



IFSTTAR

l'université
nantes
angers
le mans

POLE DE RECHERCHE ET D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR



Expérimentation sur la fatigue des matériaux bitumineux

Hugues Odéon

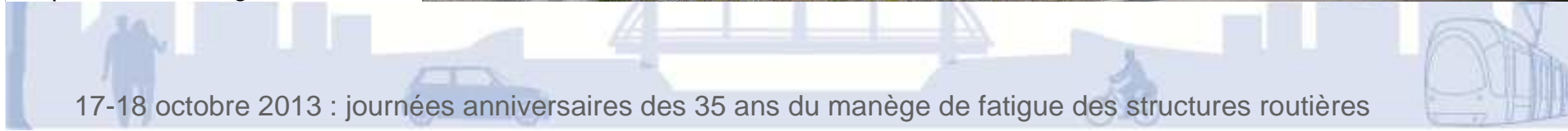
1978-2013

Un parcours d'expériences inédites



<http://35ans-manege.iftstar.fr>

17-18 octobre 2013 : journées anniversaires des 35 ans du manège de fatigue des structures routières





Expérimentation sur la fatigue des matériaux bitumineux (Odéon H.)

Plan de l'intervention

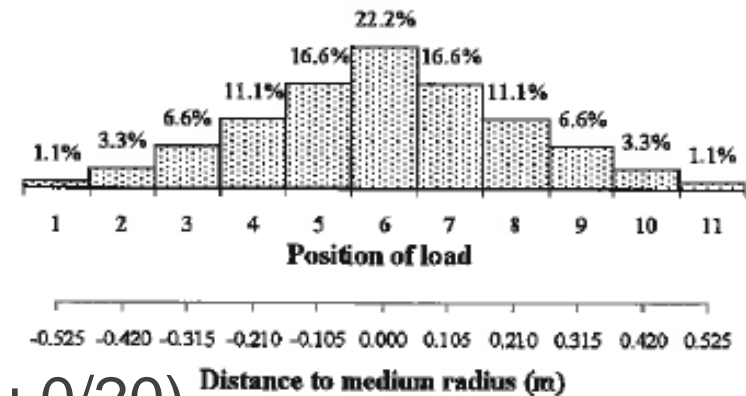
- Contexte et interrogations
 - Éléments communs aux trois expérimentations
 - Expérimentation 1
 - Expérimentation 2
 - Expérimentation 3
 - Conclusions générales
- *Travail mené en binôme avec Ch. De La Roche, responsable du volet essais de fatigue en laboratoire*

Contexte et interrogations

- **Méthode de dimensionnement** élaborée au cours des années 60 : ruine par fatigue des couches liées ;
- Comportement à la **fatigue étudié en laboratoire**, à déformation imposée pour les matx bitumx (10° C, 25 Hz);
- **Pas de liens clairs** entre caractéristiques usuelles du bitume, et caractéristiques du mélange bitumineux ; mais
 - ✓ Teneur en liant augmentée => meilleur compt en fatigue ;
 - ✓ Teneur en vides réduite => meilleur compt en fatigue ;
 - ✓ Bitume dur => mélange bitumineux moins déformables ;
- **Constat** : deux matériaux bitumineux de même squelette et élaborés avec deux bitumes de même grade, mais d'origine différentes => comport à la fatigue différents.

Eléments communs aux 3 expérimentations

- Charge appliquée : demi-essieu de 65 kN
- Vitesse de rotation de 10 tr/mn
- Balayage transversal usuel de la charge
- Matériaux bitumineux et GNT : élaborés avec des granulats de la carrière de la Noubleau (0/14 ou 0/20)
- Sol support : faible portance (CBR de 5 à 10 %)
- Analyse des résultats expérimentaux à l'aide de la démarche de dimensionnement



