



**L  
C  
M  
B**

# Bilan des activités de recherche du LCMB

avec  
ses partenaires de l'industrie routière

**D. Perraton (ÉTS)  
Mars 2012**



# **L** Plan de la présentation

# **C**

---

## **M** • Mise en contexte

## **B**

- Le projet et ses partenaires
- Approche Mécaniste de dimensionnement
- Réalisation d'une planche d'essais
- Quelques résultats des projets en cours



# **L** Un projet de R&D Coopératif

# **C**

- # **M**
- Les projets de R&D Coopératif,  
**B** sont parrainés par :

le Conseil de Recherches en Sciences  
Naturelles et en Génie du Canada : le **CRSNG**  
pour appuyer l'avancement des connaissances  
dans différents domaines

- Les acteurs:
  - Partenaires Industriels
  - Professeurs
  - Le CRSNG



# L RDC – ÉTS

## C Les partenaires

M  
B

- Responsable (ÉTS)

Daniel Perraton

- Associé (ÉTS)

Alan Carter

2 professeurs  
de l'ÉTS

- Les partenaires industriels (Par ordre alphabétique)

- Bitume Québec
- DJL inc.
- Inspec-Sol inc.
- Les Industries McAsphalt Limitées
- SINTRA inc.
- Talon Sebeq inc.

6 partenaires  
industriels

- Collaborateurs

- G. Doré (U. Laval)
- H. Di Benedetto (ENTPE, Lyon, France)
- B. Buttler (Illinois State University)

3 Collaborateurs  
externes



# L RDC – ÉTS

## C Le projet en cours

### M B

- Titre du projet de RDC:  
**Intégration des propriétés thermomécaniques dans le processus de conception des chaussées souples**



- Le projet de RDC en bref:
  - Caractériser en laboratoire les propriétés thermomécaniques des matériaux bitumineux les plus couramment utilisés au Québec
  - Mettre en place une approche de conception de type mécaniste-empirique (...volet fatigue )
  - Réalisation de planches d'essais pour valider le processus de dimensionnement

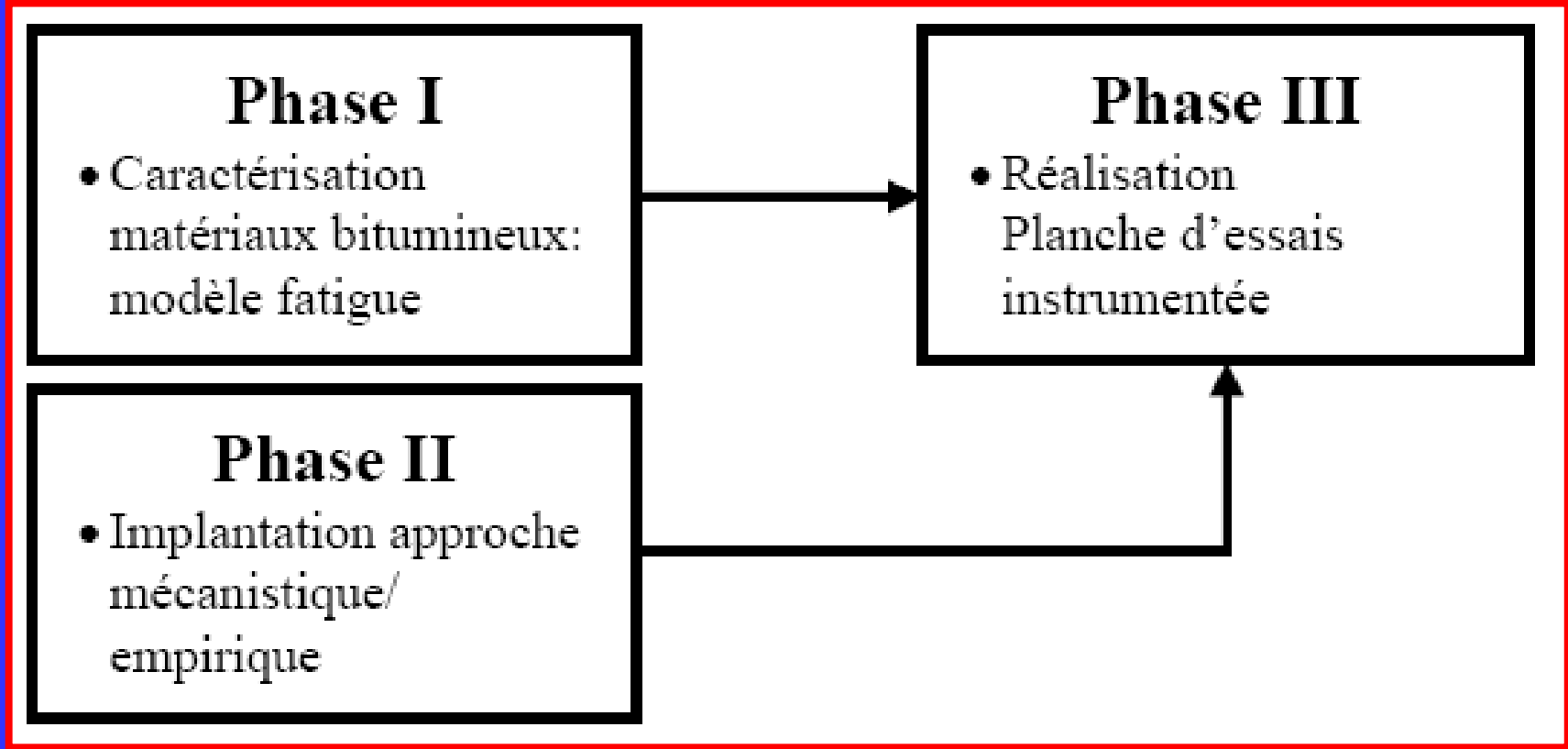


# L RDC - ÉTS

## C Déroulement

M ⇒ Déroulement en trois phases

B





# L RDC – ÉTS : c Problématique

- M** • Rigidité de la méthode actuelle de conception des  
**B** chaussées bitumineuses limite l'intégration de technologies Innovantes

Une alternative s'inscrit dans une méthode de conception fondée sur l'analyse des forces en jeu!  
...une approche Analytique  
...on s'intéresse à la **MÉCANIQUE** de la chaussée  
...une approche mécaniste!





