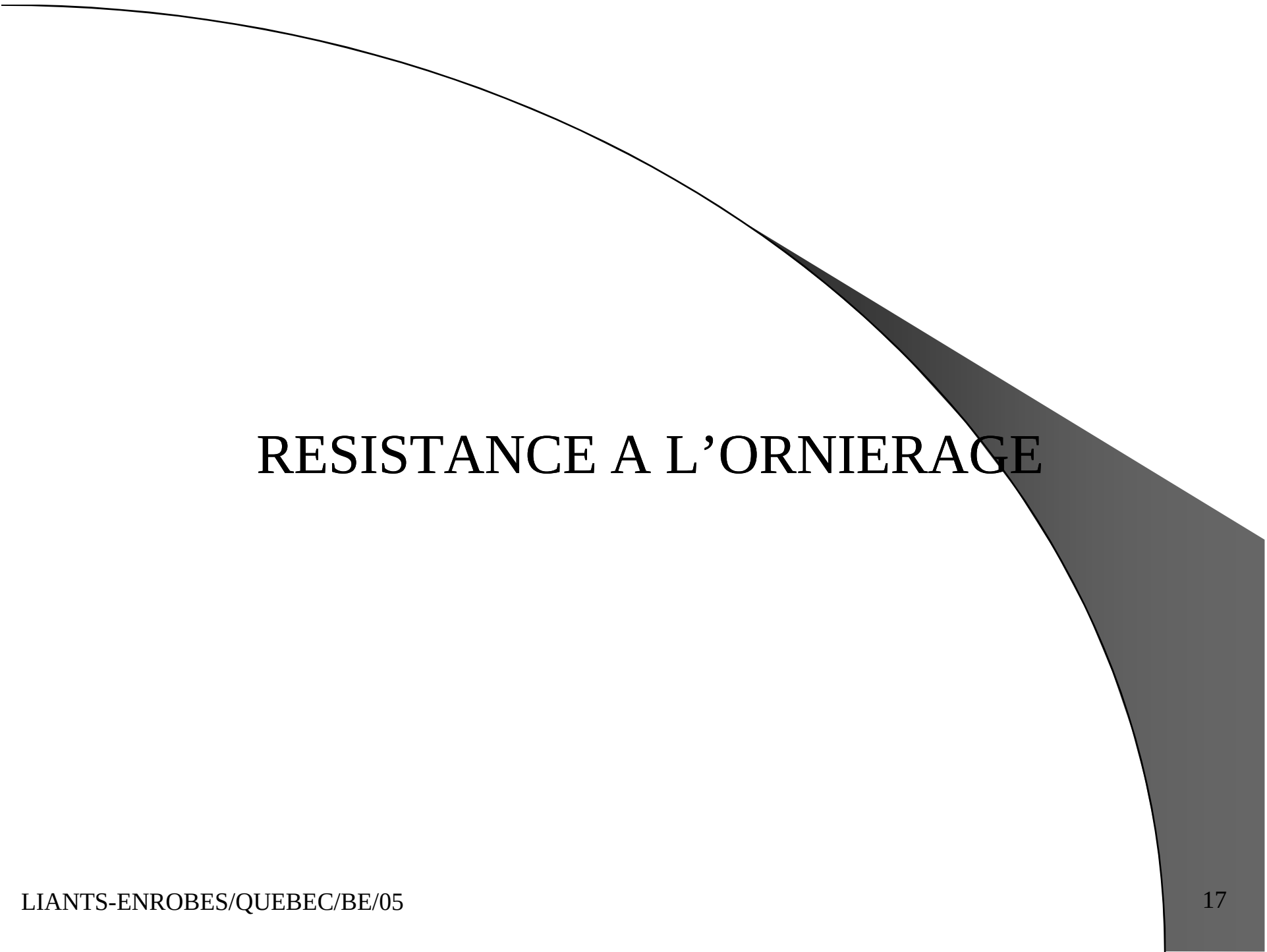


Figure 4 - Phase angle vs. temperature and frequency

A decorative graphic element consisting of a thin black curved line starting from the top left and sweeping down towards the bottom right. A dark gray shaded area is located in the lower right portion of the slide, bounded by the curve and a vertical line.

RESISTANCE A L'ORNIERAGE

RESISTANCE A L'ORNIERAGE

ESSAIS DE SIMULATION

- Simulateur de trafic (orniéreur, wheel-tracking, ...)
- Manèges

Etudes de formulation (critères d'acceptation)

ESSAIS SUR EPROUVETTES

- Essais de fluage statique
- Essais de fluage dynamique

Etudes de formulation

Etablissement de « lois de fluage » = f (contraintes, temp.)

RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Fluage dynamique : impact des conditions d'essai

Champ des contraintes (σ_v, σ_h)

Fréquence

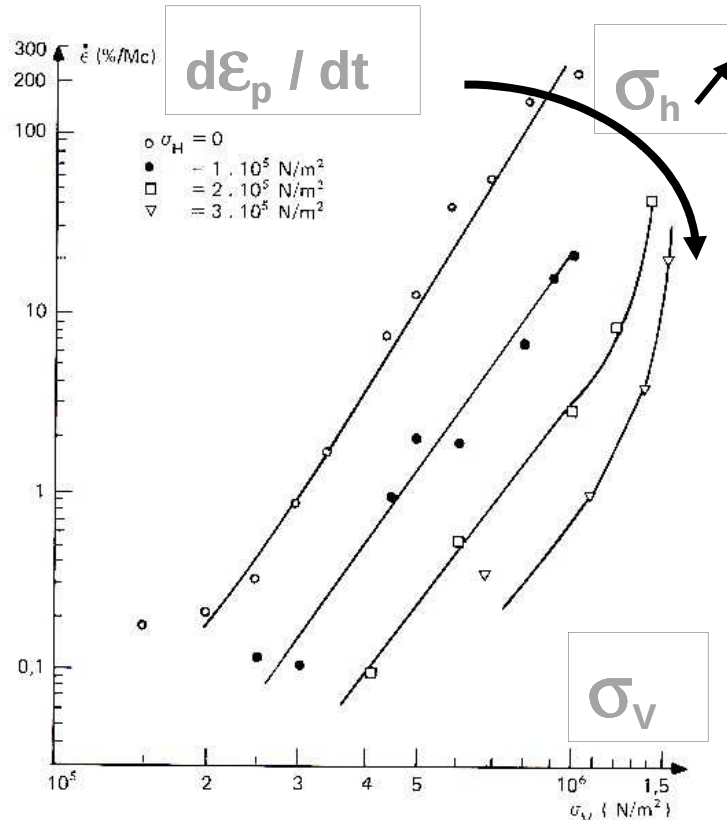


Fig. 11 - Grave-bitume au 40/50 ; résultats des essais de fluage dynamique à 30 °C et 10 Hz.

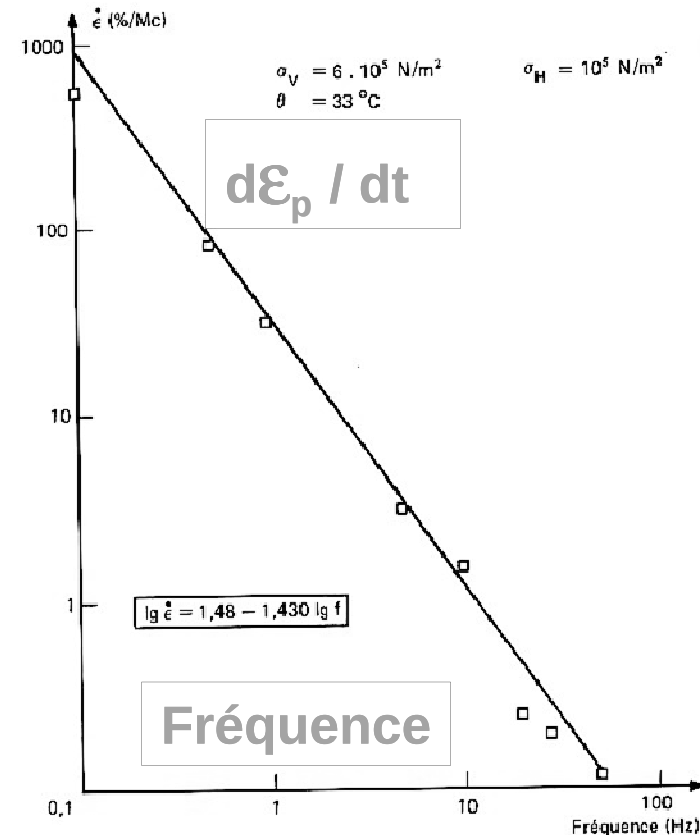


Fig. 15 - Grave-bitume au 40/50 ; influence de la fréquence sur le taux de fluage sous un même état de contraintes.

RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Fluage dynamique : impact de la formulation

Type d'enrobé & bitume

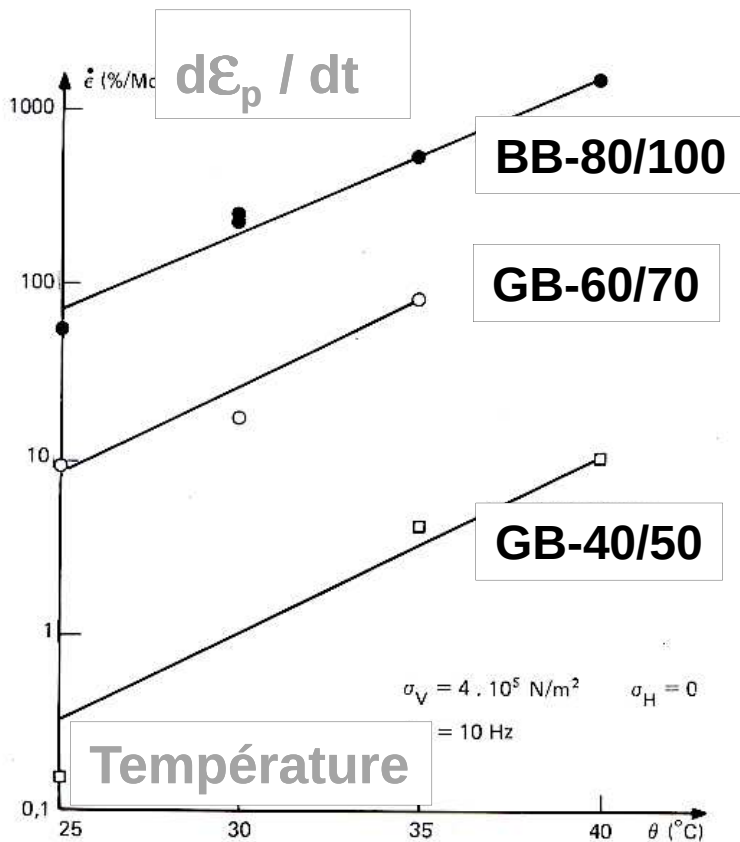


Fig. 16 - Evolutions comparées avec la température du taux de fluage de trois enrobés différents.

Teneurs en fines & bitume

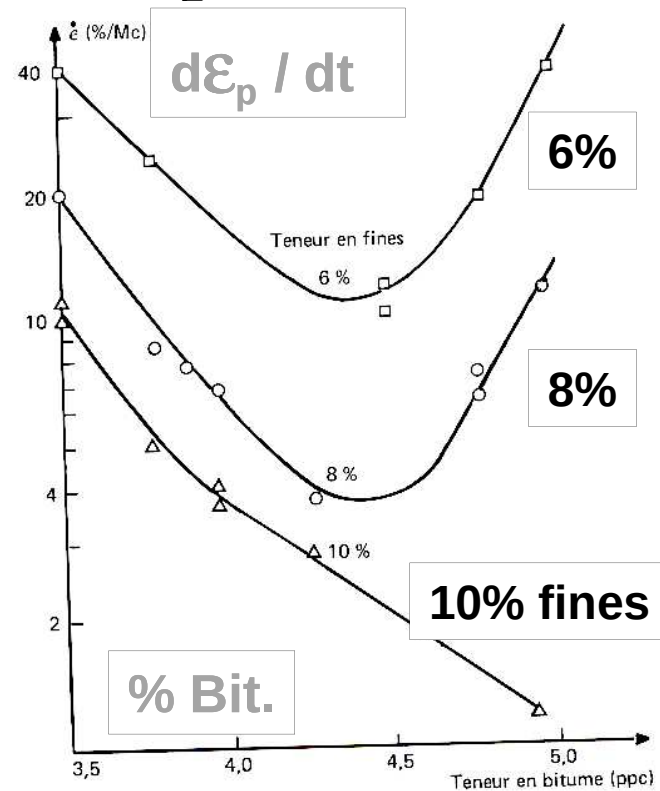


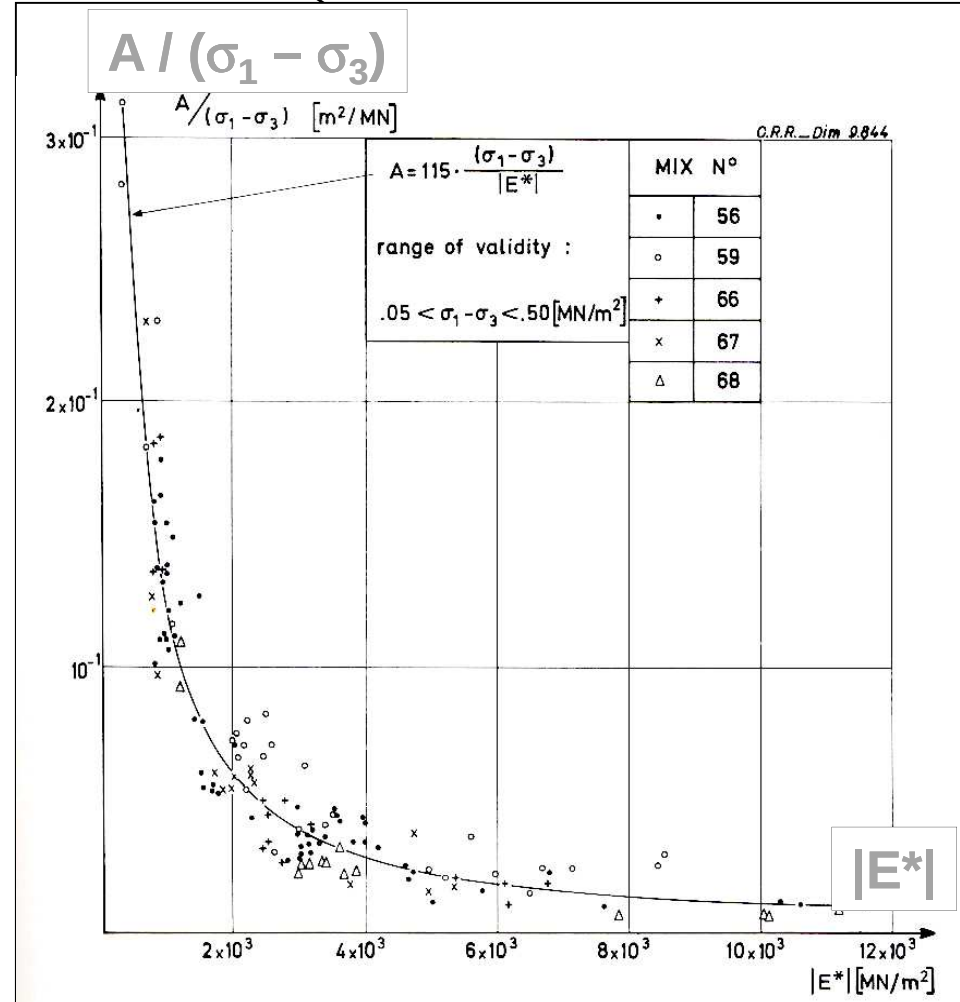
Fig. 25 - Variation du taux de fluage dynamique $\dot{\epsilon}$ d'une grave-bitume au 40/50, entièrement concassée, en fonction de sa teneur en fines et de sa teneur en bitume (sans pression latérale).

RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Fluage dynamique : Loi de fluage du CRR

$$\varepsilon_p(t) = 115 \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{|E^*|} \left(\frac{t}{1000} \right)^{0.25}$$

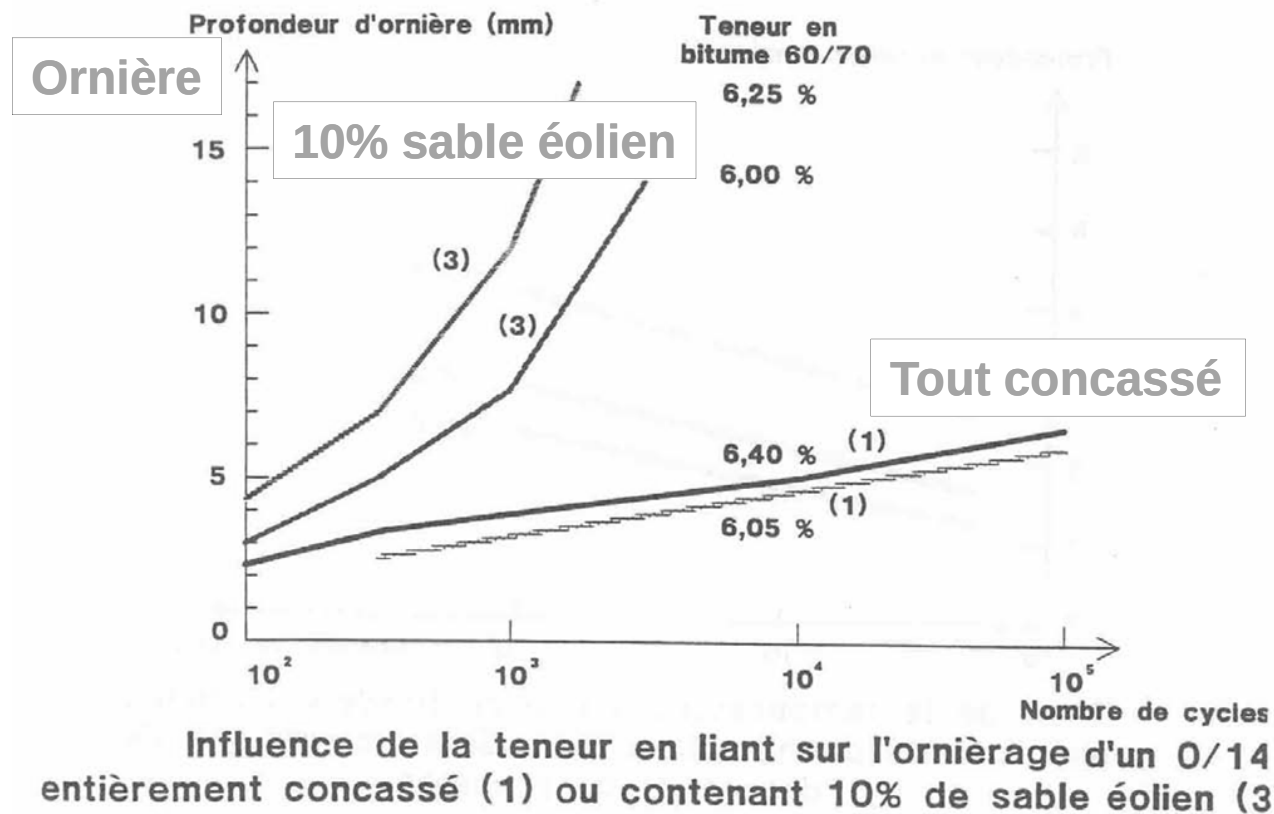
$$A = 115 \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{|E^*|}$$



RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Essais à l'orniéreur LCPC

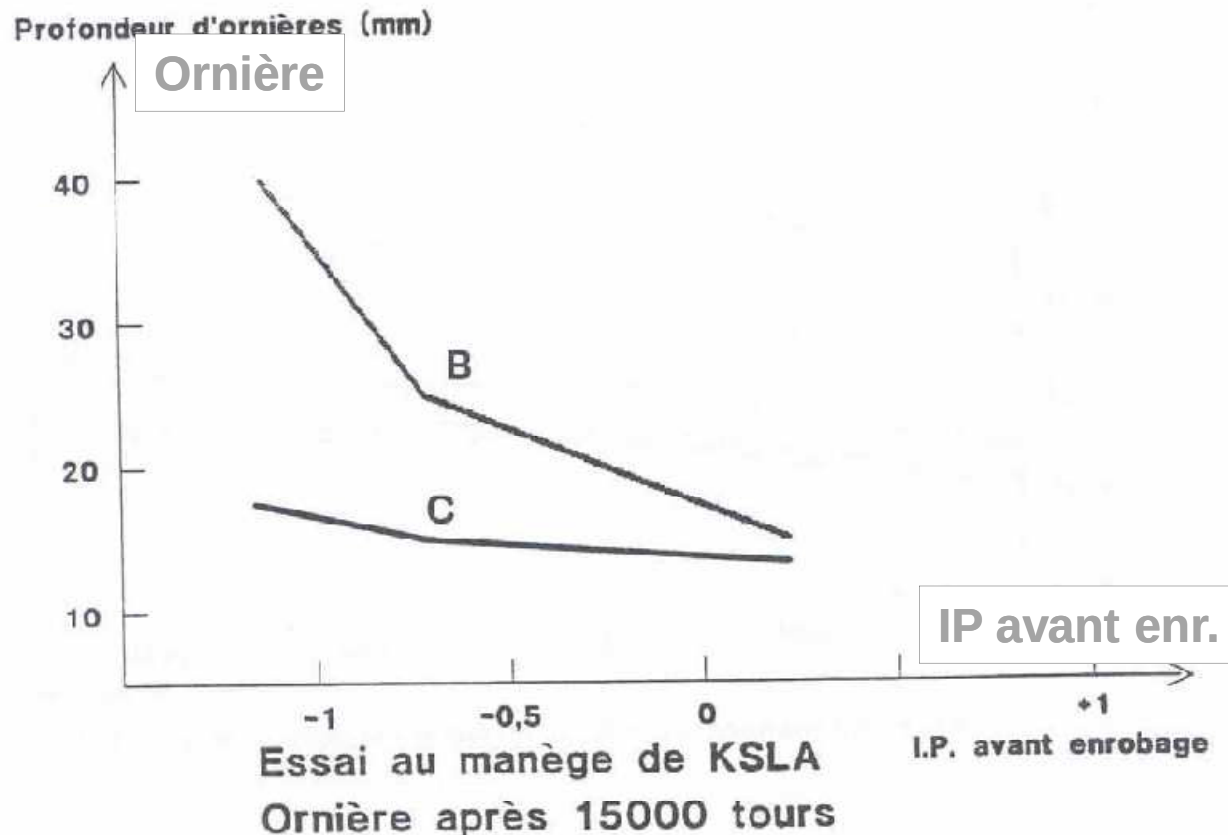
Incidence de la teneur en bitume et d'un apport de sable éolien



RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Essais au manège KSLA

Incidence de l'indice de pénétrabilité (IP Pfeiffer) du bitume pour deux formulations d'enrobé (B et C)

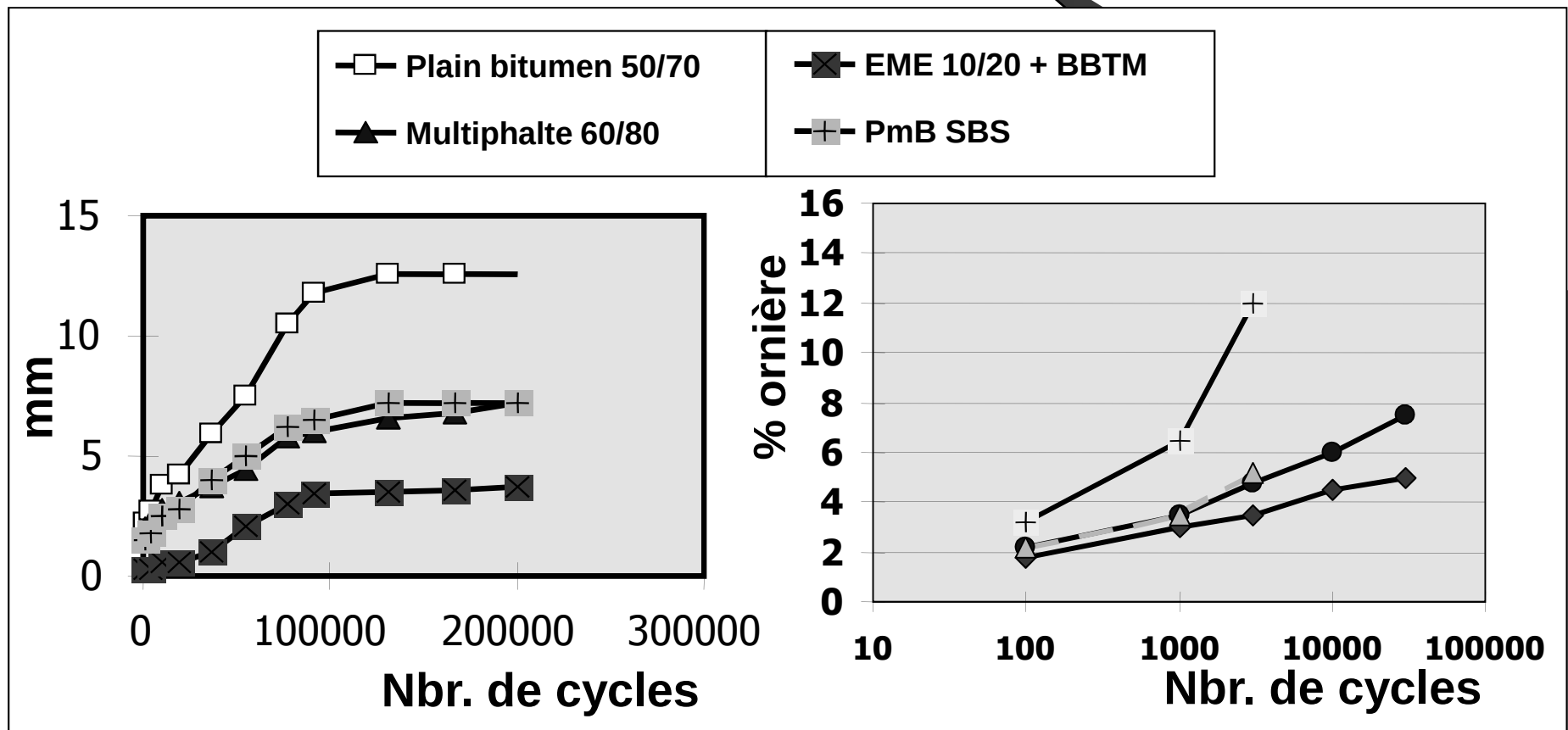


RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Incidence de la nature du liant : bit. spéciaux et modifiés

Essais au manège LCPC

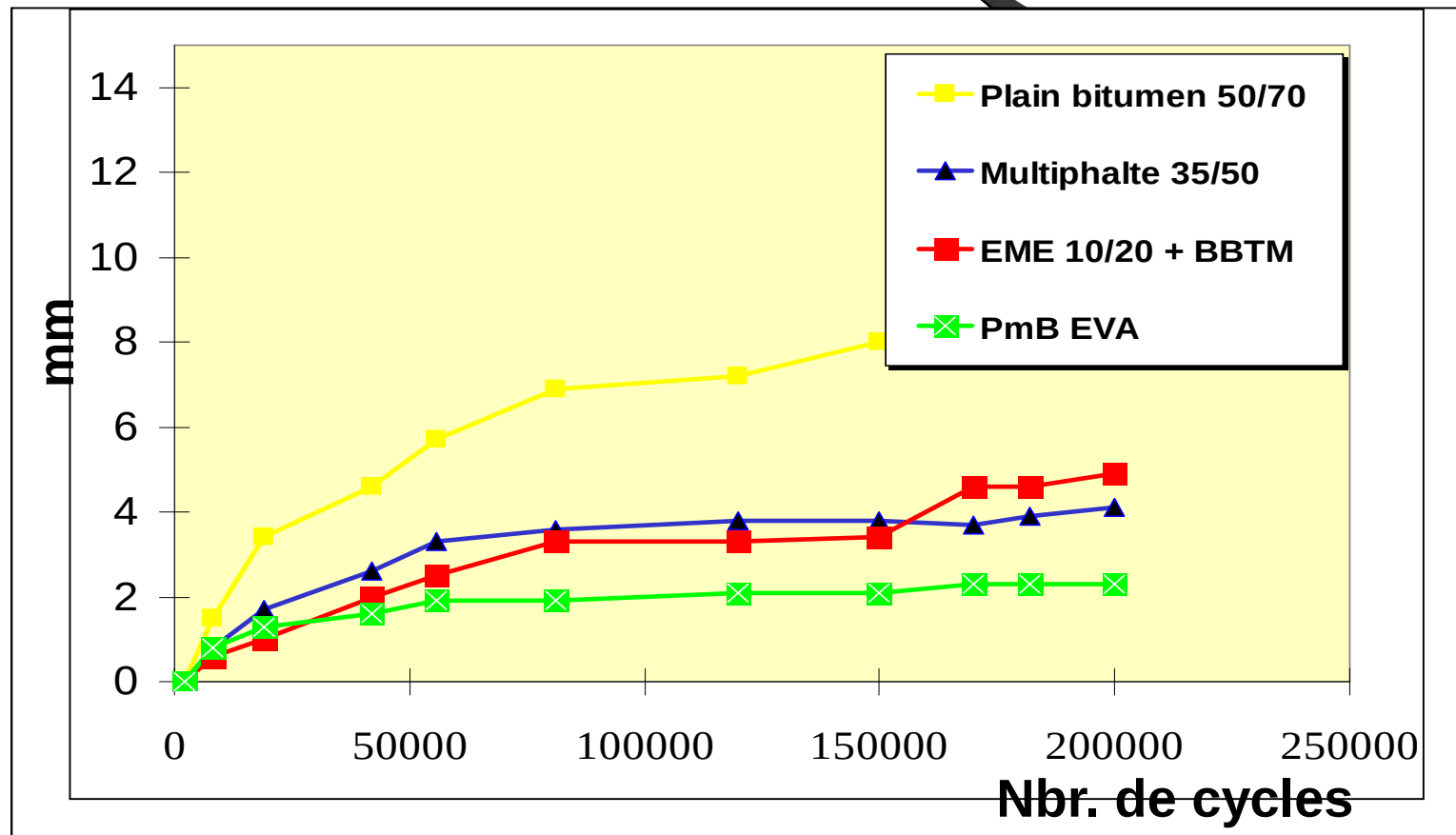
Essais à l'orniéreur



RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Incidence de la nature du liant : bit. spéciaux et modifiés

Essais au manège LCPC



RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Recherche de corrélations avec des caractéristiques rhéologiques du liant

- Les relations avec les caractéristiques conventionnelles (Temp. Bille&Anneau, Péné., IP, Viscosité, ...) ne s'appliquent plus aux bitumes modifiés
- Recherche de corrélations avec des grandeurs caractérisant le comportement visqueux du liant :
 - Essais à court temps de charge (essais dynamiques type DSR)
➡ Critère $G^* / \sin \delta$
 - Essais de fluage / recouvrance (longs temps de charge)
➡ Viscosité à taux de cisaillement nul : η_0
Théoriquement, la seule à prendre en compte !

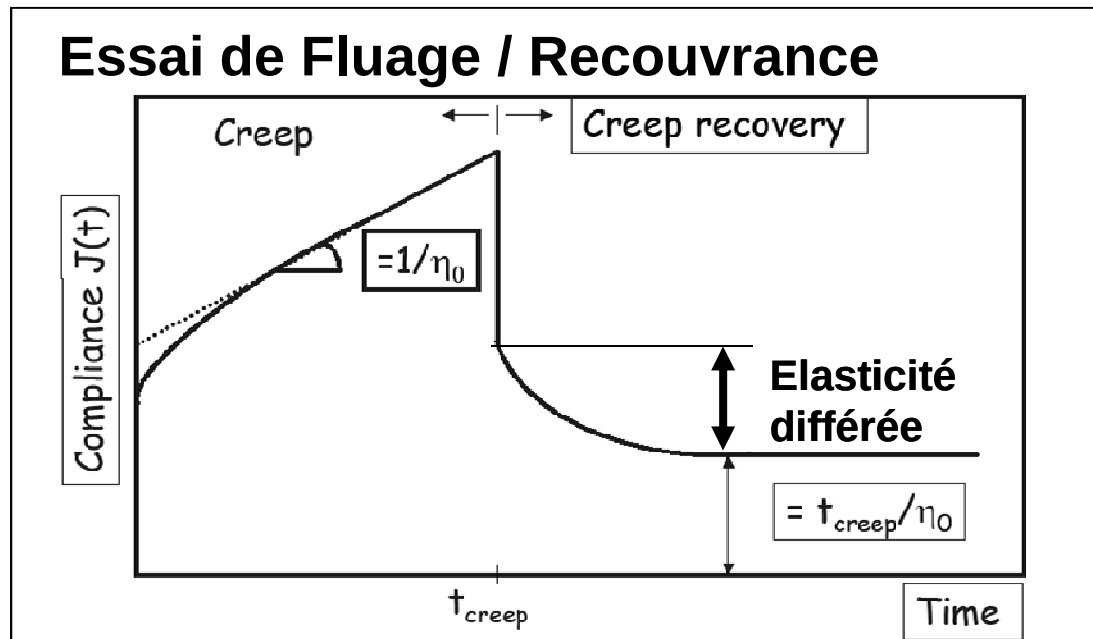
RESISTANCE A L'ORNIERAGE

$G^*/\sin \delta$ et η_0

J'' = partie imaginaire de la complaisance complexe ($J^* = 1/G^*$)

$$\frac{1}{J''} = \frac{|G^*|}{\sin \delta}$$

η_0 = limite de η aux temps de charge très longs



RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Relation entre $G^*/\sin \delta$ et η_0

Pour un essai dynamique à la pulsation ω ($\omega = 2 \pi f$),
la théorie montre que :

$$J''(\omega) = \underbrace{\int_0^{\infty} \omega [J_{ed}(\infty) - J_{ed}(t)] \cos \omega t dt}_{\text{Terme lié à l'élasticité différée}} = \frac{1}{\omega \eta_0}$$

Autrement dit :

Pour un η_0 donné, l'existence d'une élasticité différée va :

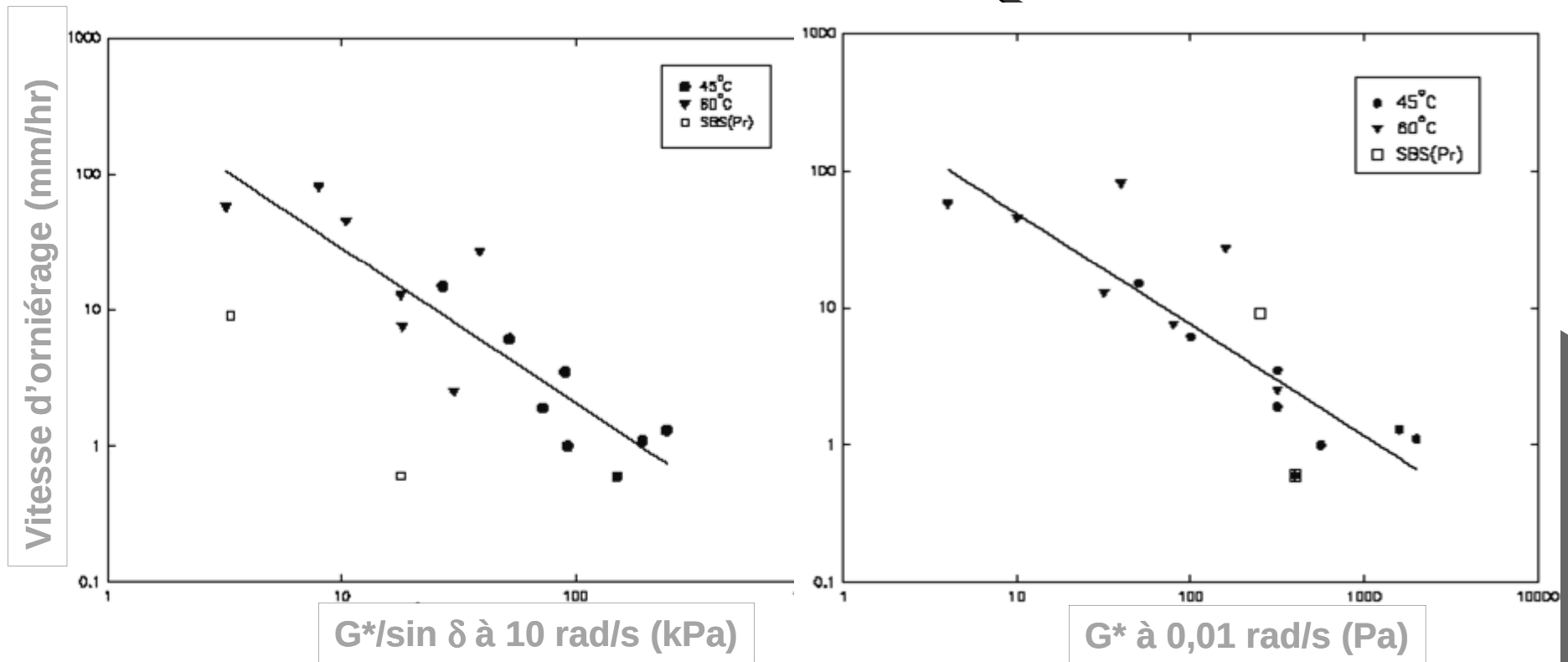
- Augmenter J''
- Diminuer $G^* / \sin \delta$

➡ Le critère $G^* / \sin \delta$ va sous-estimer la résistance à l'orniérage

RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Exemples de corrélations

Essais à l'oniéreur (wheel-tracking)

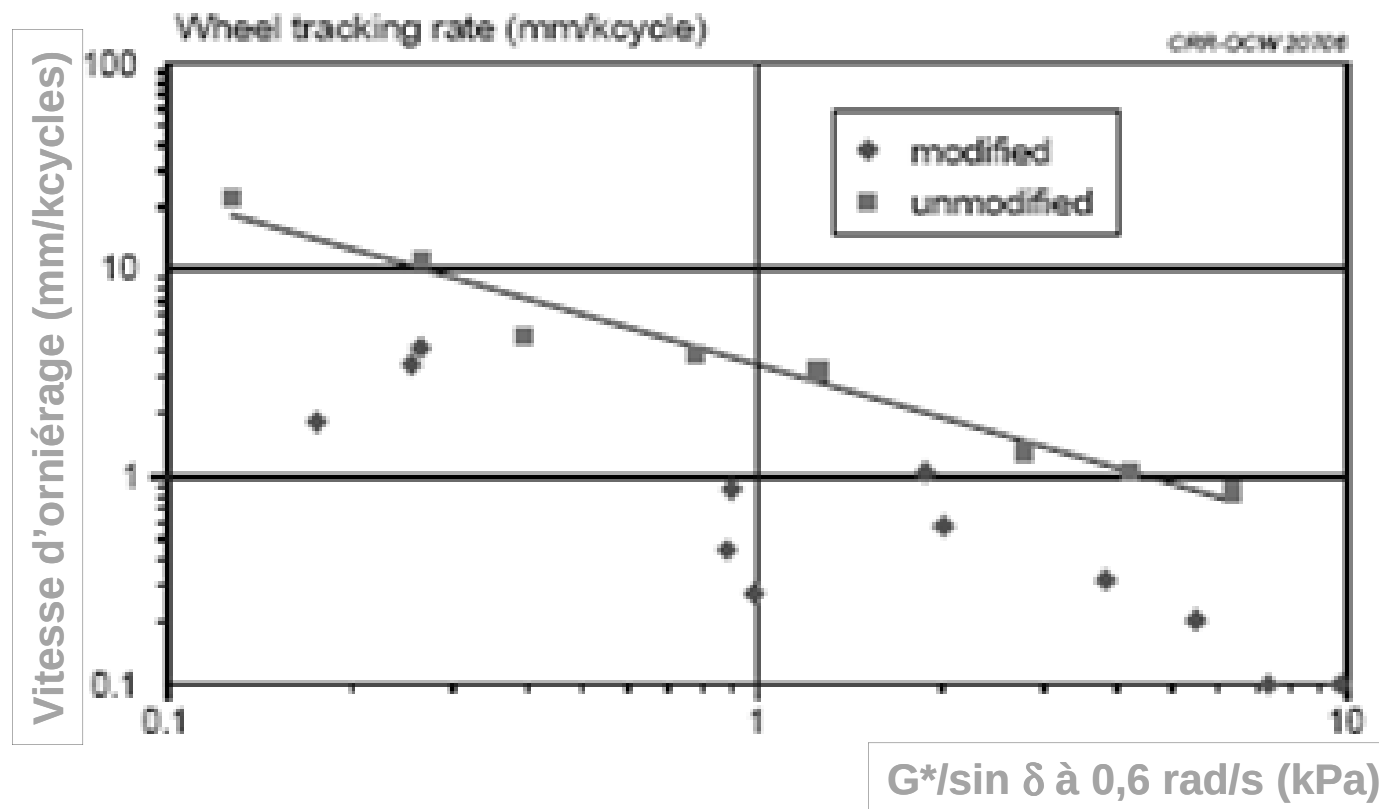


Remarque : à T élevée, on a souvent $\sin \delta \approx 1$ ($G^*/\sin \delta \approx G^*$)

RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Exemples de corrélations

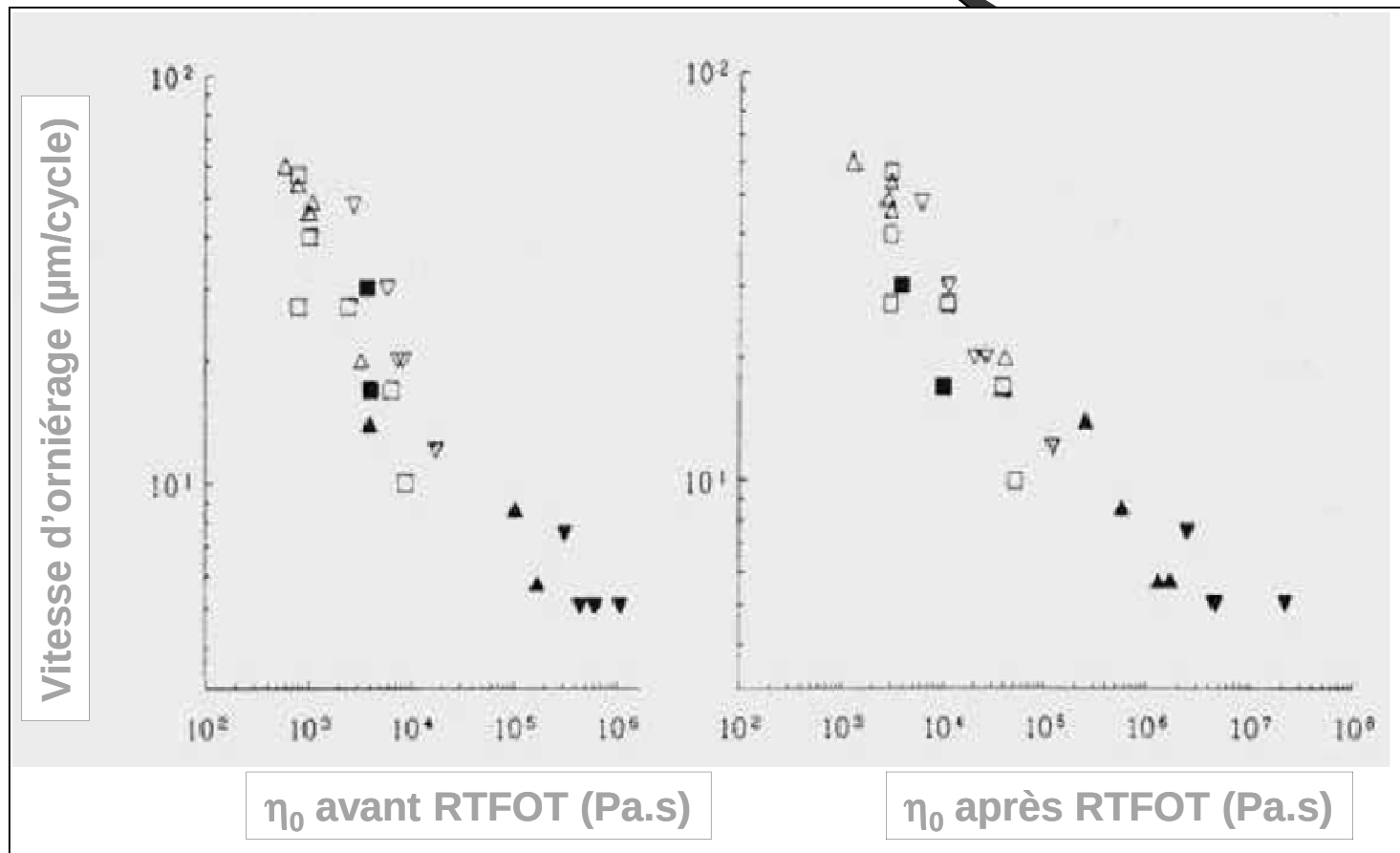
Vérification du critère $G^*/\sin \delta$: bitumes purs / modifiés



RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Exemples de corrélations

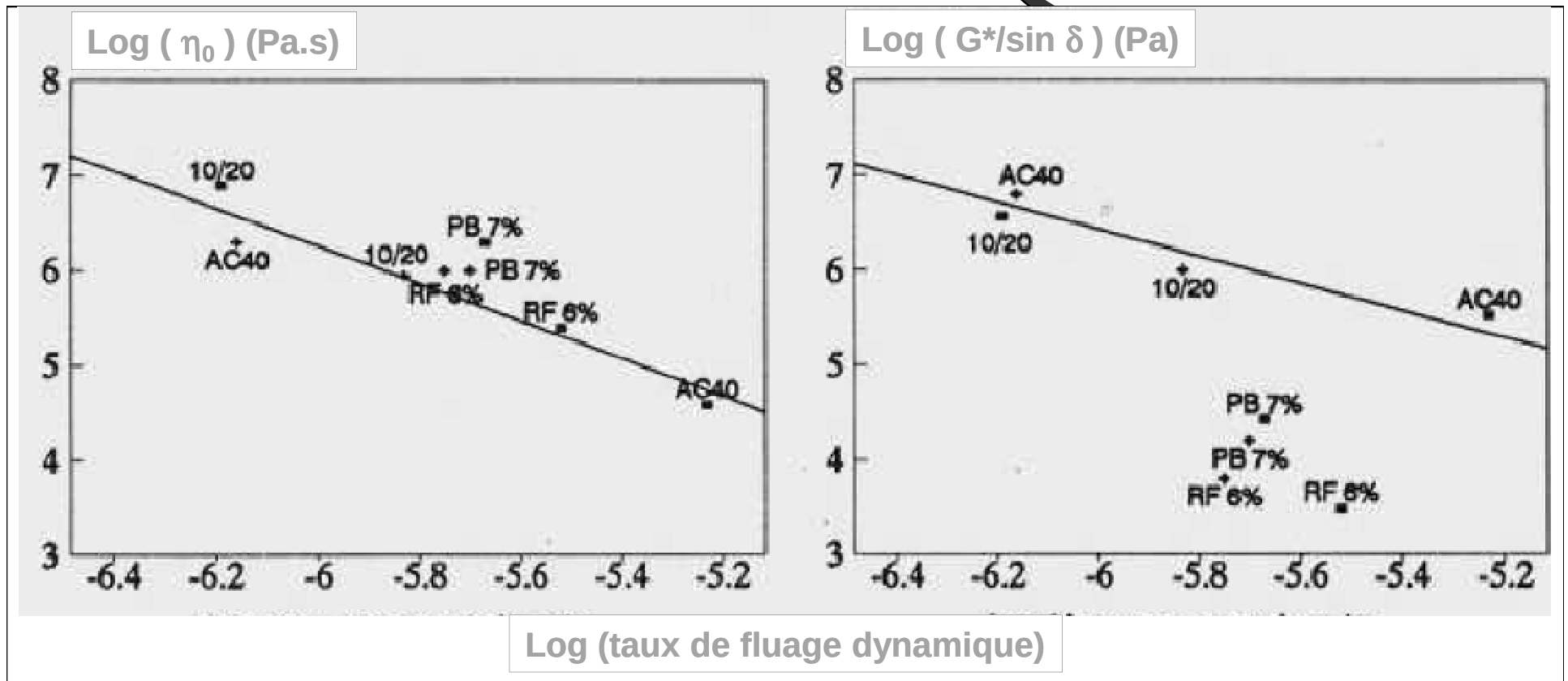
Vérification du critère η_0 (liants purs et modifiés)



RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Exemples de corrélations

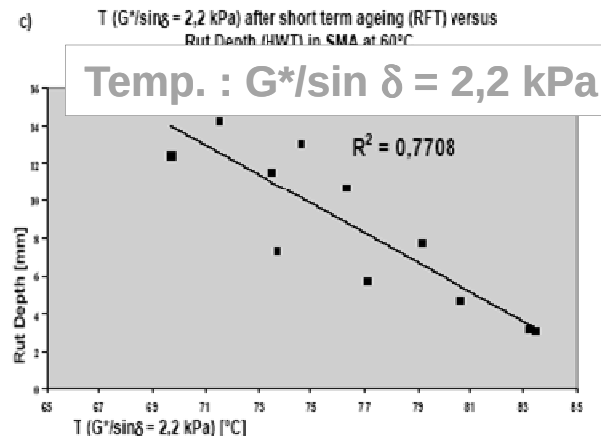
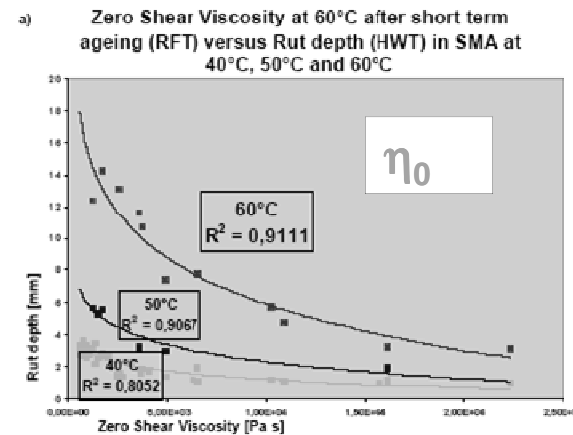
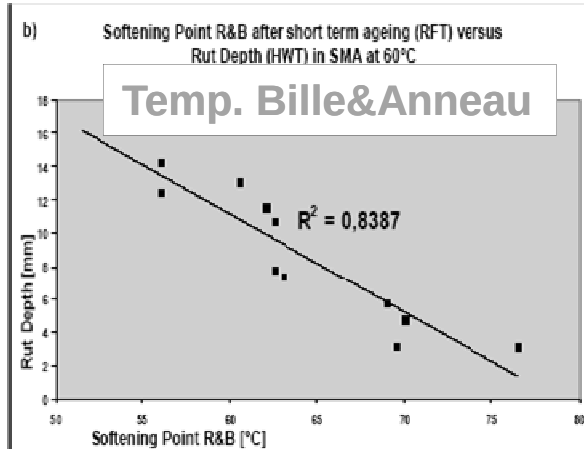
Comparaison des critères η_0 et $G^*/\sin \delta$ (liants purs et modifiés)



RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Exemples de corrélations

Etude de l'ARBIT sur les bitumes purs et modifiés allemands



Comparison of Correlations

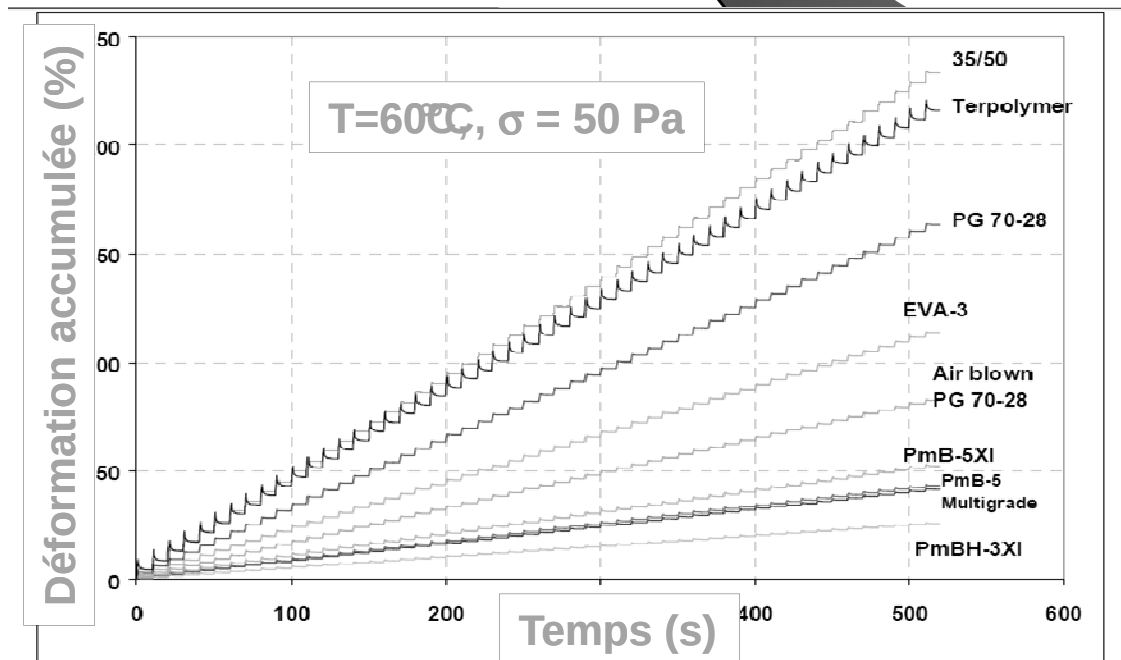
RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Mais η_0 test souvent difficile à mesurer !
(notamment dans le cas des bitumes fortement modifiés !)

- Obtention du régime Newtonien (essais de fluage)
- Extrapolation vers la fréquence nulle (essais dynamiques)
- Liants présentant un effet de seuil sous faibles sollicitations (gel)

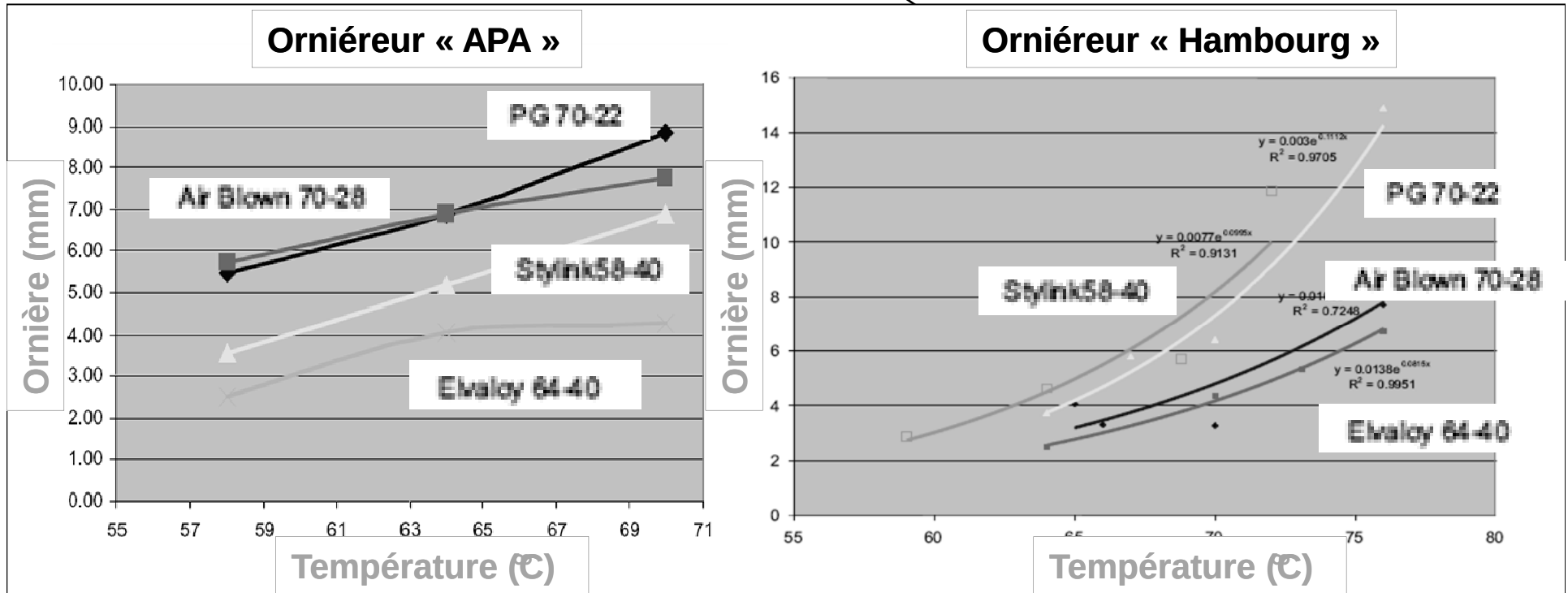
Développement récent :
essai de fluage répété

Cycles :
Fluage (1s)
Recouvrance (9s)



RESISTANCE A L'ORNIERAGE

Importance des sollicitations réelles dans l'enrobé :



Faible cisaillement

Expression de la matrice polymère



Il faut un indicateur qui traduise également la sensibilité à l'amplitude des déformations/contraintes appliquées

Cisaillement plus fort

Rigidité de la phase bitume

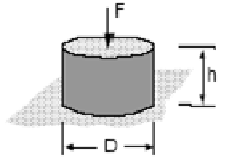
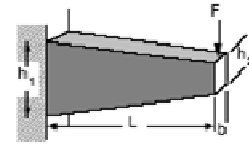
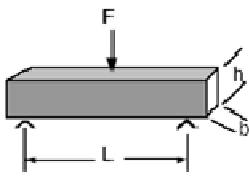
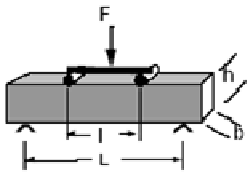
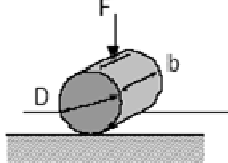
A decorative graphic element consisting of a thin black curved line starting from the top left and arching towards the right. Below this line, a dark gray shaded area fills the space between the curve and the right edge of the slide.