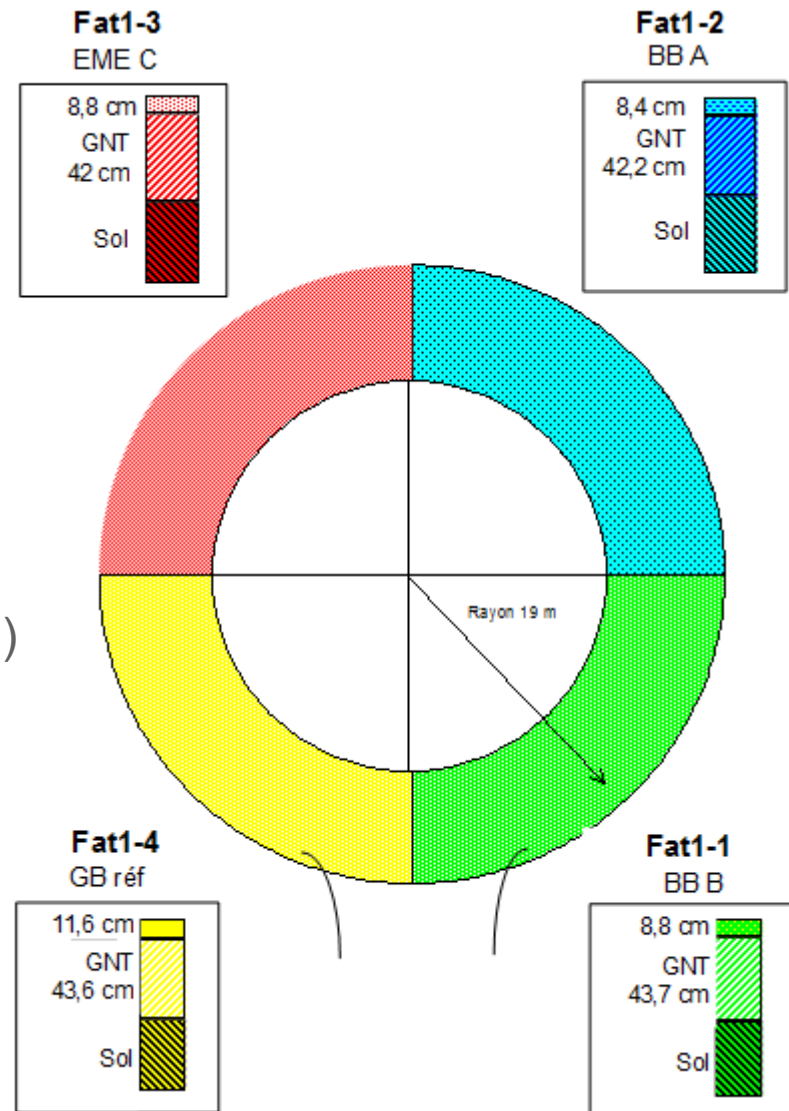
Expérimentation n° 1

➤ Objectifs :

- ✓ Comparer deux BB de même squelette, mais de bitumes différents (même grade 50/70), comport. à la fatigue différents
- ✓ Comparer un EME à une GB de référence

➤ Déroulement :

- ✓ Oct. à déc. 1990 (période froide):
1 165 000 chargements (fissures sur SI et SII)
;
- ✓ Mai à juillet 1991 (période chaude) : 1 565 000 chargements supplémentaires.



Essais de laboratoire (1/2)

	Fat1-1 BB B		Fat1-2 BB A		Fat1-3 EME		Fat1-4 GB A		
Caractérisation des liants									
	Péné	TBA	Péné	TBA	Péné	TBA	Péné	TBA	
Liant original	61	51	65	48	16	69,5	64	48	

Caractérisation des matériaux bitumineux									
Modules (MPa)									
E (MPa) (10°C, 10Hz)	10 300		12 375		15 000		13 500		
E (MPa) (20°C, 10Hz)	5 100		5 900		9 800		7 100		

Péné : pénétrabilité à 25°C (1/10 mm) TBA : température bille-anneau (°C)



Essais de laboratoire (2/2)