# **L** RDC – ÉTS :

## **C** Bilan des recherches 2011 (4<sup>ème</sup> année)

---

**M**  
**B**

- **Fatigue des enrobés**

- Nouvelle méthode d'analyse
- Essais de fatigue à différentes températures (10; 20 et 30 °C)

- **Planche d'essais en milieu urbain**

- Instrumentation
- Évolution de la teneur en eau dans un MR-TE
- Mesure des déformations dans les différentes couches du revêtement bitumineux



# **L** RDC – ÉTS : **C** Bilan des recherches 2011 : FATIGUE

**M**  
**B**

## ▪ **Objectifs:**

- Évaluer la dispersion des résultats
- Évaluer l'effet de la température :  
Essais à 10°C, 20°C et 30°C
- Quantifier l'effet des vides dans l'enrobé sur la résistance en fatigue

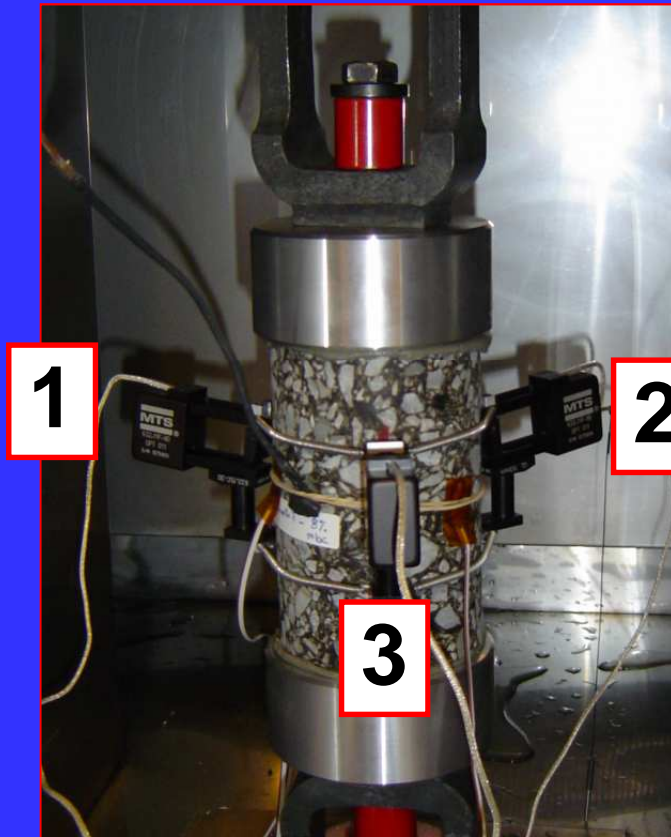
## ▪ **Programme expérimental**

- Essais réaliser à 10 Hz
- Enrobé de base : GB-20
- Bitume avec et sans polymère :  
PG58-28 et PG64-28



# L RDC – ÉTS : C Fatigue – Résultats types

M  
B



2 Extensomètres

GB20 (PG58-28) P3B2D120



**L** RDC – ÉTS :

**C** Fatigue Analyse : Critère s de rupture

---

**M**

**B**

$N_{f \text{ III/III}} : 146\ 274 !$

$\neq$

$N_{f \text{ 50\%}} : 281\ 589 !$

GB20 (PG58-28) P3B2D120



**L** RDC – ÉTS :

**C** Fatigue Analyse : Dispersion de la durée de vie

---

**M** Courbe de Wöhler GB20(PG58-28) (10°C)

**B**

Bitume sans polymère!

$$N_{f 50\%}$$

$$k_1 = 5 \times 10^{-17}$$

$$k_2 = 5,5$$

$$N_{f II/III}$$

$$k_1 = 1 \times 10^{-15}$$

$$k_2 = 5,1$$



# L RDC – ÉTS :

## C Fatigue Analyse : Dispersion de la durée de vie

### M Courbe de Wöhler GB20(PG64-28) (10°C)

B

Bitume AVEC polymère!