RESISTANCE A LA FATIGUE

RESISTANCE A LA FATIGUE

Une grande diversité d'essais

Table 1. Characteristics of the 11 performed fatigue tests

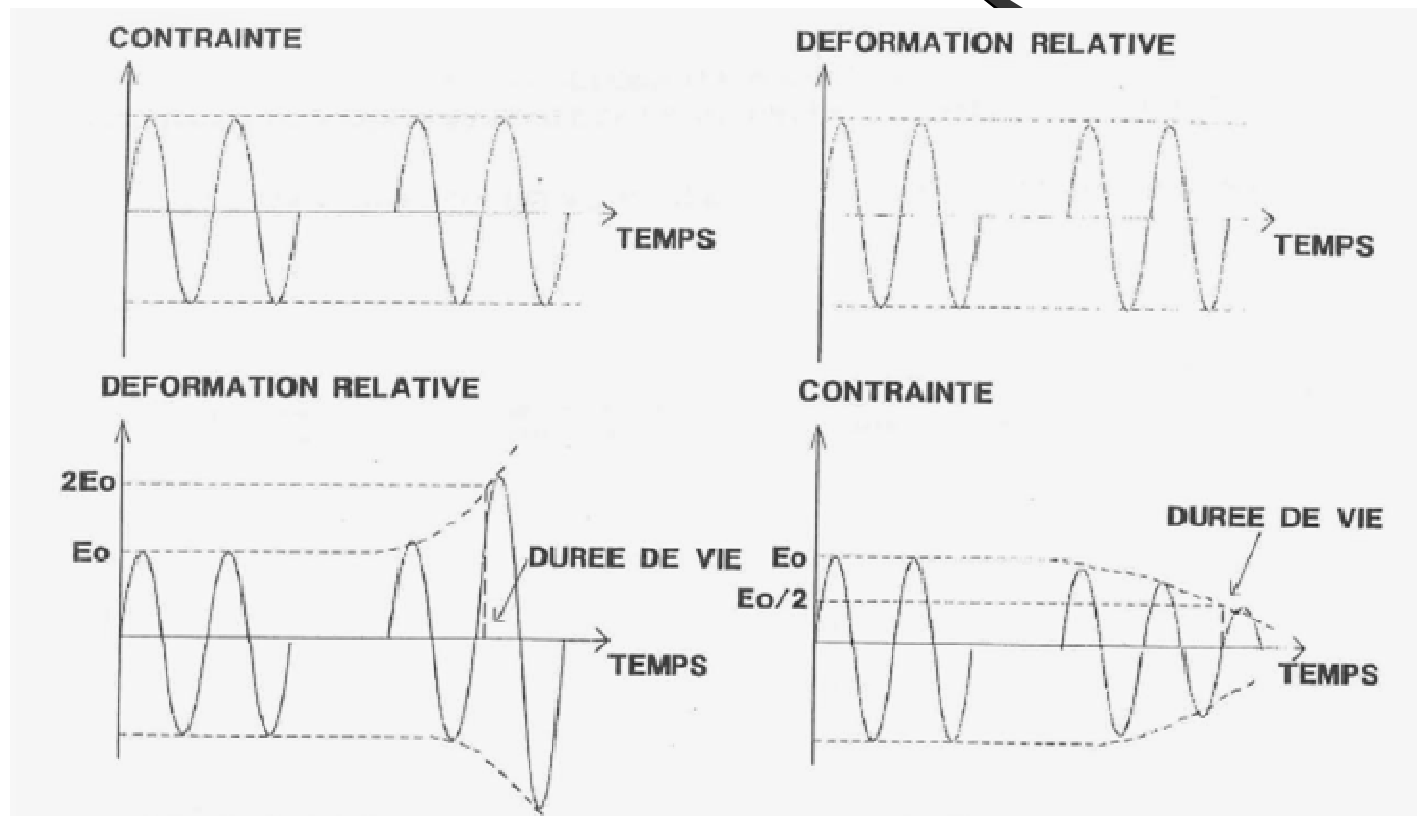
Type	Test Geometry	Type of loading/ Country of the team	Amplitude (10^{-6} m/m or MPa)
T/C		Tension-Compression « Homogeneous » F_1, S_1	Strain : (80), 100, 140, 180 Stress : 0.9
2PB		Two Point Bending « Non Homogeneous » F_2, B_1, B_2	Displacement; max strain: 140, 180, 220 Load; max stress : 1.4
3PB		Three Point Bending « Non Homogeneous » N_1	Displacement; max strain: 140, 180, 220 Load; max stress : 1.4
4PB		Four Point Bending « Non Homogeneous » N_2, P, PL, UK	Displacement; max strain: 140, 180, 220 Load; max stress : 1.4
IDT		Indirect Tensile Test « Non Homogeneous » S_2	Load; max strain at first cycle: ~25, ~40, ~65

RESISTANCE A LA FATIGUE

Deux modes de sollicitation

Contrainte imposée

Déformation imposée



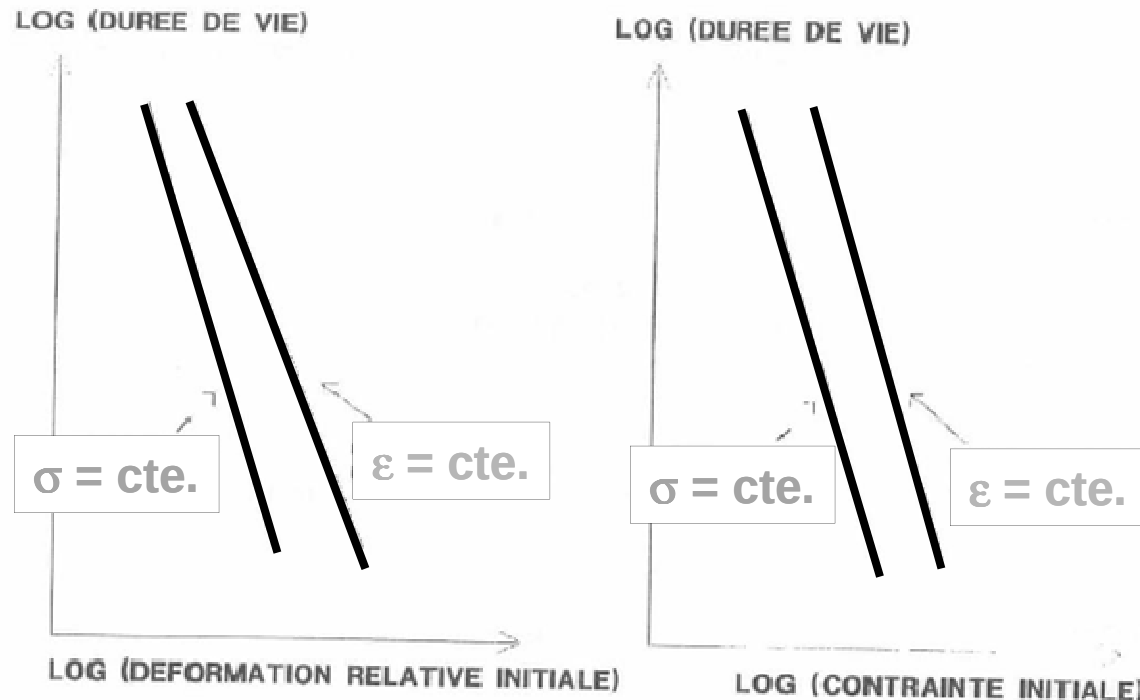
~ couches «épaisses» (base)

~ couches «minces» (supérieures)

RESISTANCE A LA FATIGUE

Lois de fatigue

- Expression du type : $\text{Log } N_f = a + b \text{Log } (\sigma \text{ ou } \varepsilon)$
- A conditions initiales identiques, l'essai à amplitude de contrainte constante est le plus sévère !



RESISTANCE A LA FATIGUE

Exemples de relations avec la formulation et des caractéristiques conventionnelles du liant

➤ CRR Belgique :

$$\varepsilon_r(N) = \Lambda \cdot \frac{V_L}{(V_L + v)} \cdot G \cdot \left(\frac{N}{10^6} \right)^{-0,21}$$

Formulation : volume du liant V_L et des vides v , facteur G

Λ : dépend de la teneur en asphaltènes (« structuration ») du bitume

➤ LCPC (Moutier) :

$$\varepsilon_6 = \left[-125 + 72 * TL - 4,85 * TL^2 + 3,33 * DC - 29 * BE + 4,4 * BE * TL \right] * 10^{-6}$$

TL : teneur en liant, DC : D compacité, BE : dépend de la formule granu.

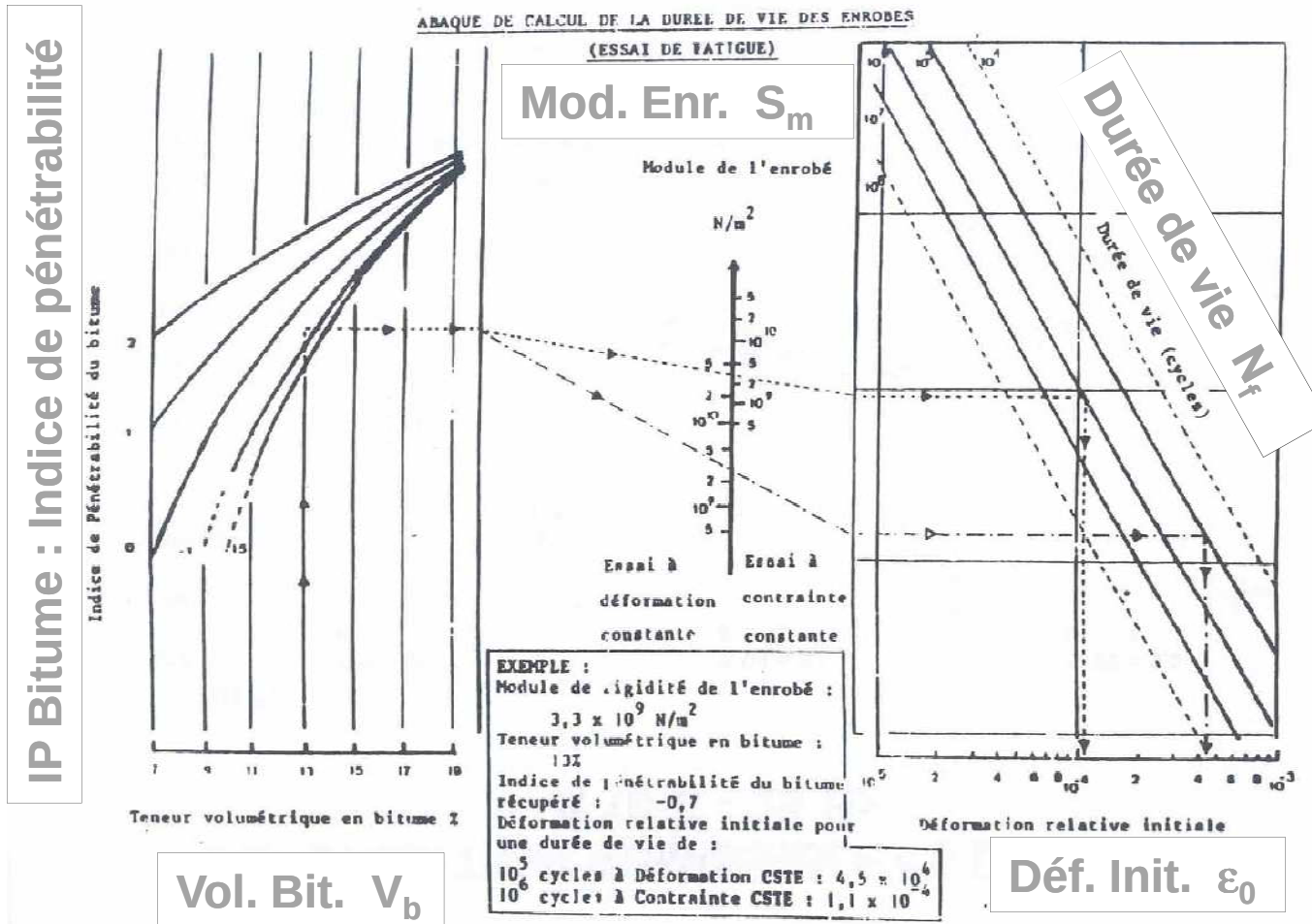
➤ Abaque SHELL :

$$\varepsilon_r(N) = \left[4,102 * IP - 0,205 * IP * V_b + 1,094 * V_b - 2,707 \right] * S_m^{-0,36} * N^{-0,2}$$

Enrobé : module de rigidité S_m , Bitume : IP, teneur volumique V_b

RESISTANCE A LA FATIGUE

Abaque SHELL



RESISTANCE A LA FATIGUE

Recherche de corrélations avec des caractéristiques rhéologiques du liant

- Il faut minimiser l'énergie dissipée par cycle :

$$W_d = \pi \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot \sin \delta = \pi \cdot \varepsilon^2 \cdot |E^*| \cdot \sin \delta = \frac{\pi \cdot \sigma^2 \cdot \sin \delta}{|E^*|}$$

- Essais à déformation imposée (couches minces) :

$$\varepsilon = \text{cte} \longrightarrow E^* \sin \delta < \text{Lim.} \longrightarrow G^* \sin \delta < \text{Lim.} \quad (\text{critère SHRP})$$

- Essais à contrainte imposée (couches épaisses) :

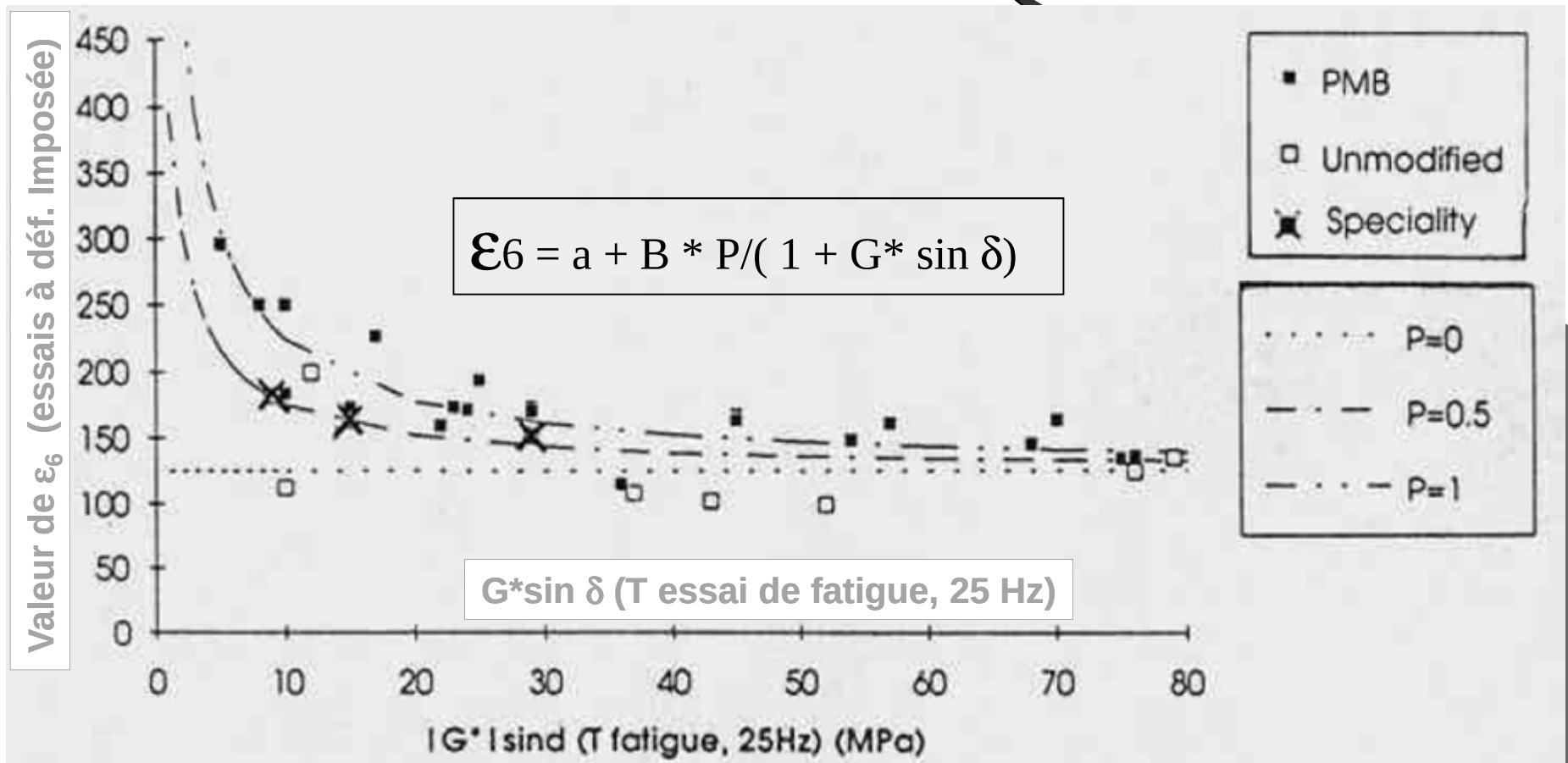
$$\sigma = \text{cte} \longrightarrow \sin \delta / E^* < \text{Lim.} \longrightarrow G^* / \sin \delta > \text{Lim.}$$

- Remarque : dans les 2 cas, on recherche des valeurs faibles de δ !

RESISTANCE A LA FATIGUE

Exemples de corrélations

Vérification du critère $G^* \sin \delta$: bitumes purs/modifiés/spéciaux

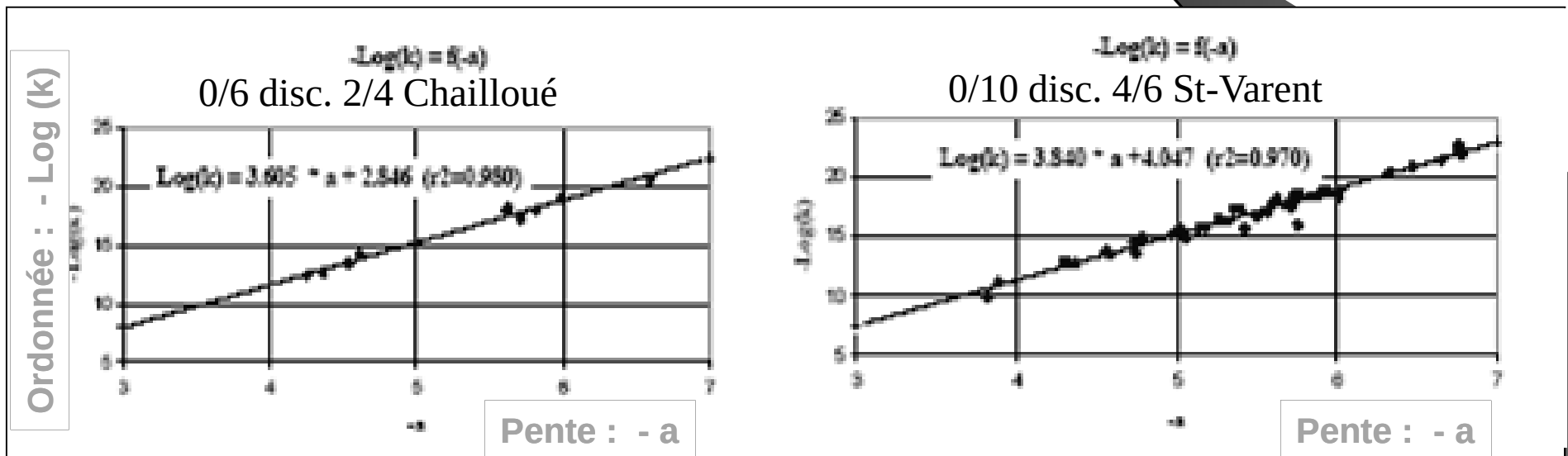


RESISTANCE A LA FATIGUE

Exemples de corrélations

Corrélations avec δ ou $\tan \delta$

- Relation entre la pente de la droite de fatigue (a) et l'ordonnée à l'origine ($\text{Log}(k)$) (bitumes purs et modifiés)