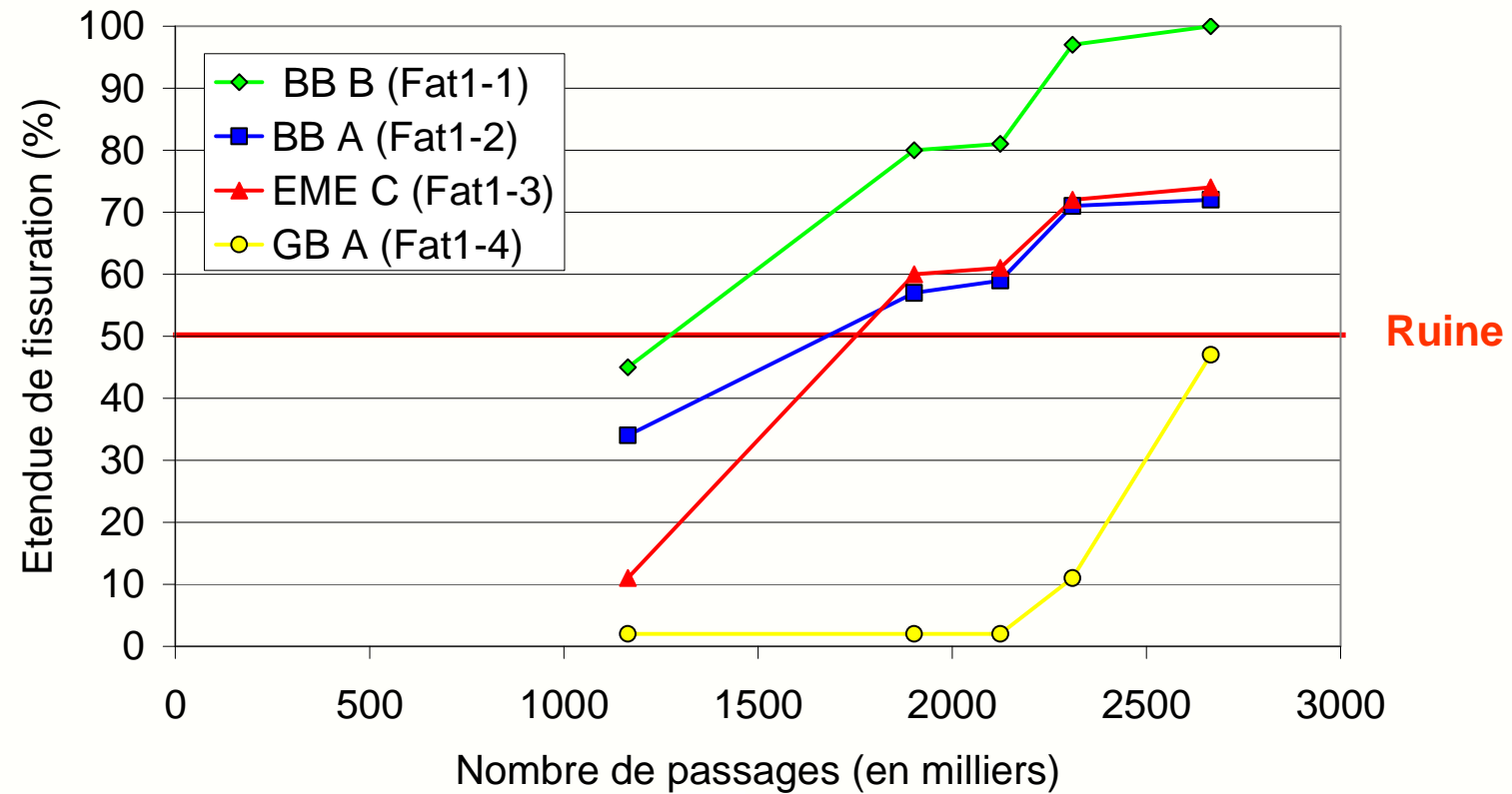
		Fat1-1 BB B		Fat1-2 BB A		Fat1-3 EME		Fat1-4 GB A	
Fatigue									
Déf imposée		ε_6	-1/b	ε_6	-1/b	ε_6	-1/b	ε_6	-1/b
Cont.	10°C-25 Hz	140	6,3	90	5,2	140	5,3	88	4,3
Cont.	20°C-25 Hz	169	6,0	104	5,2	159	5,7	91	4,1
cont. Eau	10°C-25 Hz	143	3,7	92	4,5	136	5,9	91	5,7
cont/disc	20°C-25 Hz	1/4		1/2		1/3		1/1	
Cont imposée		σ_6	-1/b	σ_6	-1/b	σ_6	-1/b	σ_6	-1/b
cont.	20°C-25 Hz	0,67	5,5	0,58	4,4	1,38	6,2	0,67	7,0
cont.	20°C-40 Hz	1,19	6,1	1,13	6,2	1,91	5,9	-	-
Disc	20°C-40 Hz	1,68	6,9	1,70	9,0	2,20	3,4	-	-