$$N_{f\ 50\%}$$

$$k_1 = 3 \times 10^{-25}$$

$$k_2 = 7,9$$

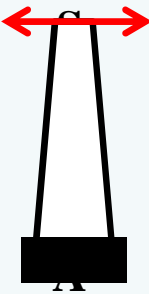

$$N_{f\ II/III}$$

$$k_1 = 4 \times 10^{-9}$$

$$k_2 = 3,8$$

# L RDC – ÉTS : C Fatigue Analyse : Dispersion de la durée de vie

## Valeurs de SN

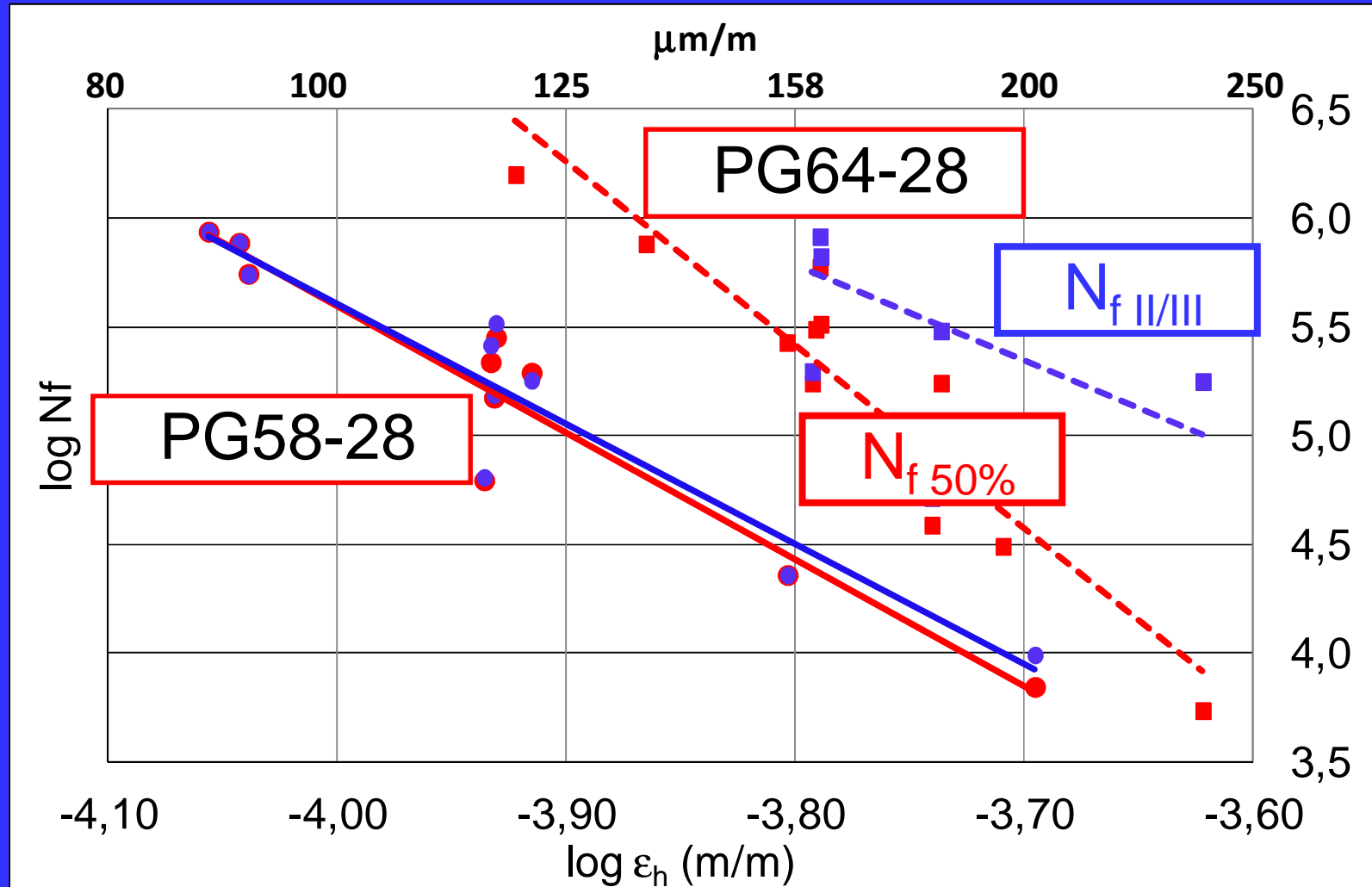
	Classes de bitume	$\epsilon_6$ ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )	$k_2$		SN	
			<i>Nf 50%</i>	<i>Nf II/III</i>	<i>Nf 50%</i>	<i>Nf II/III</i>
	BBSG	100	5		0,25	
	GB1	70	5		0,4	
	GB2	80	5		0,3	
	GB3	90	5		0,3	
	EME1	100	5		0,3	
	EME2	130	5		0,25	
	<b>GB20 (PG58-28)</b>	<b>90</b>	<b>5,5</b>	<b>5,1</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>
	<b>GB20(PG64-28)*</b>	<b>140</b>	<b>7,9</b>	<b>3,8</b>	<b>0,22</b>	<b>0,28</b>