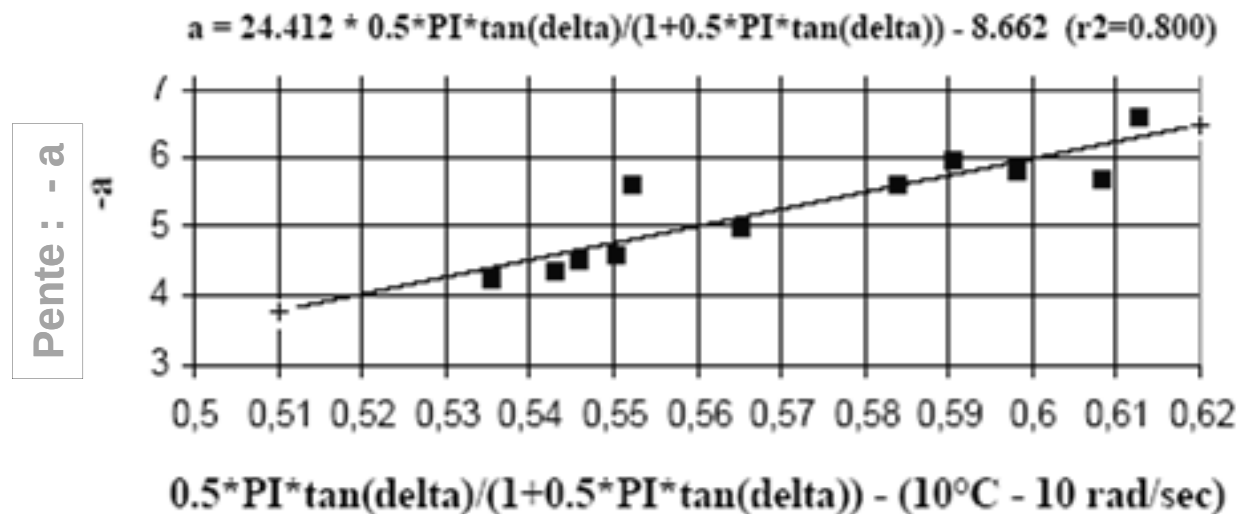
Essais de traction-compression à contrainte contrôlée (10°C - 10Hz)
Enrobés riches en liant

RESISTANCE A LA FATIGUE

Exemples de corrélations

Corrélations avec δ ou $\tan \delta$

- Relation entre la pente de la droite de fatigue (a) et une expression basée sur $\tan \delta$ (bitumes purs et modifiés)



$$\frac{W_d}{W_t} = \frac{\frac{\pi}{2} \tan \delta}{1 + \frac{\pi}{2} \tan \delta}$$

Essais de traction-compression à contrainte contrôlée (10°C - 10Hz)
Enrobés riches en liant

RESISTANCE A LA FATIGUE

Relations Liant / Enrobé

➤ Quelques tendances :

- Module de rigidité (impact différent selon le mode de sollicitation)
- Susceptibilité thermique (IP dans le cas des bitumes purs)
- « Structuration » du bitume :
 - * *Teneur en asphaltènes (bitumes purs)*
 - * *δ ou $\tan \delta$*
 - * *Spectre de relaxation*

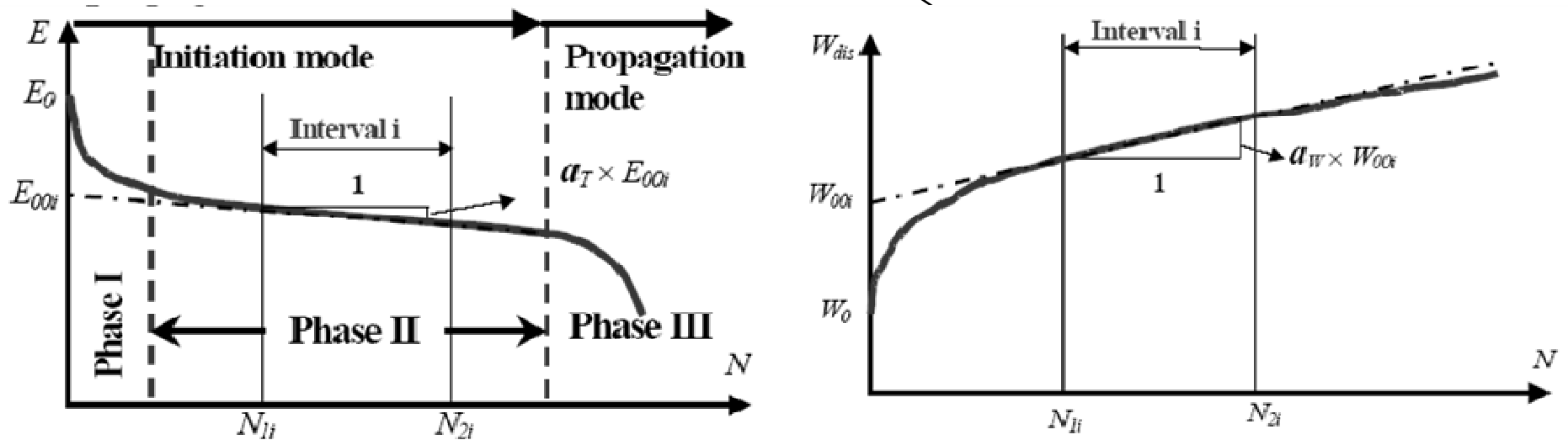
➤ Mais liens avec $G^* \sin \delta$ ou $G^* / \sin \delta$ peu vérifiés

➤ De nombreuses raisons peuvent être avancées :

- Interprétation des essais de fatigue sur enrobés (biais expérimentaux)
- Conditions expérimentales trop éloignées :
 - * *Amplitude des déformations*
 - * *Fatigue $\neq$ Essais « rhéologiques »*

RESISTANCE A LA FATIGUE

Modélisation de l'endommagement (Exemple)



Phase I : effets réversibles (échauffement, ...)

Phase II : correction des effets réversibles

Durée de vie : passage en Phase III

Pente de fatigue « vraie » :

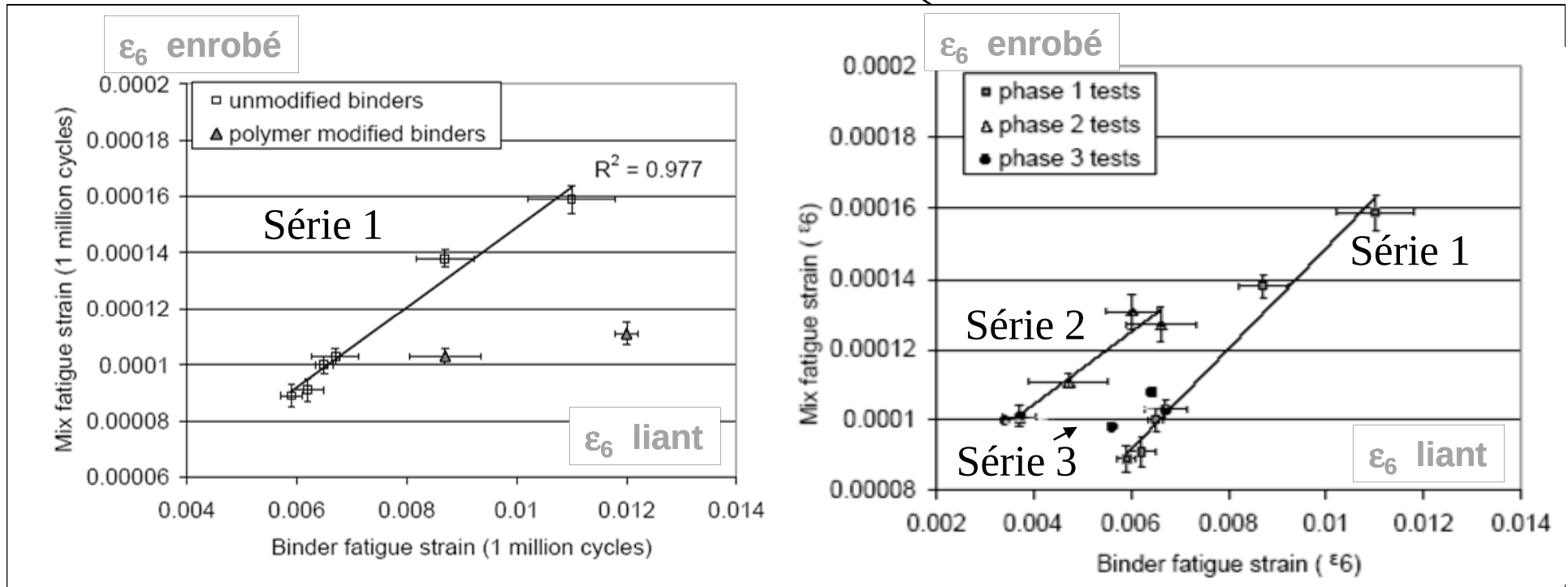
$$a_F = a_T + a_w \frac{C_i(E_0 - E_{00\alpha})}{E_{00\alpha}}$$

Bénéfices attendus :

- « Réconciliation » des essais à déformation ou contrainte contrôlée
- Meilleures corrélations avec les propriétés des liants

RESISTANCE A LA FATIGUE

Essais de fatigue sur liants (DSR)



Série 1 : essais à $G^* = 30$ MPa (Bit. Purs et modifiés)

Série 2 : bitumes 10/20 à 15°C ($70 \text{ MPa} < G^* < 147 \text{ MPa}$)

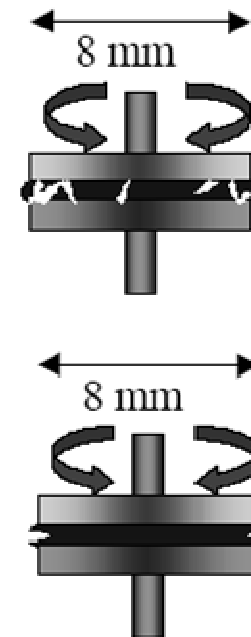
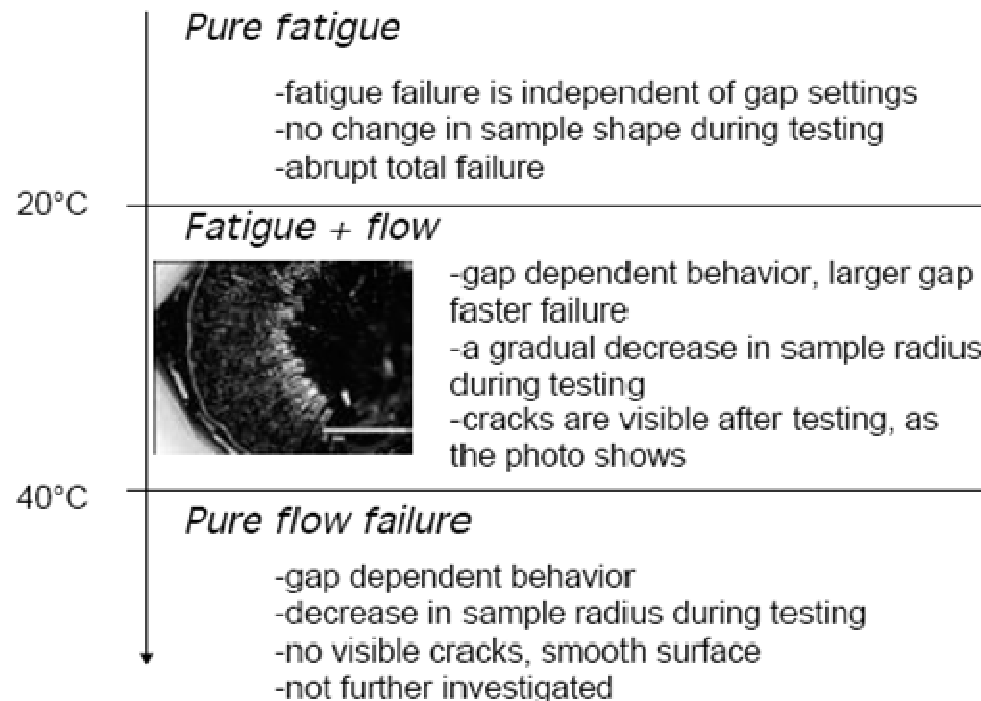
Série 3 : 1 bitume 10/20 C à $10^\circ\text{C} < T < 30^\circ\text{C}$

RESISTANCE A LA FATIGUE

Essais de fatigue sur liants (DSR)

- Attention au phénomène de fluage !
- Les possibilités des rhéomètres type DSR sont limitées

Temperatures for binder 10/20 C1

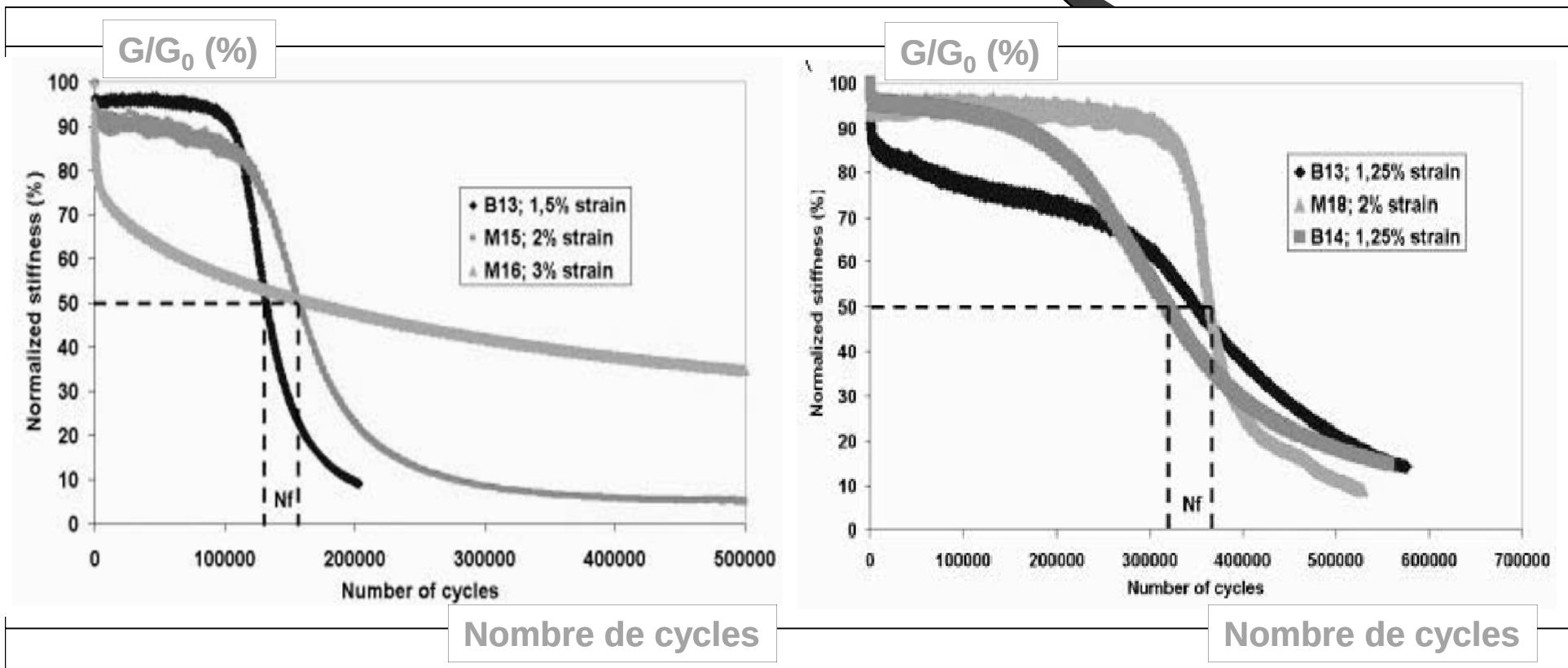


View of the DSR device during the fatigue test

RESISTANCE A LA FATIGUE

Essais de fatigue sur liants (DSR)

- Il faudra également réfléchir à l'interprétation des courbes d'évolution du module au cours de l'essai !

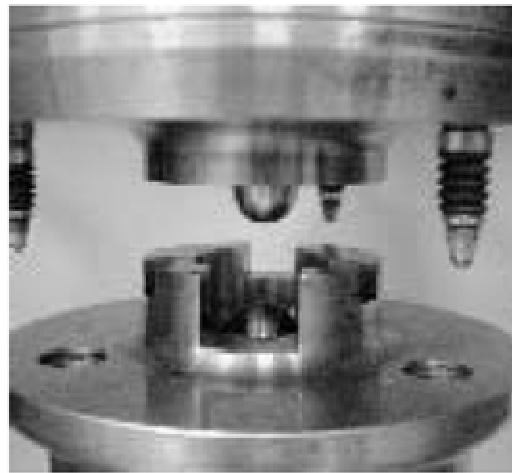


RESISTANCE A LA FATIGUE

Autre développement : Essai de « fracture locale » (LCPC)

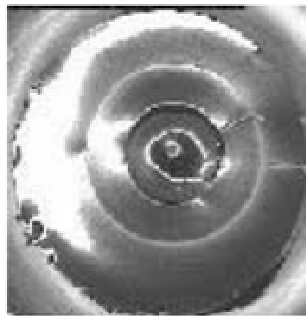
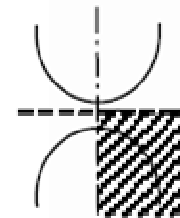


a)

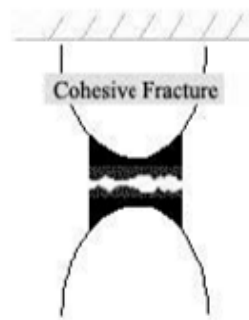


b)

Stress
concentration
in the sample



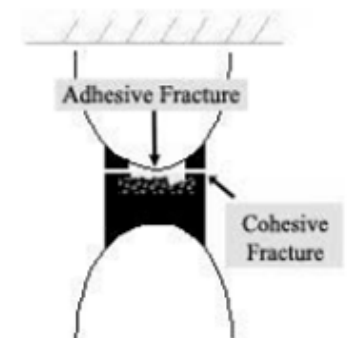
c)

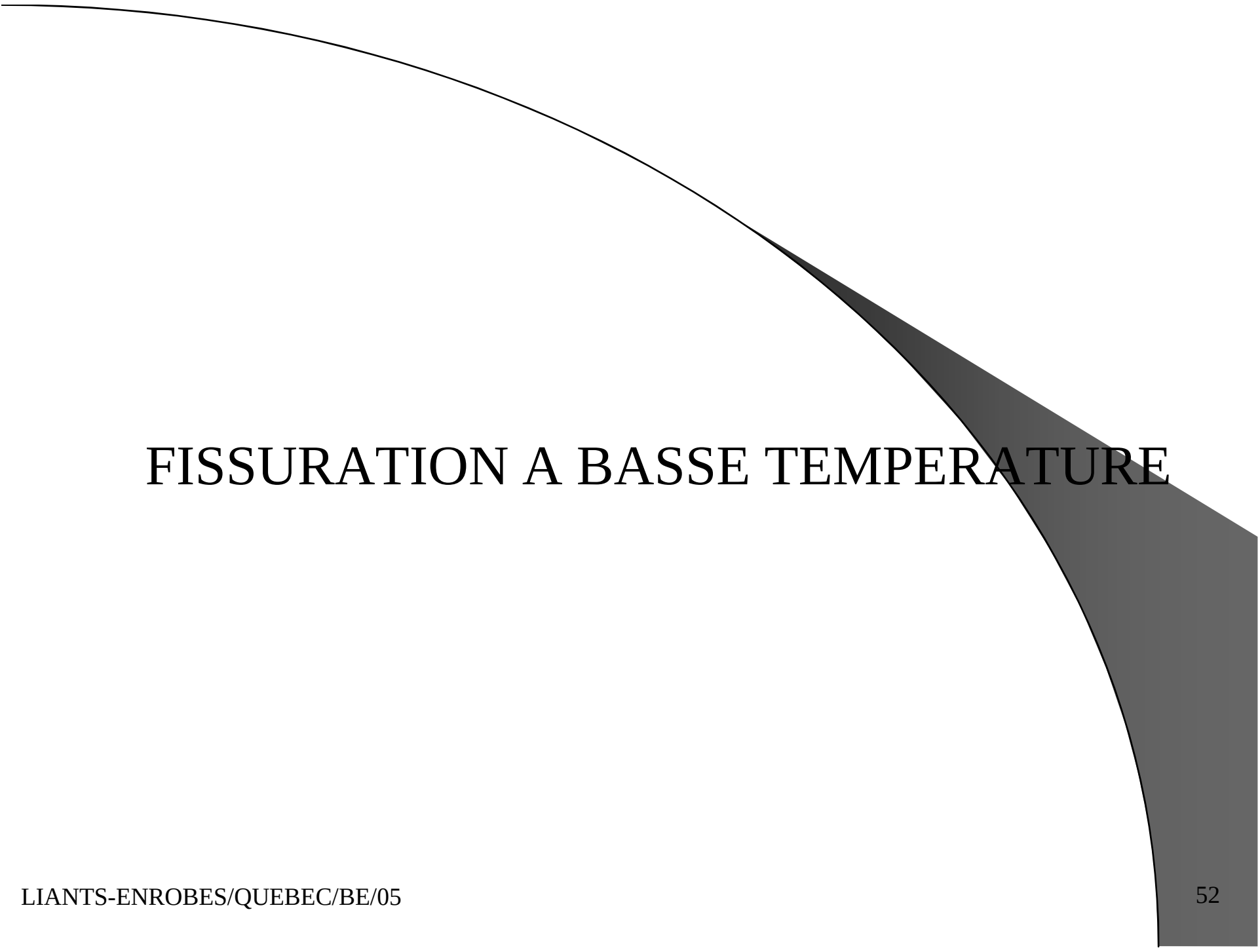


d)



e)