cont : essai en continu

disc : essai avec temps de repos $\frac{1}{4}$ (rapport entre nb de cycles en cont/discont)

Essais manège

Etendue de fissuration, phase 1 expérience fatigue



Période « froide »
0° C et 15° C

Période « chaude »
15° C et 20° C

Interprétation

- Détermination de modèles des structures par calage inverse (sol à 35 MPa, modules mesurés en labo) ;
- Estimation des sollicitations :
 - ✓ Déformations calculées plus grandes que mesurées ;
 - ✓ $\varepsilon_L > \varepsilon_T$ mesurées et calculées (apparition de fissures trans.);
 - ✓ Réduction de l'écart avec empreintes rectangulaires ;
- Estimation des durées de vies :
 - ✓ Résultat d'essai de fatigue déterminant sur durée de vie ;
 - ✓ Si on ajuste le coef de calage sur la durée de vie, alors :
$$k_c(\text{EME})=1 \quad k_c(\text{GB})=1,6 \quad \text{pour } k_c(\text{BB})=1,1$$
 - ✓ Calage relatif des deux BB optimisé pour
essai à contrainte imposée, air, 20° C et 40 Hz

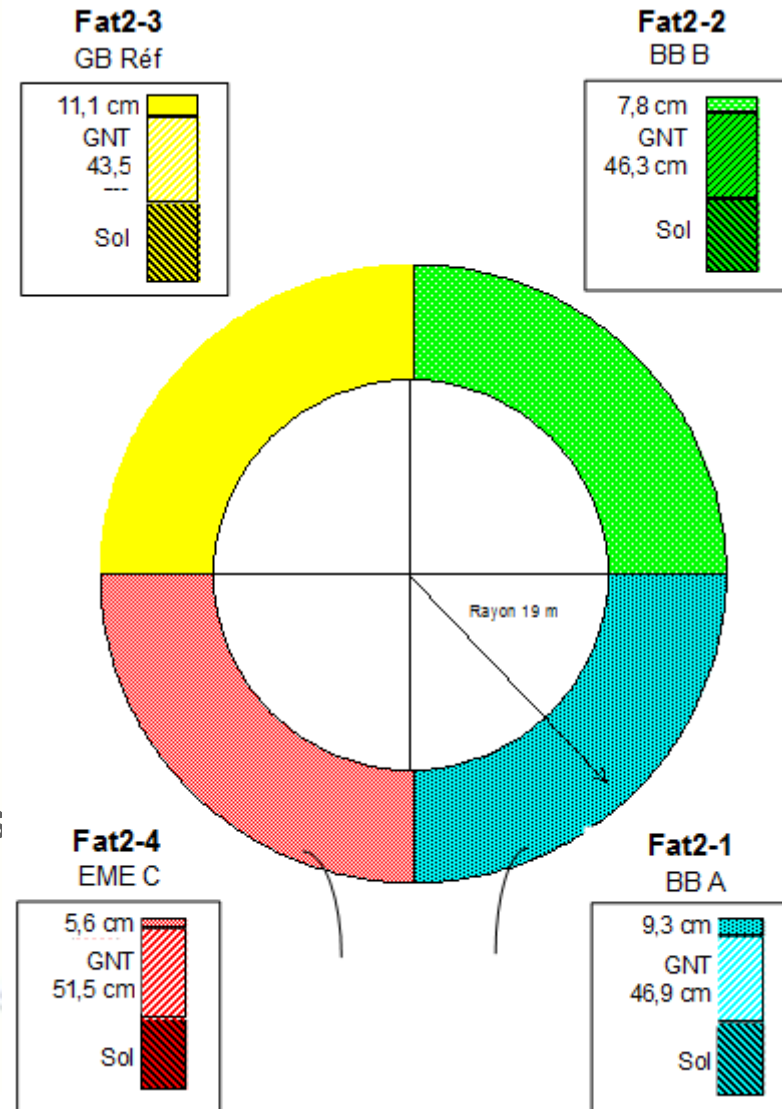
Expérimentation n° 2

➤ Objectifs :

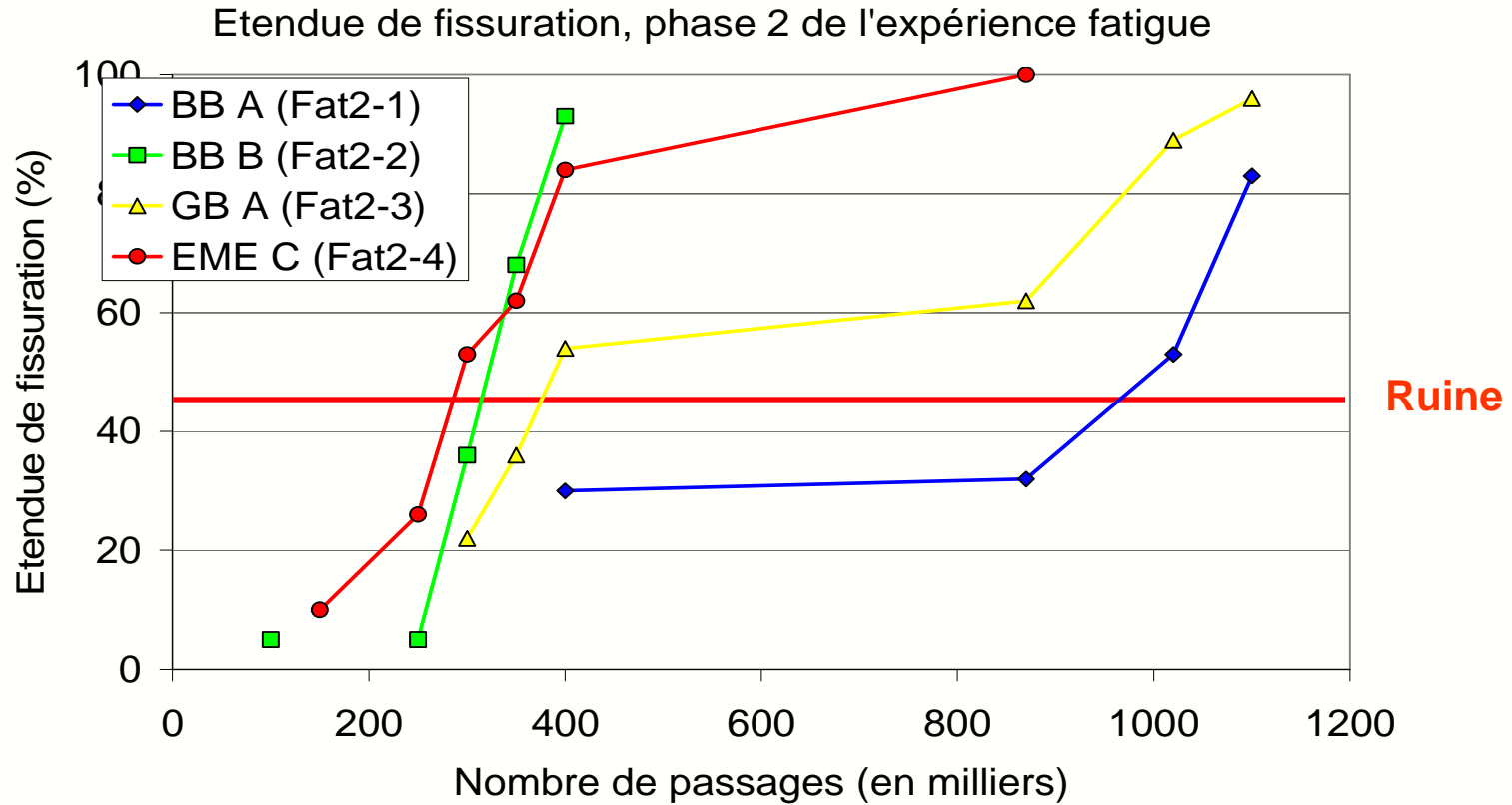
- ✓ Valider les résultats de l'expérimentation n° 1 ;
- ✓ Mêmes matériaux, même site ;