# L RDC – ÉTS :

## C Fatigue - Type de bitume

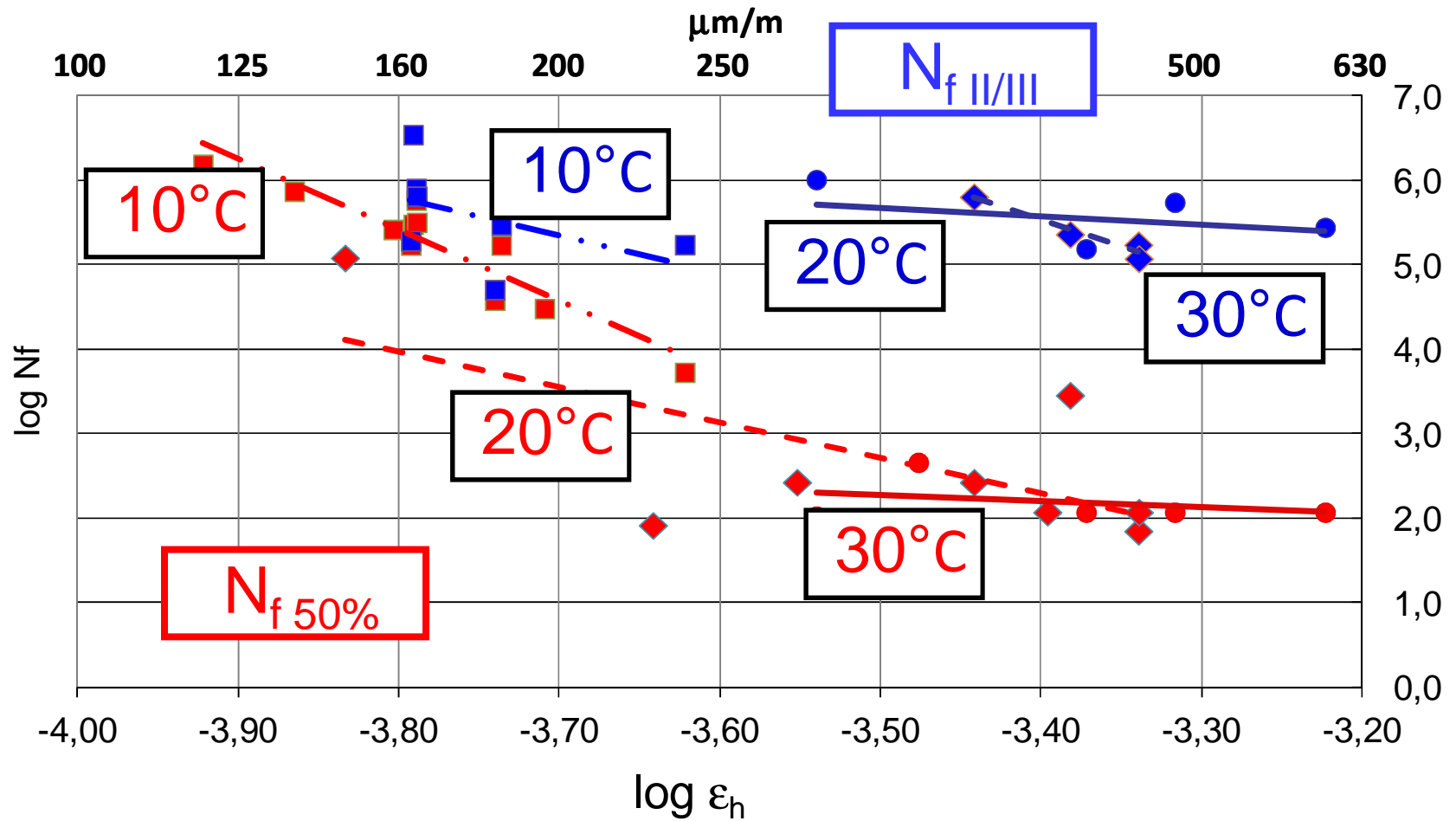
M  
B





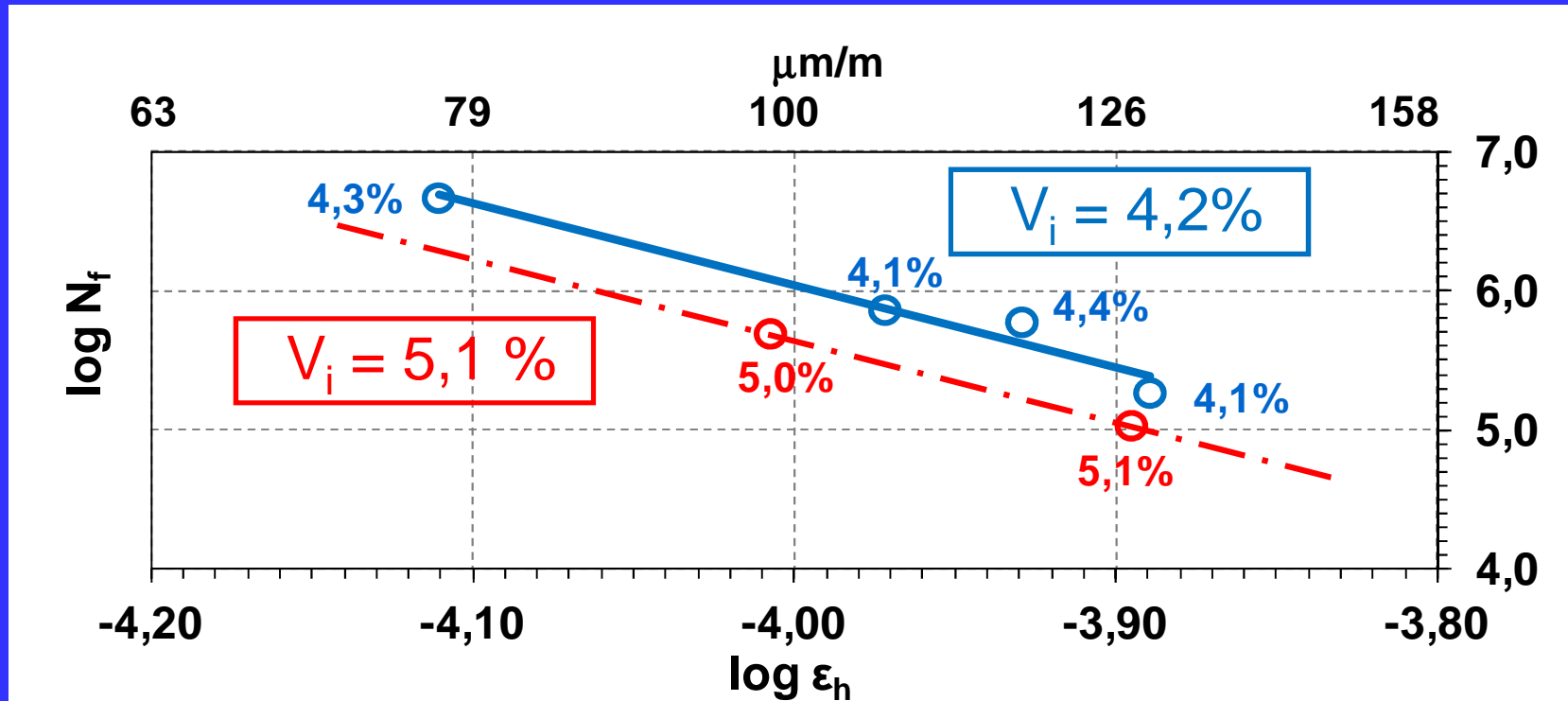
# L RDC – ÉTS : C Fatigue - Effet de la Température