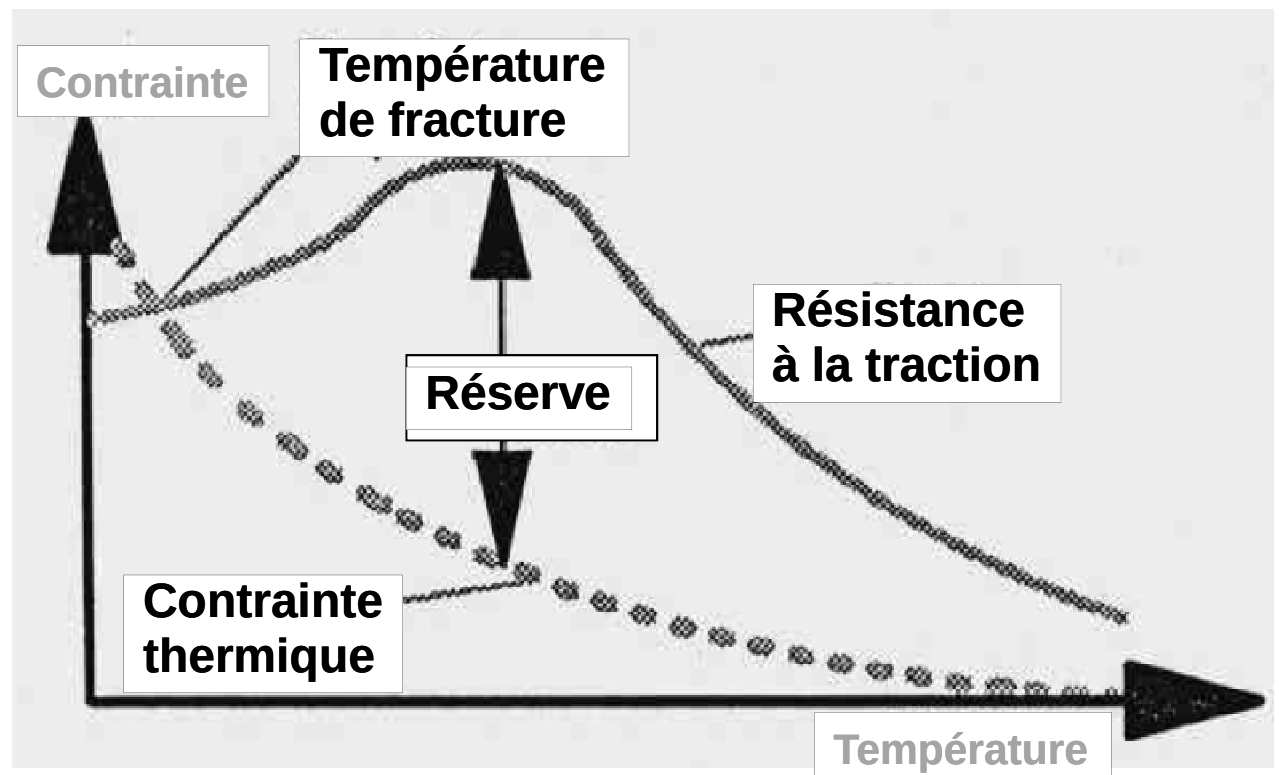
A decorative graphic element consisting of a thin black curved line starting from the top left and sweeping down towards the bottom right. A dark gray shaded area follows the curve of this line, starting from the middle of the curve and extending to the bottom right corner of the slide.

FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

Essai de « Retrait Empêché »

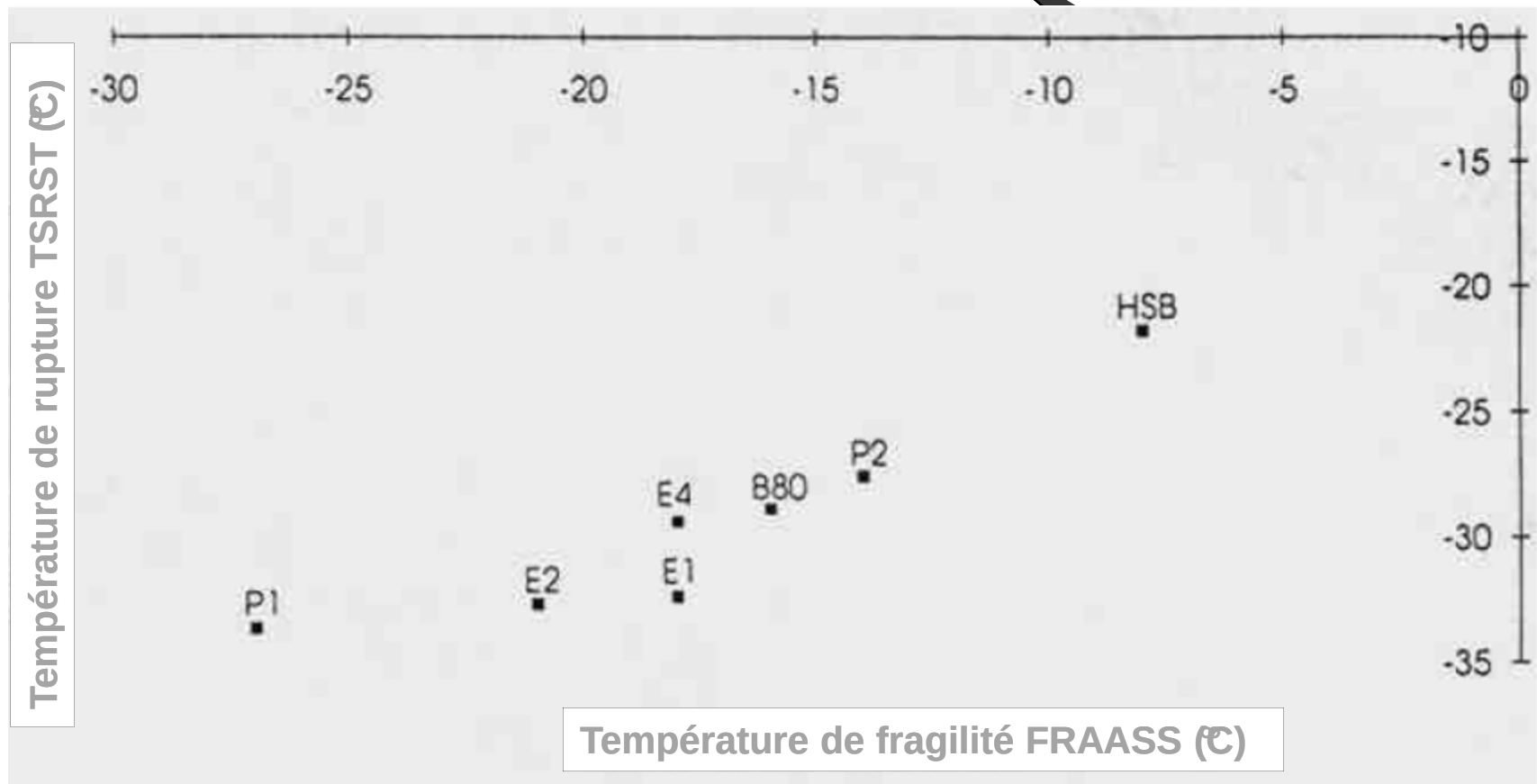
« TSRST » Thermal Stress Restrained Specimen Test



FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

Corrélations avec essais conventionnels

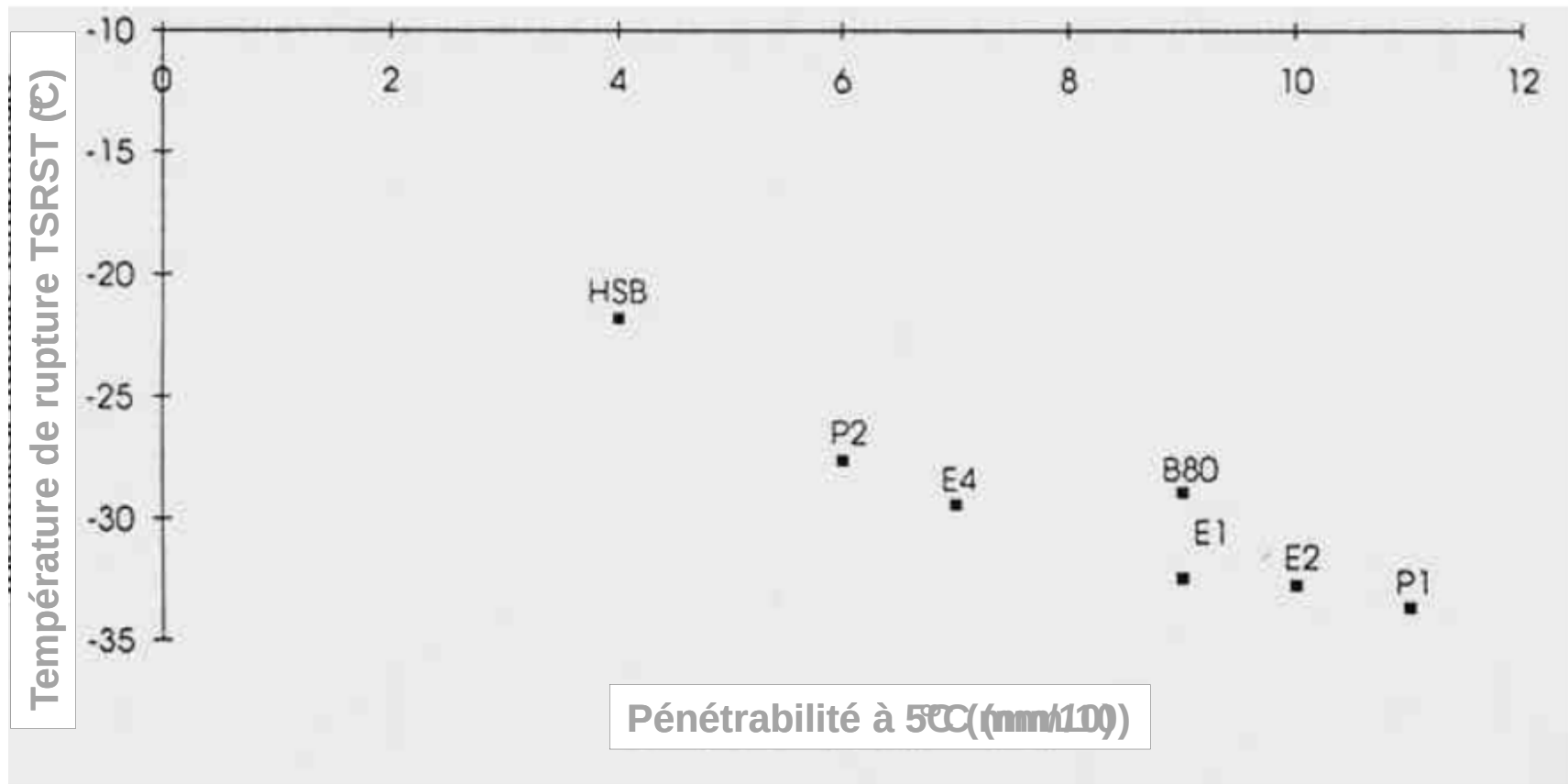
Des corrélations parfois acceptables



FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

Corrélations avec essais conventionnels

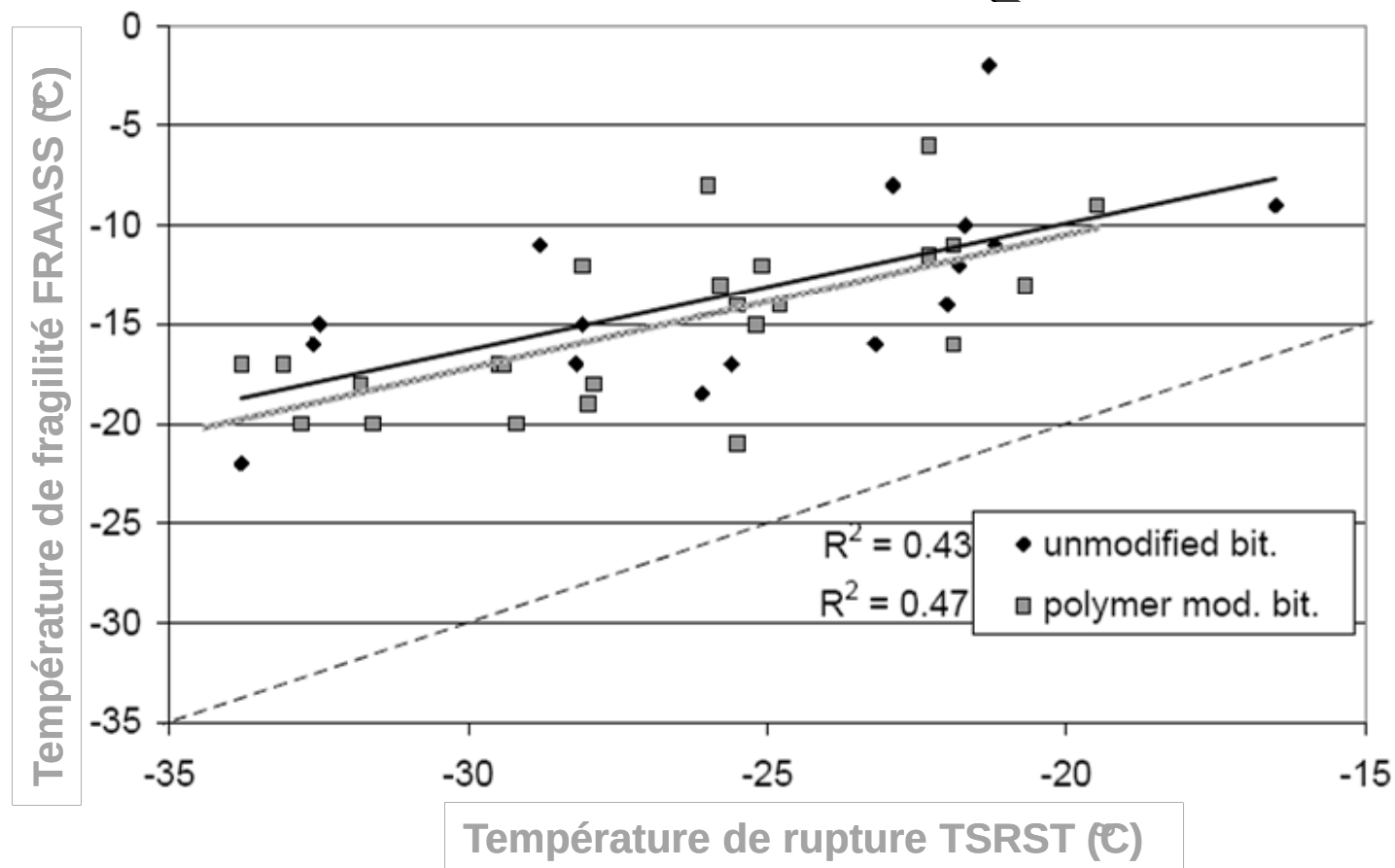
Des corrélations parfois acceptables



FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

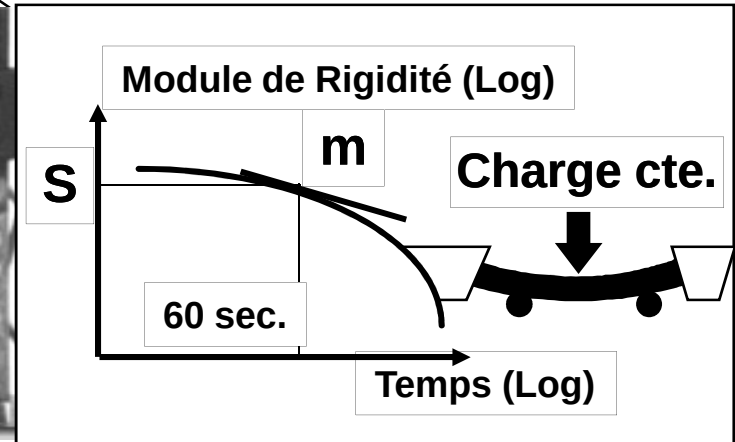
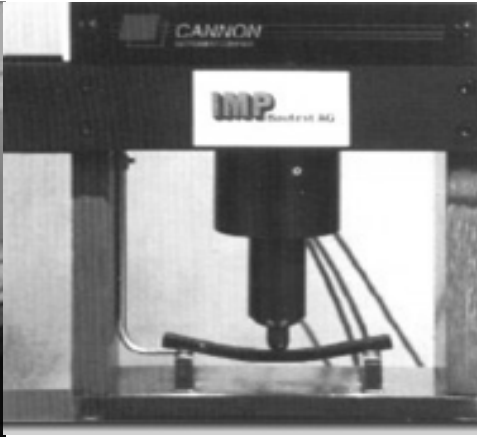
Corrélations avec essais conventionnels

.....mais mauvaises d'un point de vue général



FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

Les critères issus de l'essai BBR

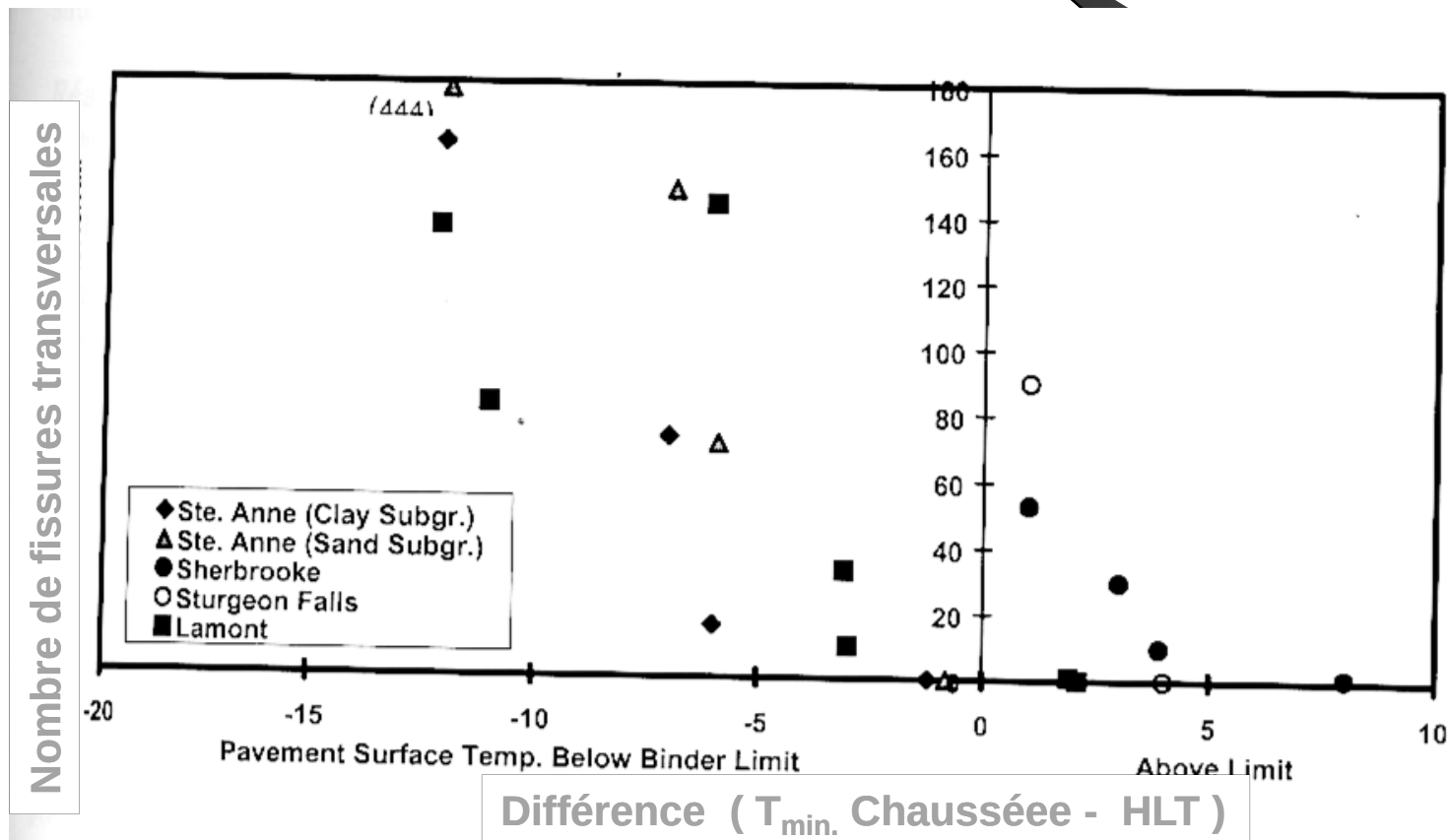


- Temp. pour laquelle $S = 300 \text{ MPa}$: LST
- Temp. pour laquelle $m = 0,3$: LmT
- Temp. la plus défavorable : HLT = Max. (LST, LmT)

FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

Validité des critères issus du BBR vis-à-vis du comportement in-situ (bitumes purs)

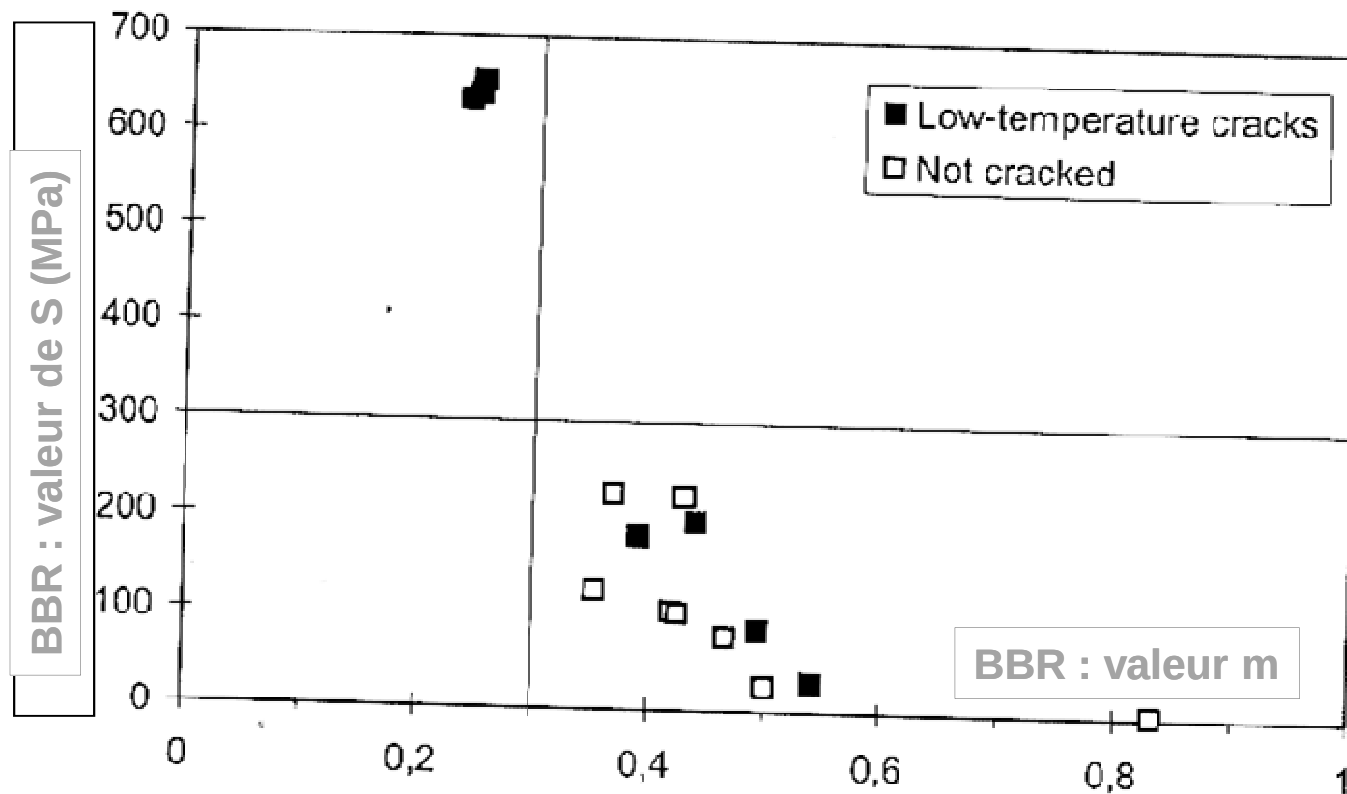
CANADA



FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

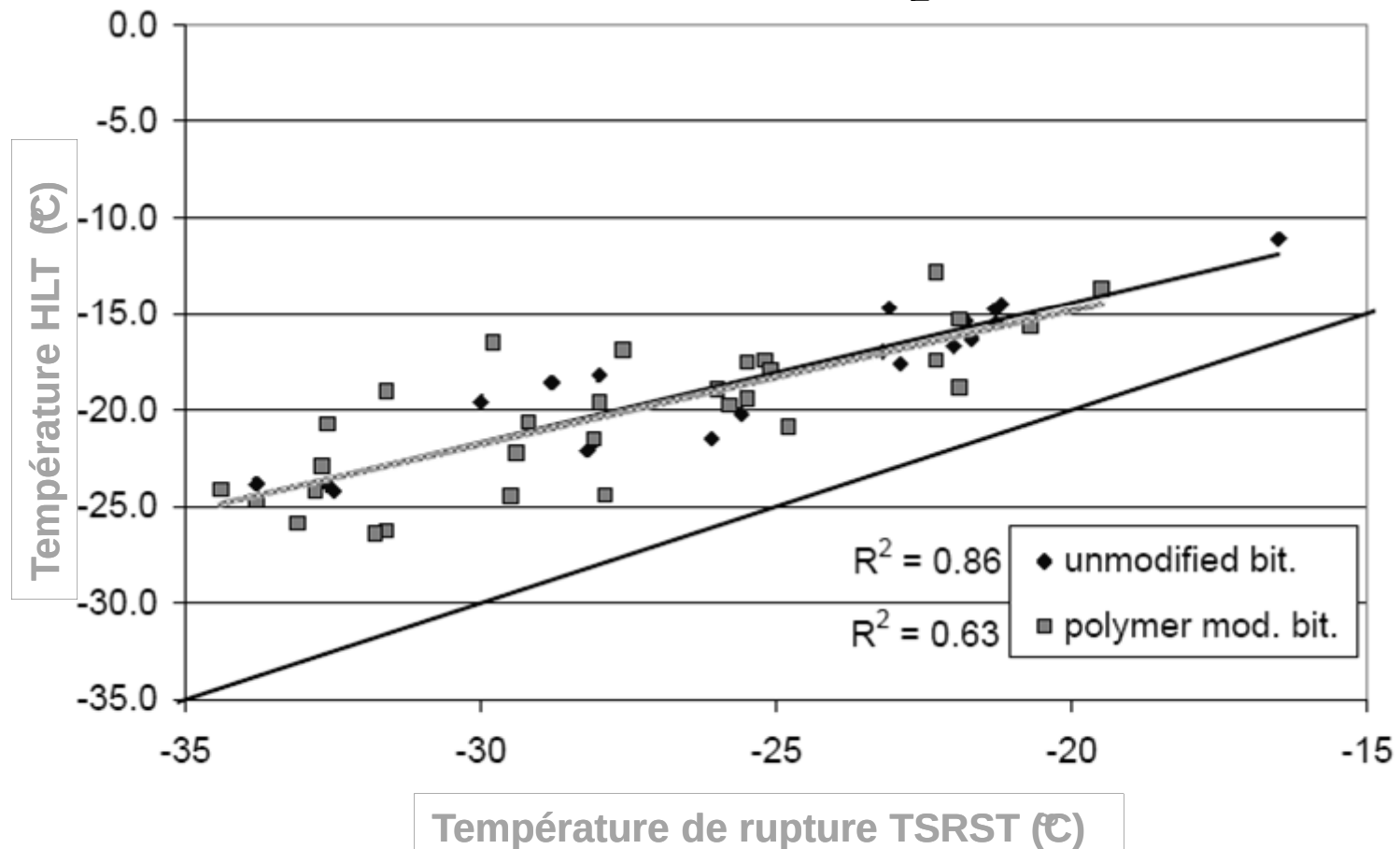
Validité des critères issus du BBR vis-à-vis du comportement in-situ (bitumes purs)

NORVEGE



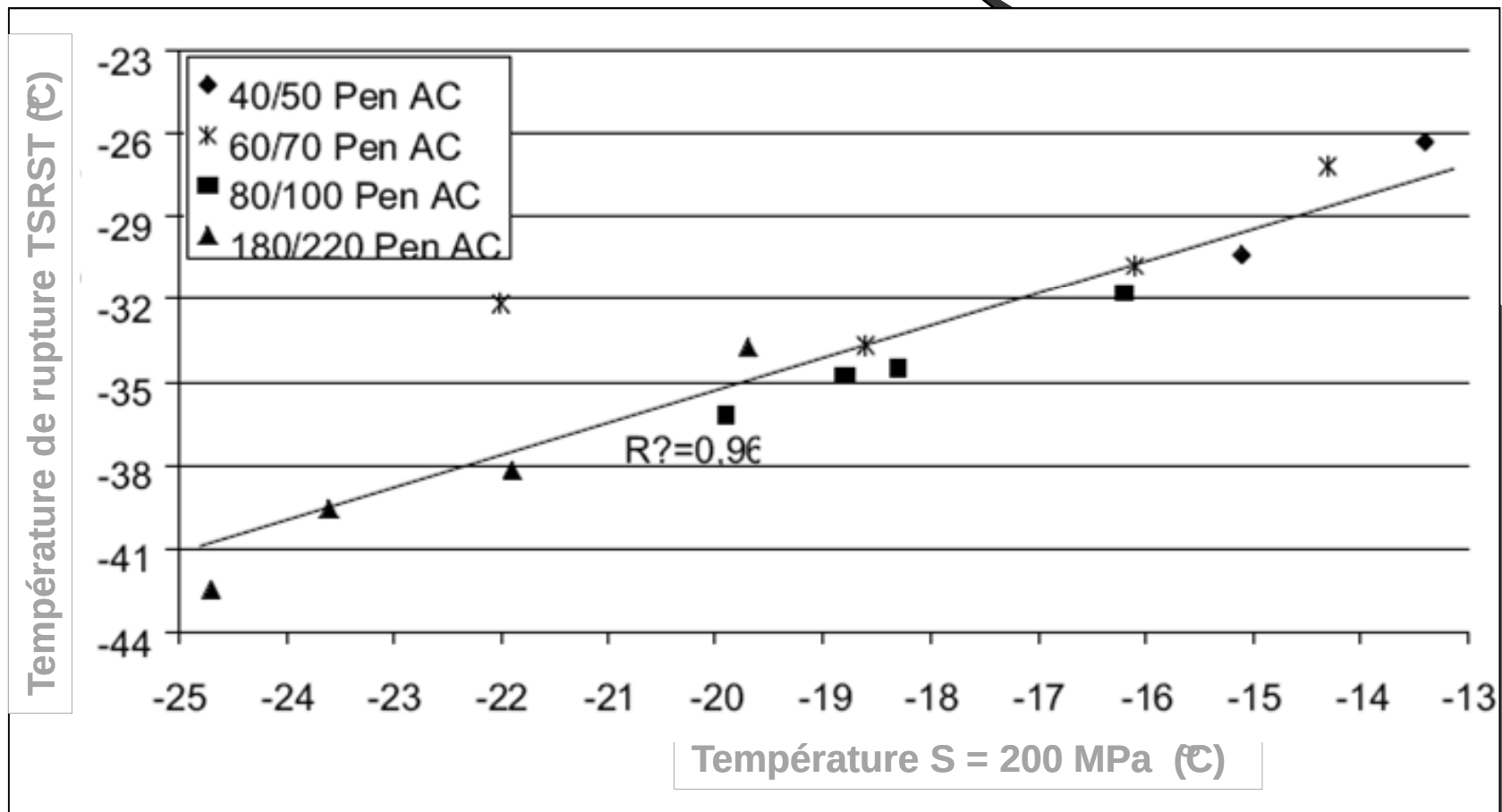
FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

Les critères issus du BBR permettent en général d'améliorer les corrélations avec l'essai TSRST



FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

Les critères issus du BBR permettent en général d'améliorer les corrélations avec l'essai TSRST

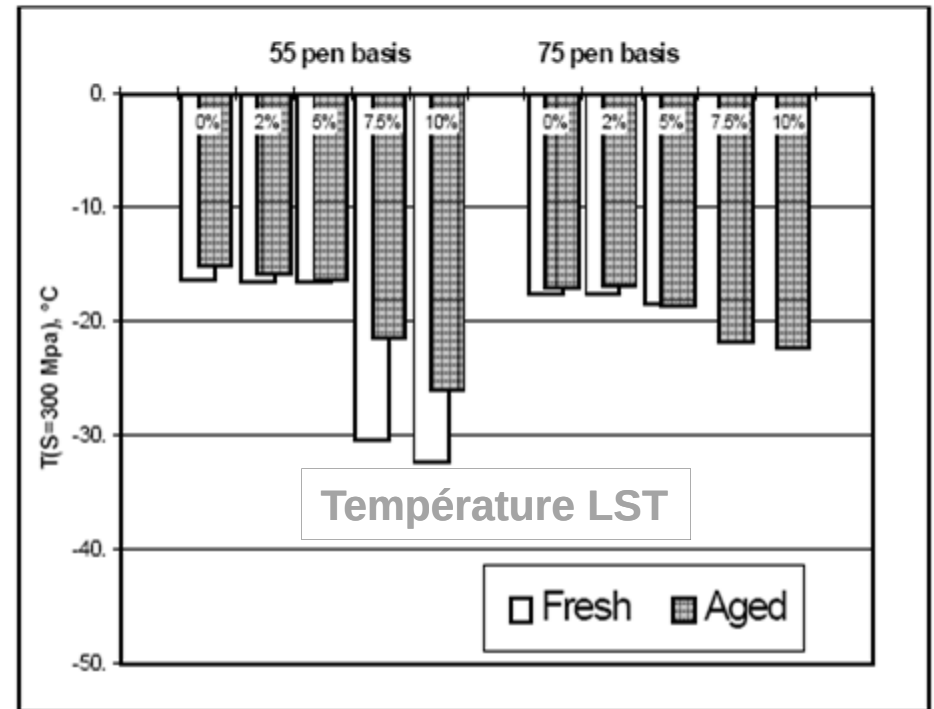
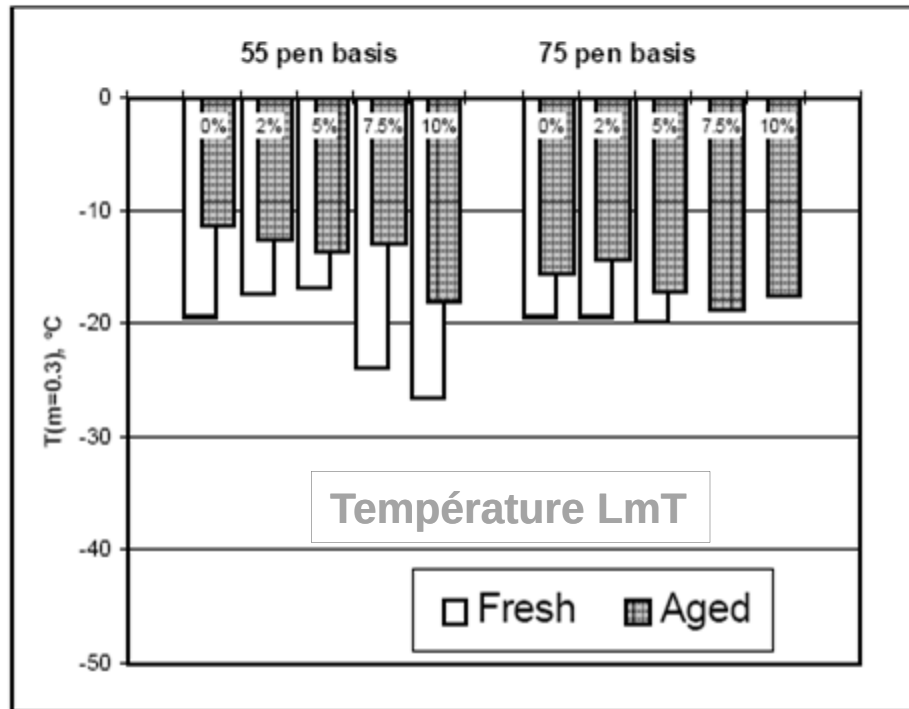


FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

Mais la controverse persiste dans le cas des bitumes modifiés

- Capacité de différentiation insuffisante des critères BBR

BBR results with the fresh and RTFOT+ PAV aged binders.