➤ Déroulement :

- ✓ Nov 1991 à janv 1992 (période froide):
1 400 000 chargements ;
- ✓ Matériaux bitumineux un peu plus rigides (13 à 30%).



Essais manège



Période « forte pluie »

Période « sans pluie »

Températures comprises entre 0° C et 12° C

Interprétation

- Détermination de modèles des structures par calage inverse (sol à 30 MPa, modules mesurés en labo) ;
- Estimation des sollicitations : idem à phase 1, à savoir :
 - ✓ Déformations calculées plus grandes que mesurées ($\varepsilon_L > \varepsilon_T$) ;
 - ✓ Réduction de l'écart avec empreintes rectangulaires ;
- Estimation des durées de vies : similaire à phase 1.



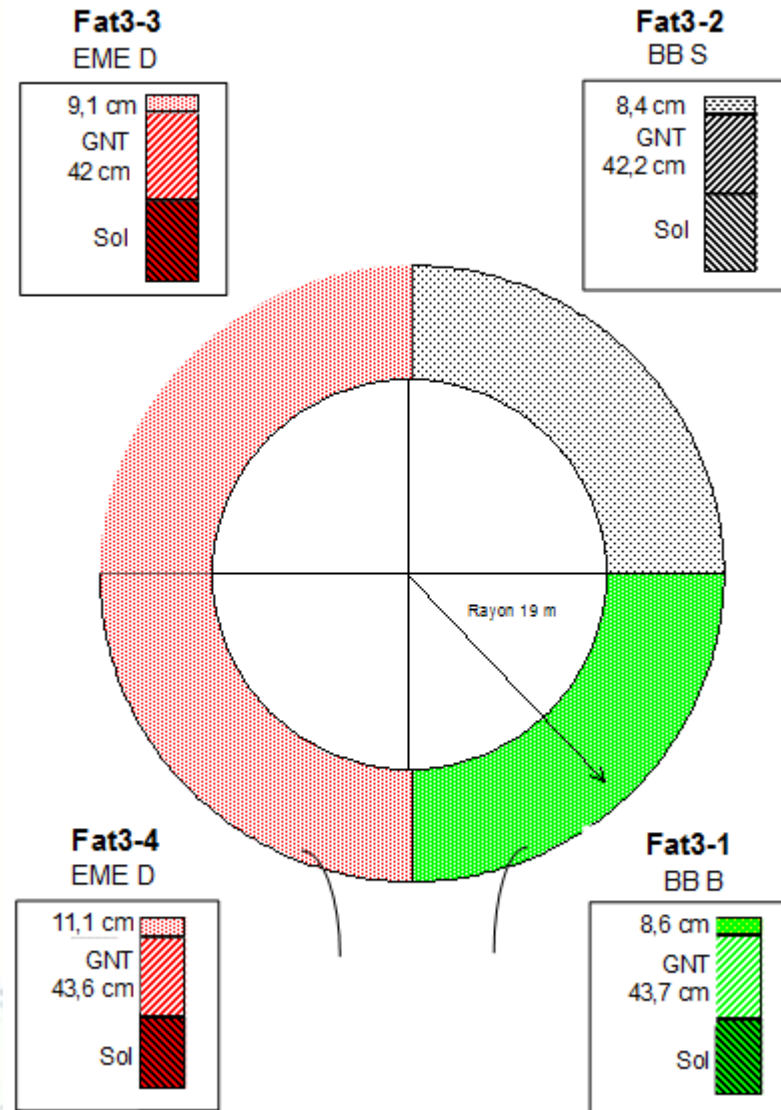
Expérimentation n° 3

➤ Objectifs :