M  
B



# L RDC – ÉTS :

## C Fatigue - Effet des vides sur la réponse



$$N_{f \text{ II/III}}^{V_i = 4,2\%}$$

$$k_1 = 3 \times 10^{-18}$$

$$k_2 = 5,9$$

$$N_{f \text{ II/III}}^{V_i = 5,1\%}$$

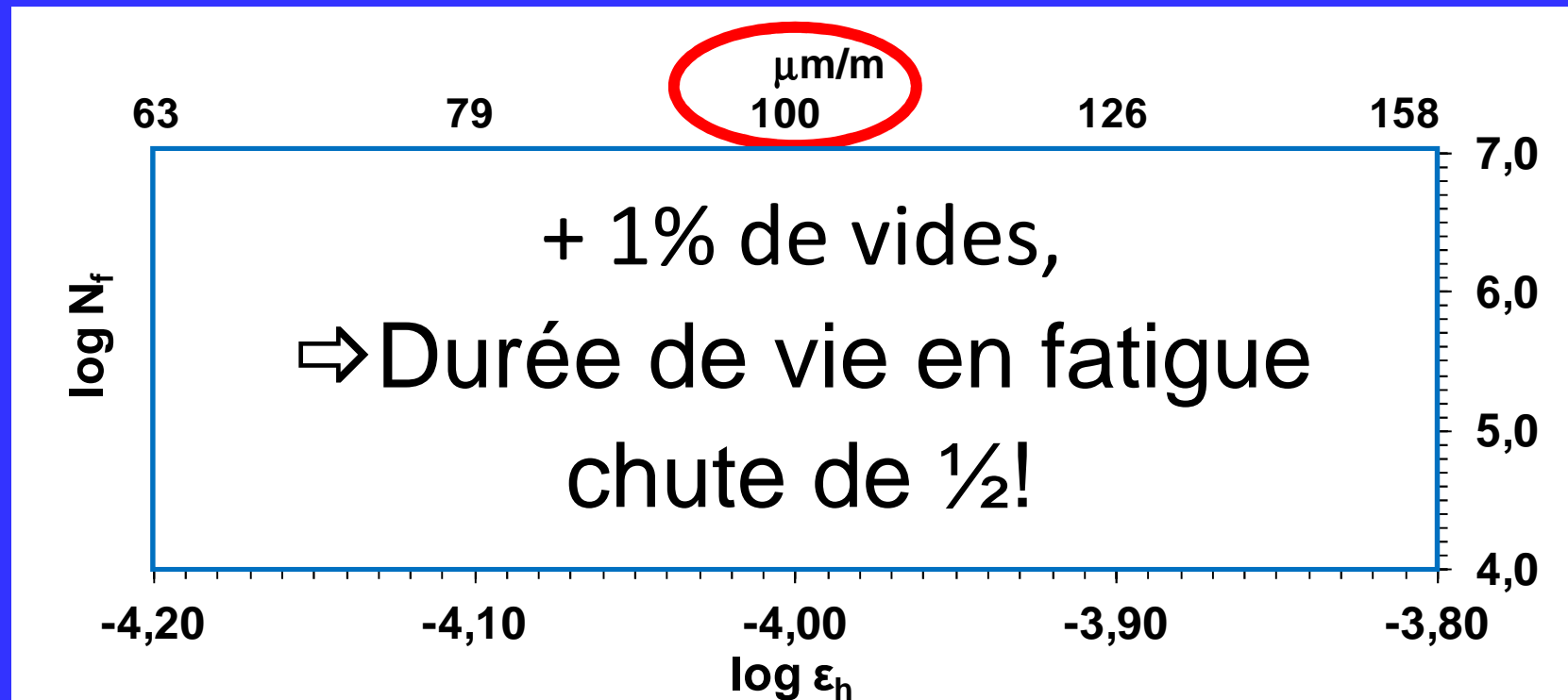
$$k_1 = 1 \times 10^{-18}$$

$$k_2 = 5,9$$

# L RDC – ÉTS :

## C Fatigue - Effet des vides sur la réponse

M Attention : Une faible variation de la teneur en vides,  
B ce traduit par une perte très importante  
de la durée de vie en Fatigue de l'enrobé... Échelle LOG!





# L RDC – ÉTS :

## C Fatigue - Synthèse

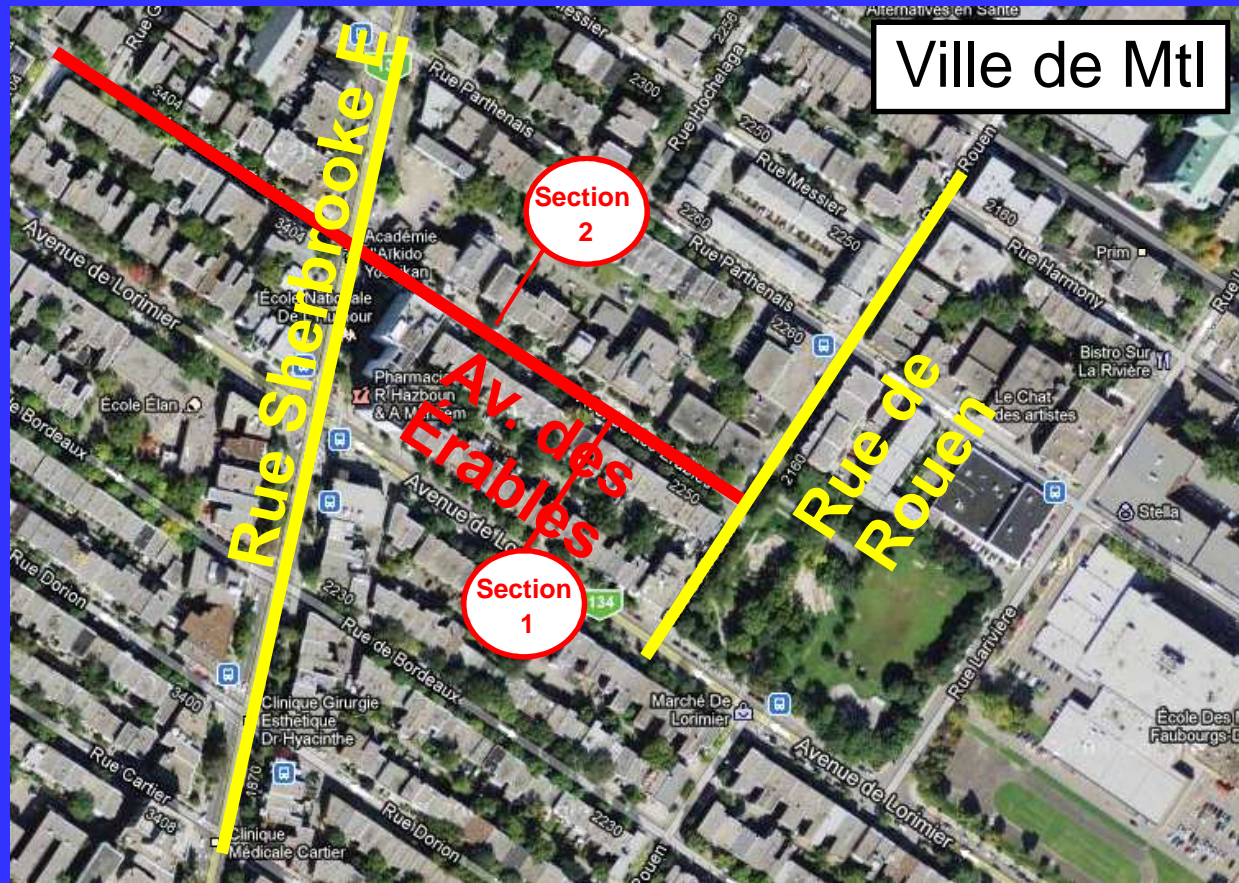
- M ■ Pour avoir des résultats rigoureux, il faut être  
B très minutieux;
- Le critère classique,  $N_f 50\%$ , est non applicable pour les enrobés avec bitumes polymères
- La teneur en vides de l'enrobé influence fortement la valeur de  $N_f$ ,  
...la qualité de la mise en oeuvre est donc un élément extrêmement critique



# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Instrumentation

## M ■ Planche d'essais: Localisation

B





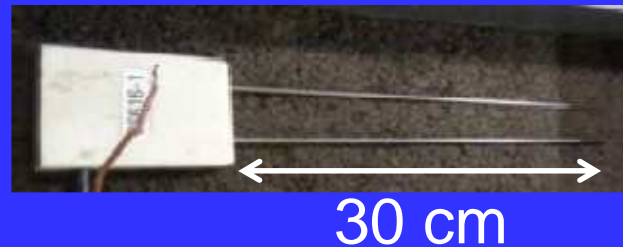
# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Instrumentation

M  
B

- Jauges de déformations



- Sondes d'humidité



- Thermocouples

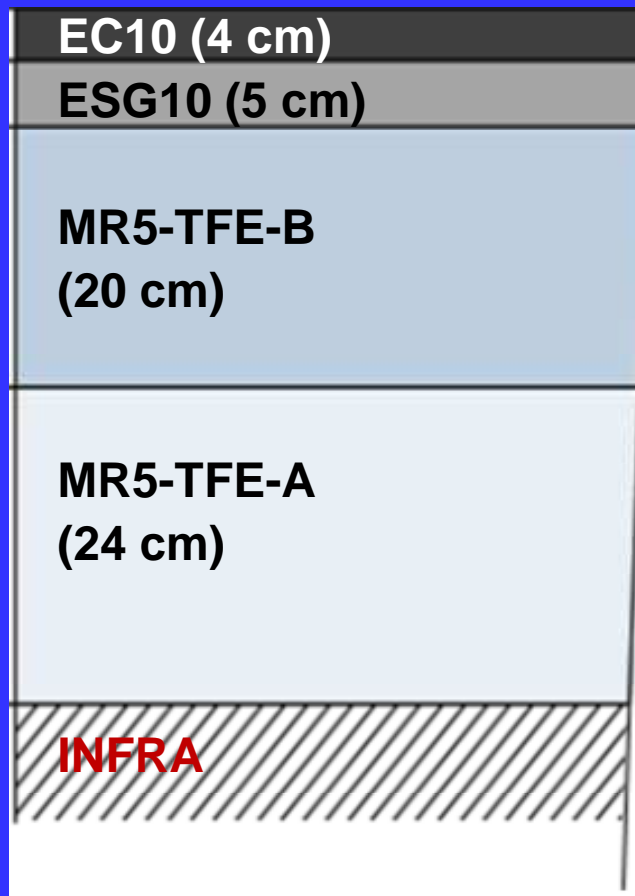


# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Instrumentation

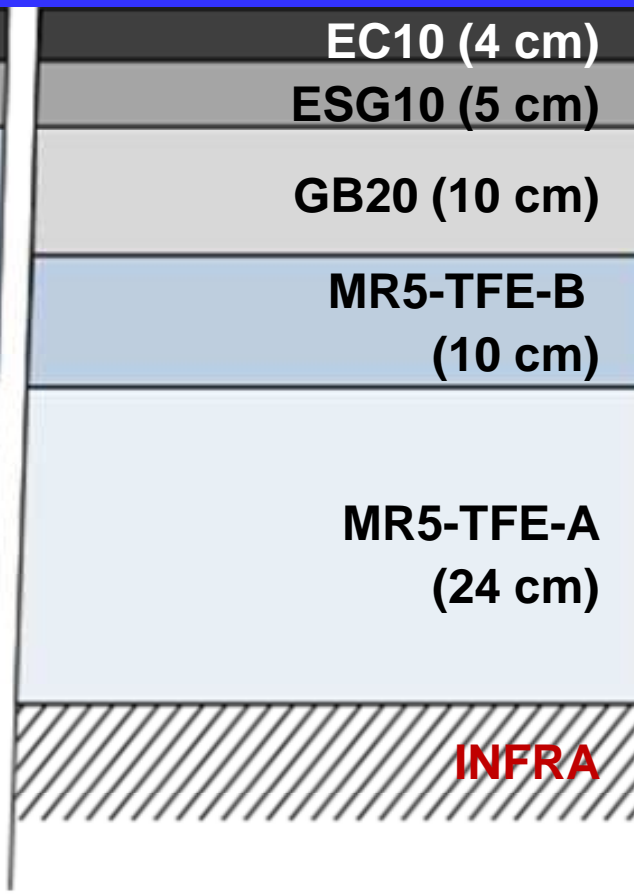
M  
B

## Sections – vues en coupe

### Section 1



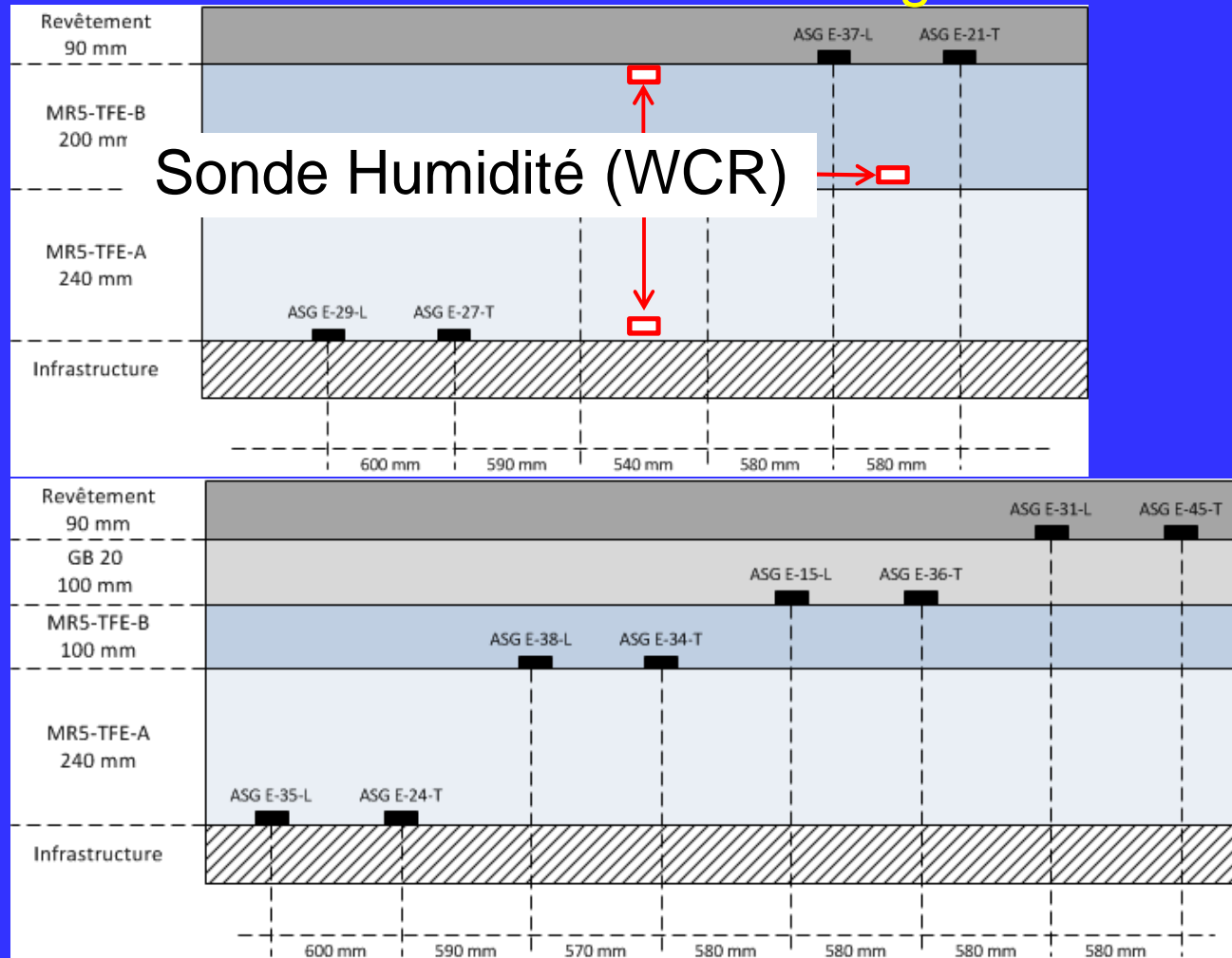
### Section 2





# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Instrumentation

## Instrumentation – Jauges de déformation



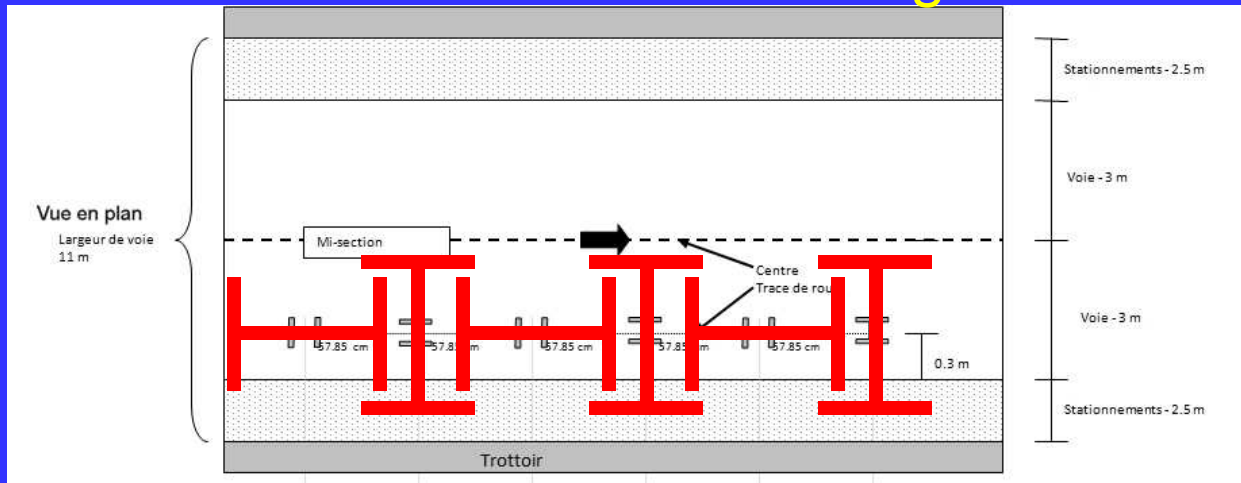
*Section 1*  
6 jauges