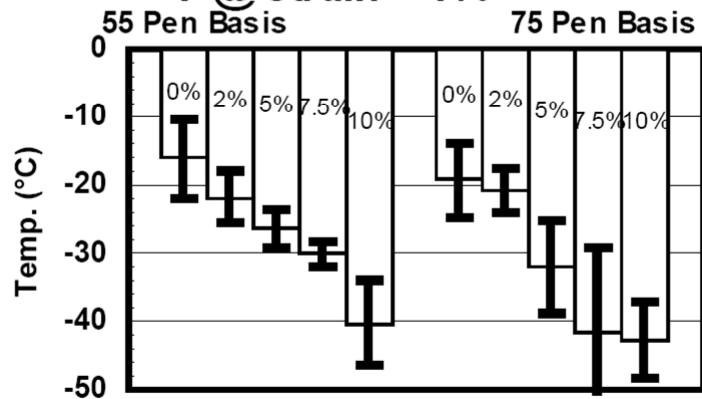
FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

Mais la controverse persiste dans le cas des bitumes modifiés

- Meilleure différentiation avec l'essai de traction (DTT)

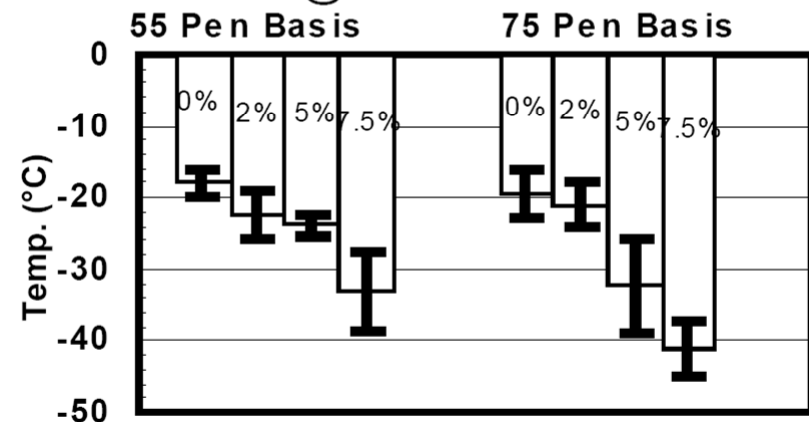
Fresh binders at 1.0 mm/min

T @ strain = 1%



Aged binders at 1.0 mm/min

T @ strain = 1%



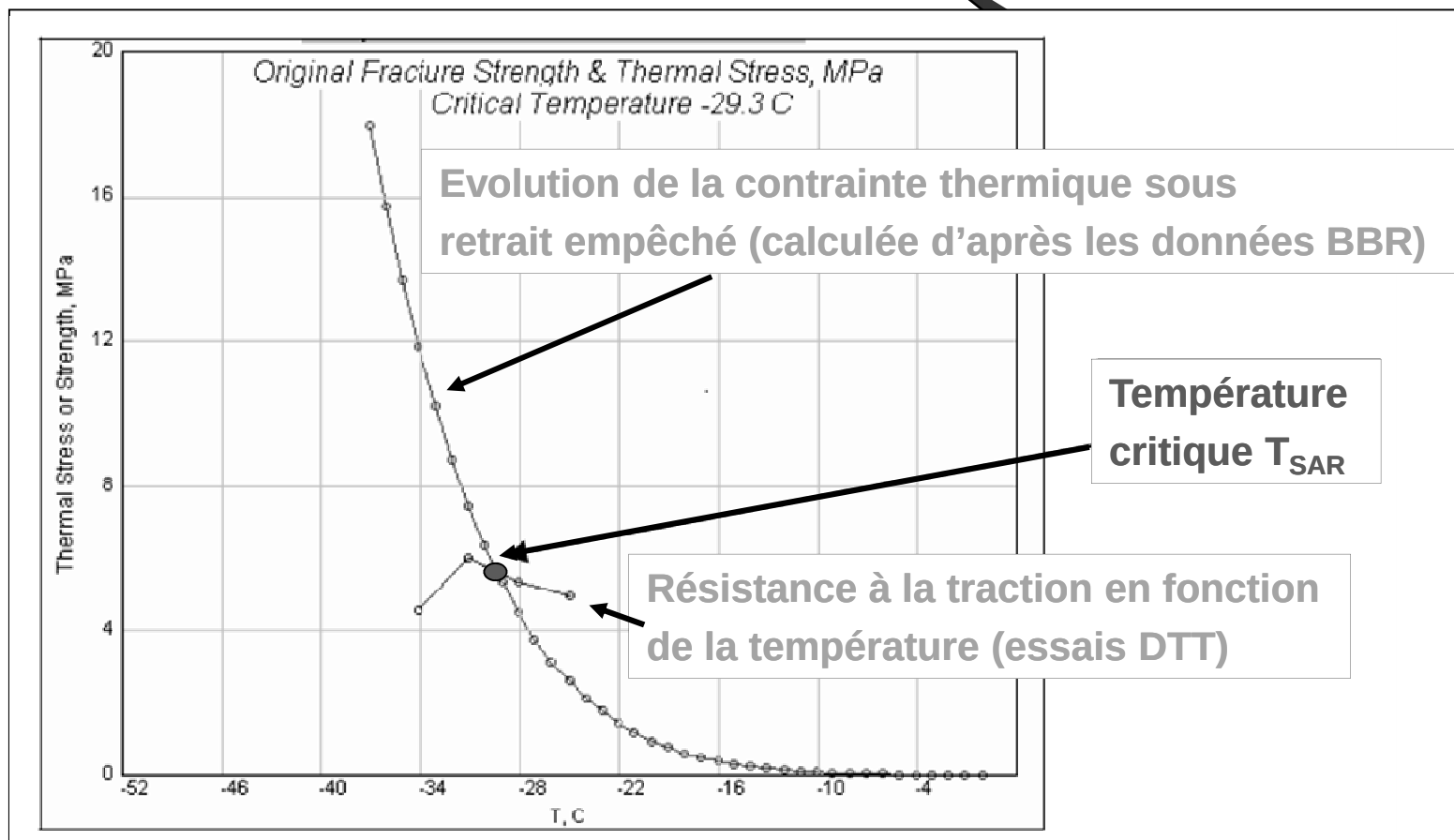
Température donnant un allongement à la rupture de 1%



FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

Critère combinant les essais BBR et DTT

Température critique de fissuration (T_{SAR})

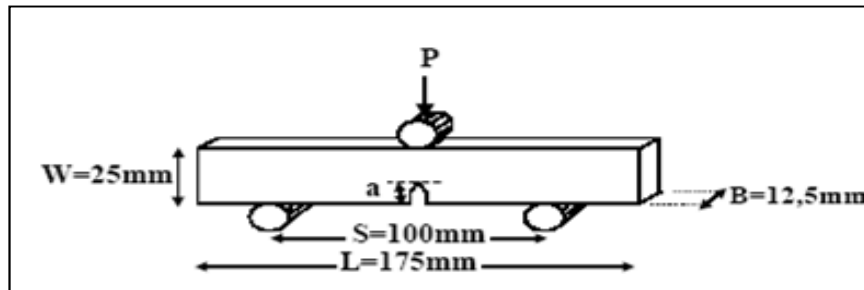


FISSURATION A BASSE TEMPERATURE



Etude de la propagation des fissures à basse température

Essai de fissuration : critères K_{IC} (Facteur intensité de contrainte)
 G_{IC} (Energie de fracture)



$$K_{IC} = \frac{P_f S}{BW^{3/2}} \times \frac{3 \left(\frac{a}{W} \right)^{1/2} \left[1,99 - \frac{a}{W} \left(1 - \frac{a}{W} \right) \times \left(2,15 - 3,93 \frac{a}{W} + 2,7 \frac{a^2}{W^2} \right) \right]}{2 \left(1 + 2 \frac{a}{W} \right) \left(1 - \frac{a}{W} \right)^{3/2}}$$

AAPT Vol. 64 – Lee, Morrison, Hesp – 1995

FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

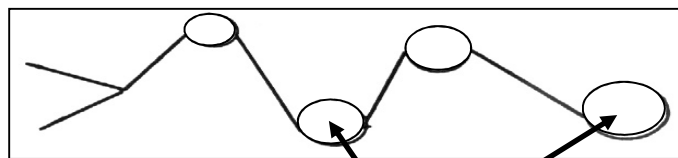
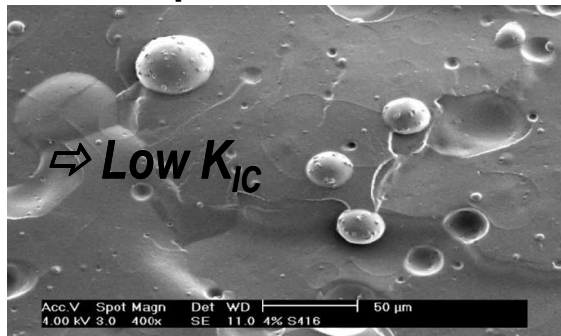
Etude de la propagation des fissures à basse température

➔ Meilleure compréhension des mécanismes (bitumes modifiés)

Crack deflection

Crack deviate from one particle to the next

Particles are pulled-out

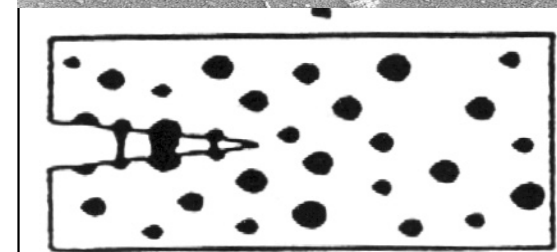


Polymer-rich nodules

Crack front bridging

Crack propagate through polymer-rich nodules which are stretched

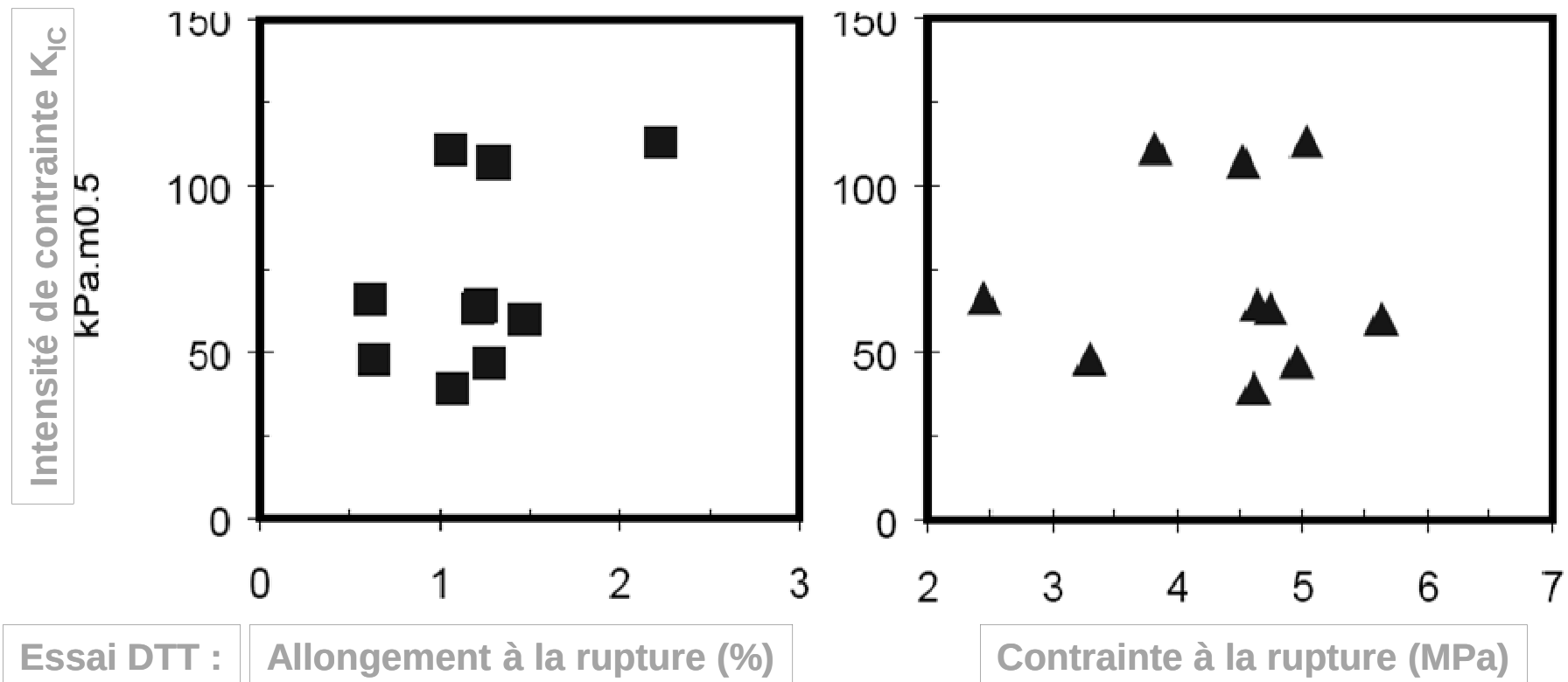
The interfacial adhesion between the phases is high



FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

Etude de la propagation des fissures à basse température

➔ Mais la relation avec les essais de traction n'est pas claire

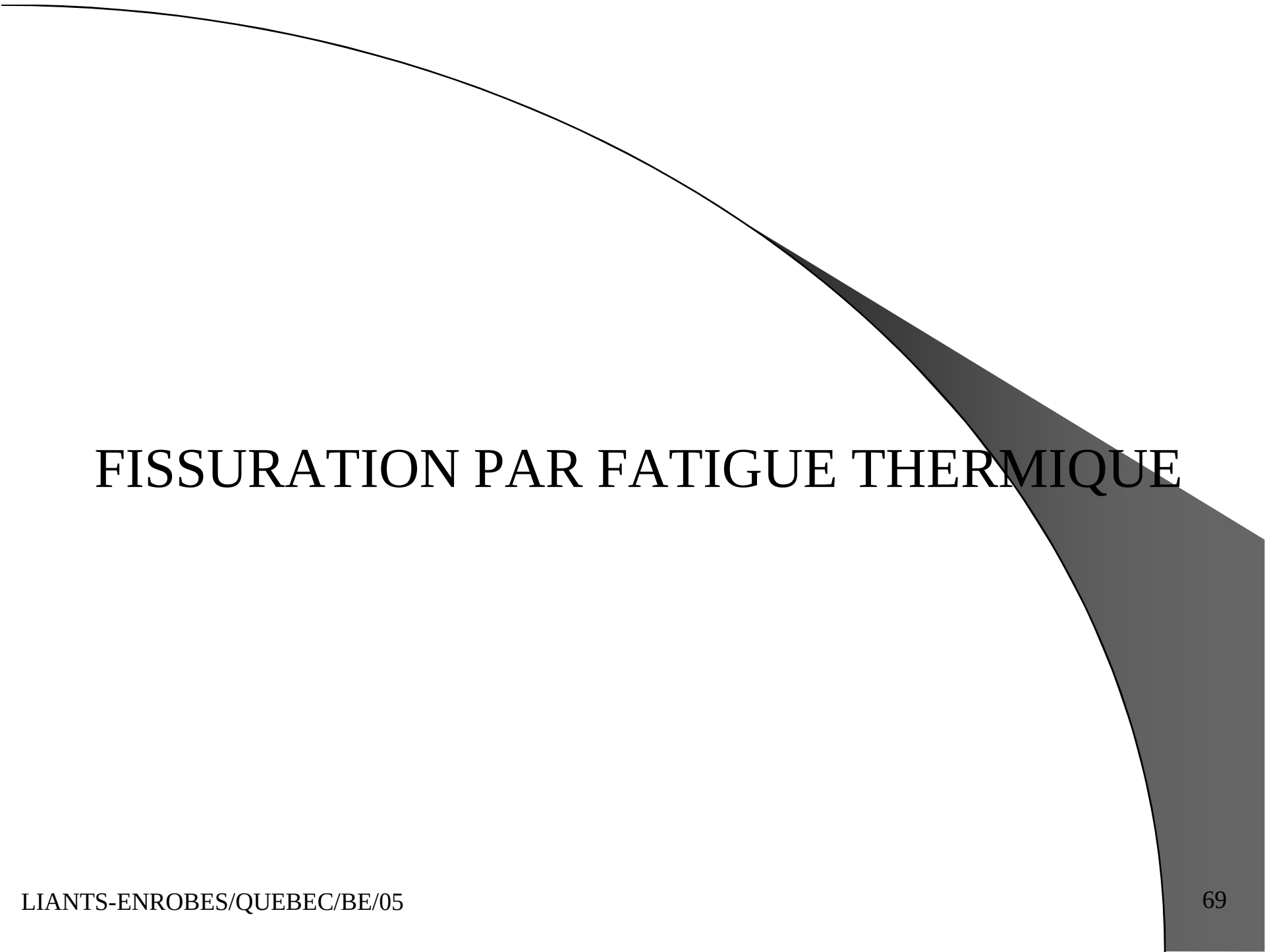


FISSURATION A BASSE TEMPERATURE

Exemple de corrélations avec des « critères de rupture »

	Pen25	B&A	Fraass	T _{bdb}	T _{s=1%}	T _{bdm} (300)	T _{bdm} (45000)	T _{TSRST}	K _{Ic} (-19.5°C;1mm/s)	G _{Ic} (-19.5°C;1mm/s)
Pen25		0.31	0.64	0.76	0.71	0.75	0.84	0.78	0.51	0.53
B&A			0.18	0.71	0.67	0.50	0.44	0.67	0.91	0.89
Fraass				0.65	0.75	0.82	0.84	0.72	0.33	0.35
T _{bdb}					0.97	0.94	0.92	0.99	0.81	0.81
T _{s=1%}						0.92	0.90	0.99	0.81	0.82
T _{bdm} (300)							0.98	0.94	0.60	0.61
T _{bdm} (45000)								0.93	0.57	0.58
T _{TSRST}									0.80	0.81
K _{Ic} (-19.5°C;1mm/s)										0.99
G _{Ic} (-19.5°C;1mm/s)										

-  Propriétés conventionnelles
-  Essais de traction sur liants
-  Essais de traction sur enrobés
-  Essais de fissuration

A decorative graphic element consisting of a thin black curved line starting from the top left and sweeping down towards the bottom right. A dark gray shaded area follows the curve of this line, starting from the middle of the curve and extending to the bottom right corner of the slide.

FISSURATION PAR FATIGUE THERMIQUE

FISSURATION PAR FATIGUE THERMIQUE

Fissuration par le haut due aux facteurs suivants :

- Variations importantes et répétées de la température (cycles jour/nuit)
- Enrobés avec trop peu de liant
- Liants trop durs, capacités d'auto-réparation insuffisante
- Liants présentant une trop forte sensibilité au vieillissement

Exemple : Sud de la France

Orniérage → Enrobés à faible module de richesse
Liants durs

↓ Cycles thermiques
Vieillissement (enrobage + in-situ)

Fissuration par le haut

FISSURATION PAR FATIGUE THERMIQUE

Exemple de corrélations (bitumes purs) :

Etude française portant sur 11 chantiers expérimentaux

Paramètres	Bitume Neuf	RTFOT + PAV	Delta PAV/Neuf	Route à 7 ans	Delta Route/Neuf
T.B.A.	**	**	*	***	**
% asphaltènes	***	***		***	
T°C, $\phi = 27^\circ$				*****	*****
T°C, $\phi = 45^\circ$	*	**	**	****	****
T°C, S = 300 MPa					****
m60 à T°C, S = 300 Mpa	*	**		****	***
T°C à m = 0,3			***	*****	*****

LES TROUBLE-FÊTE

Ce qui rend les relations Liant / Enrobé aussi difficiles :

- Représentativité des essais sur enrobés

Chaussée $\longleftrightarrow$ Essai sur enrobé ?

- Représentativité des conditions de sollicitation

Essai sur enrobé $\longleftrightarrow$ Essai sur liant ?

Les conditions de sollicitation du liant (T, Fréq., σ , ϵ , ...) doivent être aussi proches que possible de celles qu'il subit dans l'essai sur enrobé

- « Pureté » des essais

Effets parasites $\longrightarrow$ - Conception de l'essai (essais homogènes)
- Exploitation de l'essai

- Répétabilité des essais

LES TROUBLE-FÊTE

Ce qui rend les relations Liant / Enrobé aussi difficiles :

➤ Evolution du liant après enrobage et in-situ

Vieillissement court terme ➡ Essais RTFOT,

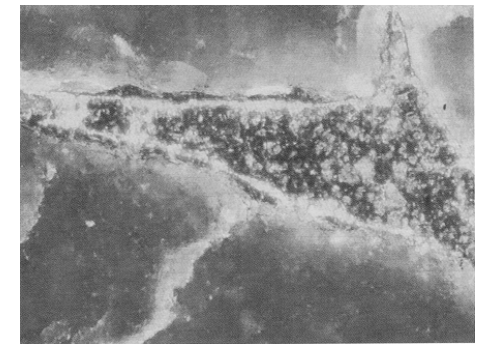
Vieillissement long terme ➡ Essais RTFOT + PAV, RCAT,

- A prendre en compte dans les corrélations Liant/Enrobé/Chaussée
- A prendre en compte pour l'établissement de critères performanciels pour les liants (ex. SUPERPAVE !)
- Concerne tous les aspects de la performance !

➤ Evolution du liant au contact des granulats

Adhésivité : - tenue à l'eau
- propriétés sollicitant l'interface (fatigue, TSRST, ...)

Interaction liant/granat : bitumes polymère



CONCLUSION

Une tâche insurmontable ?

Des avancées considérables ont pourtant été faites :

- Compréhension des matériaux
 - Comportement rhéologique
 - Mécanismes d'endommagement

- Méthodes d'essai

- Exploitation des essais

Il doit dès lors être possible d'établir

- Des modèles prédictifs plus performants et plus généraux
ou, à défaut :
- Des corrélations restreintes à des familles de liants
mieux identifiées