- ✓ Améliorer la compréhension du comportement des EME (nouvel EME, deux épaisseurs) ;
- ✓ Evaluer l'apport des bitumes modifiés (BB S, modifié SBS) ;

➤ Déroulement :

- ✓ Nov 1993 à avril 1994 :
3 200 000 chargements
- ✓ Autre site.



Essais de laboratoire (1/2)

	Fat3-1 BB B		Fat3-2 BB S		Fat3-3 EME D		Fat3-4 EME D	
Caractérisation des liants								
	Péné	TBA	Péné	TBA	Péné		TBA	
Liant original	61	51	59	60	20		63	
Caractérisation des matériaux bitumineux								
Modules (MPa)								
E (MPa) (10°C, 10Hz)	12 400		11 300		18 800			
E (MPa) (20°C, 10Hz)	6 100		5 300		12 300			

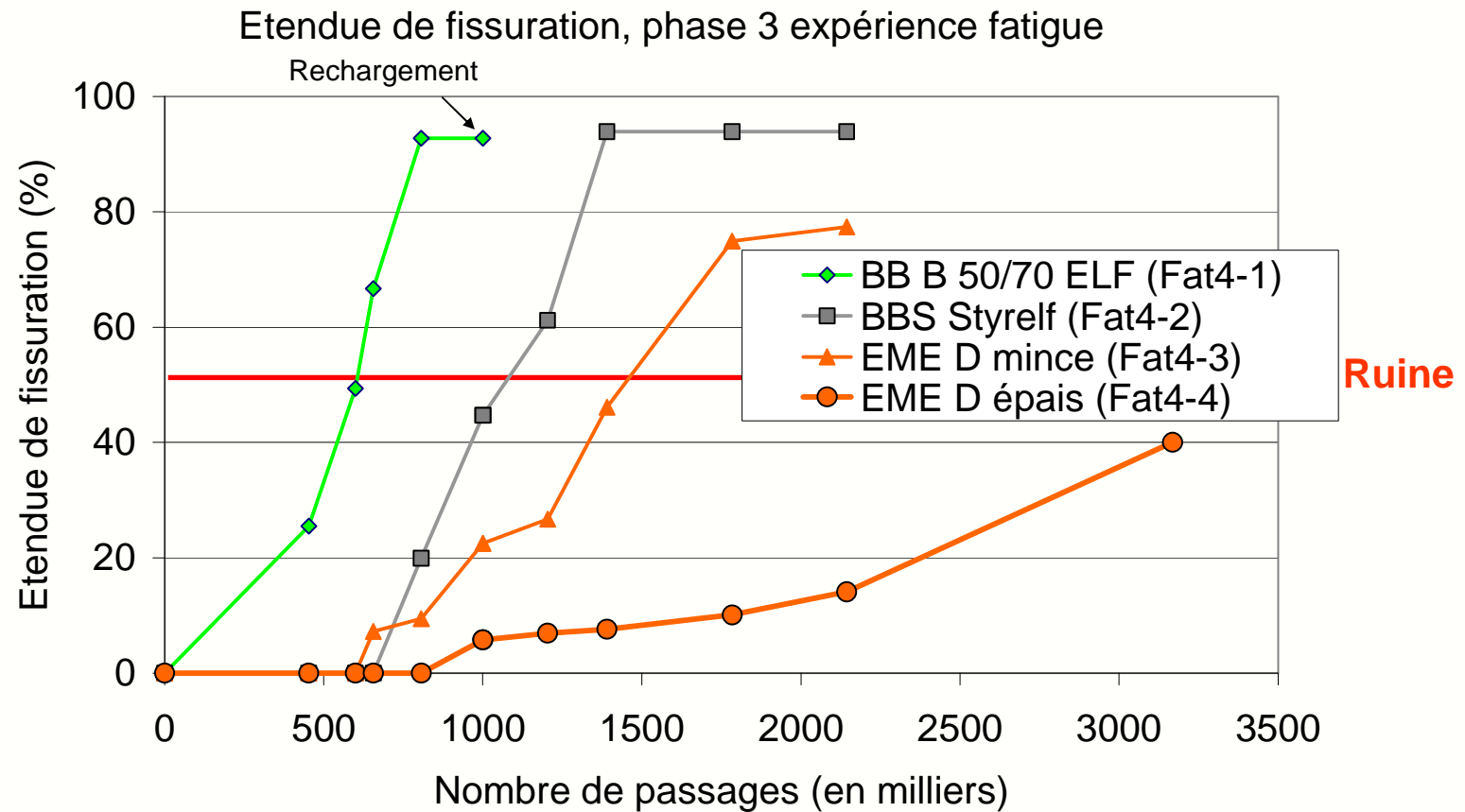
Péné : pénétrabilité à 25°C (1/10 mm) TBA : température bille-anneau (°C)

Essais de laboratoire (2/2)

		Fat3-1		Fat3-2		Fat3-3		Fat3-4	
		BB B		BB S		EME D		EME D	
Fatigue									
Déf imposée		ε_6	-1/b	ε_6	-1/b	ε_6	-1/b		
cont	10°C-25 Hz	140	6,3	175	6,1	141	6,1		
cont	20°C-40 Hz	140	6,7	237	7,5	133	5,8		
disc 1:10	20°C-40 Hz	163	4,9	292	4,9	187	7,4		
Cont imposée		σ_6	-1/b	σ_6	-1/b	σ_6	-1/b		
cont.	20°C-40 Hz	0,66	6,2	0,82	5,5	-	-		
disc 1:10 Air	20°C-40 Hz	1,02	5,6	1,41	9,2	2,30	8,8		

cont : essai en continu disc 1:5 : essai discontinu par pulsation (une unité de sollicitation pour 5 de repos)
 dis-s 8 :80 : essai discontinu par salve (8 secondes de sollicitation pour 80 secondes de repos)

Essais manège



Période « pluie »

Période « sans pluie »

Températures comprises entre 5° C et 20° C

Interprétation

- Détermination de modèles des structures par calage inverse (nouveau site : sol à 25 MPa) ;
- Estimation des sollicitations :
 - ✓ Déformations calculées doubles de celles mesurées ($\varepsilon_L > \varepsilon_T$) ;
 - ✓ Réduction de l'écart avec empreintes rectangulaires, mais... ;
- Estimation des durées de vies :
 - ✓ Intérêt des empreintes rectangulaires ;
 - ✓ Modèle rend compte de la variation d'épaisseur de l'EME D ;
 - ✓ Coefficient de calage : $k_c(\text{EME}) < k_c(\text{BB})$
 - ✓ Essais à contrainte imposée :
 - pas d'intérêt des essais en continu ;
 - avec temps de repos : amélioration absolue, pas relatif

Conclusions générales

➤ Premières conclusions directement valorisées :

- ✓ Coefficient de calage des EME : $k_c = 1$;
- ✓ EME en faible épaisseur sur couche granulaire : comportement fragile (développement rapide de la fissuration) ;
- ✓ BBS (au bitume modifié par SBS) : meilleur comportement qu'un BB classique (durée de vie améliorée) ;

➤ Amélioration de la compréhension des mécanismes :

- ✓ Essai de fatigue à contrainte imposée : comportement relatif mieux appréhendé, mais pas la durée de vie ;
- ✓ Essais de fatigue avec temps de repos : estimation de la durée de vie améliorée, mais pas le comportement relatif ;
- ✓ Empreintes rectangulaires : amélioration de l'estimation des sollicitations pour les couches minces.

Merci pour votre attention

**Fissuration de la structure I
après 800 000 cycles (Essais
fatigue phase 3)**