*Section 2*  
8 jauges

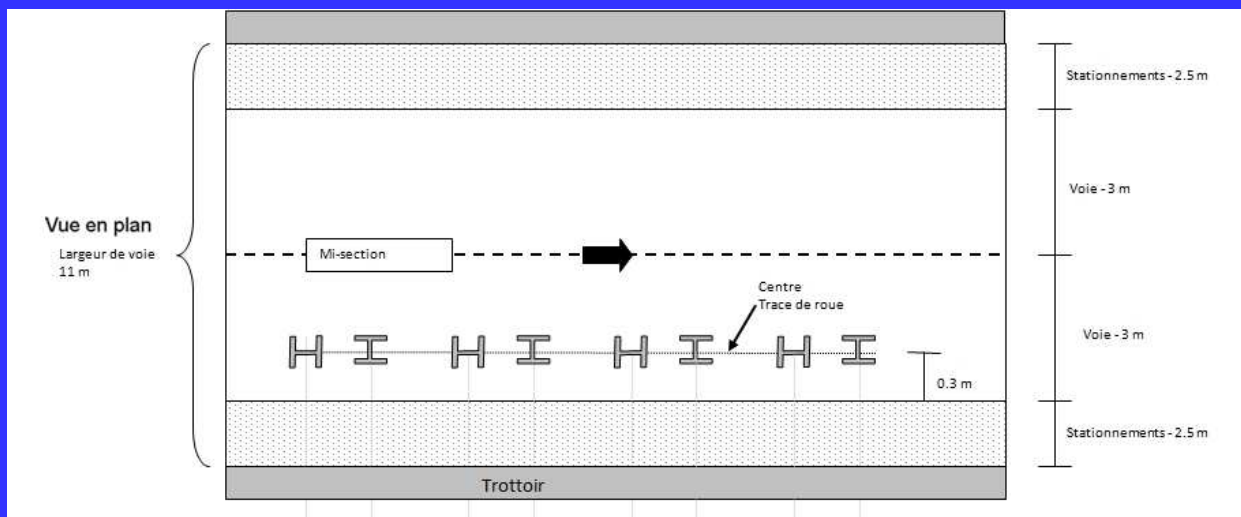


# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Instrumentation

## Instrumentation – Jauges de déformation



*Section 1*



*Section 2*

# L RDC – ÉTS : c Planche d'essais : Instrumentation



Jauges de déformation

## Installation des Jauges

Mise en place des jauges au niveau à bulle  
sur mastic ECF CSS-1





# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Instrumentation

M  
B

## Installation des Sondes (WCR)





# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Instrumentation

M  
B

➤ Délimitation de la zone de confinement





# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Instrumentation

M  
B

➤ Délimitation de la zone de confinement





# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Instrumentation

M  
B

➤ Mise à place de la sonde





# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Instrumentation

M  
B

➤ Recouvrement de la sonde





# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Instrumentation

M  
B

➤ Remblai de la section



# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Instrumentation

M  
B

➤ Compactage et début d'acquisition





# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Essais de WFD

M  
B

22 octobre  
2010  
et  
01 novembre  
2011



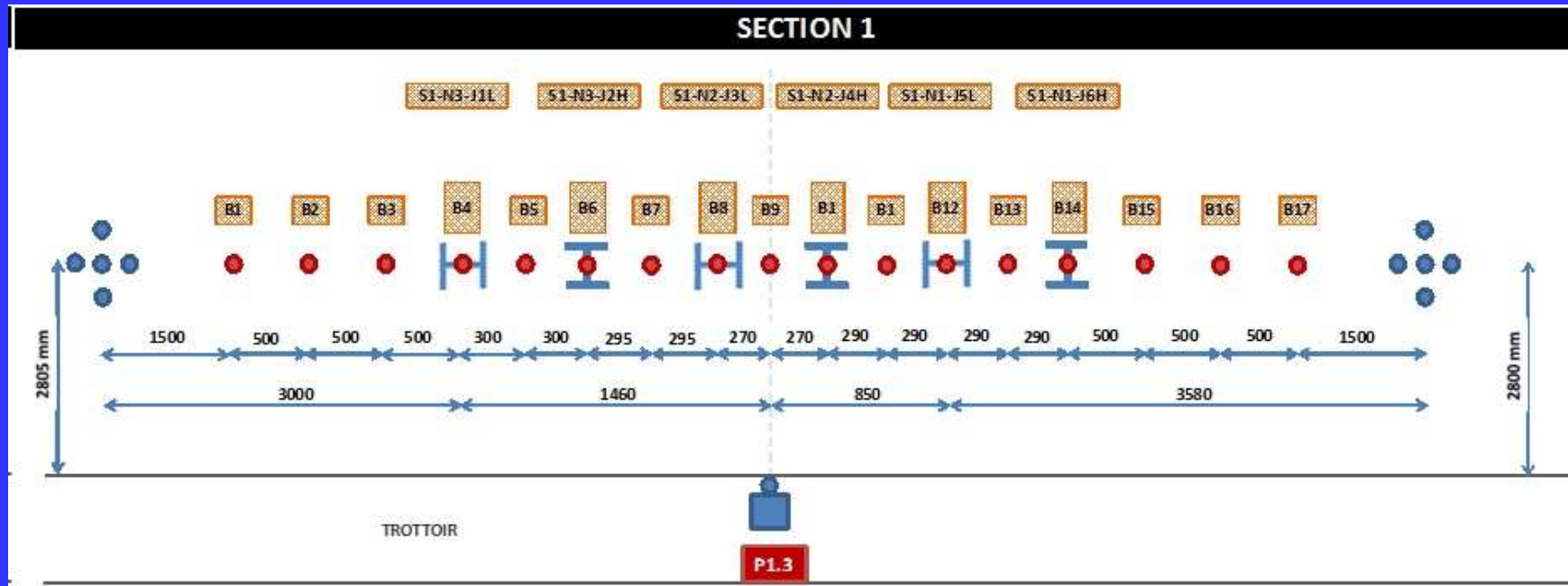
FWD



# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Essais de WFD

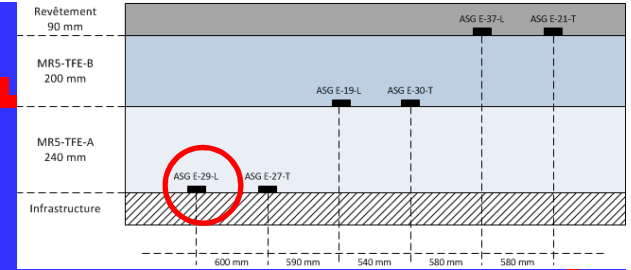
M  
B

➤ Séquence des essais pour la section 1

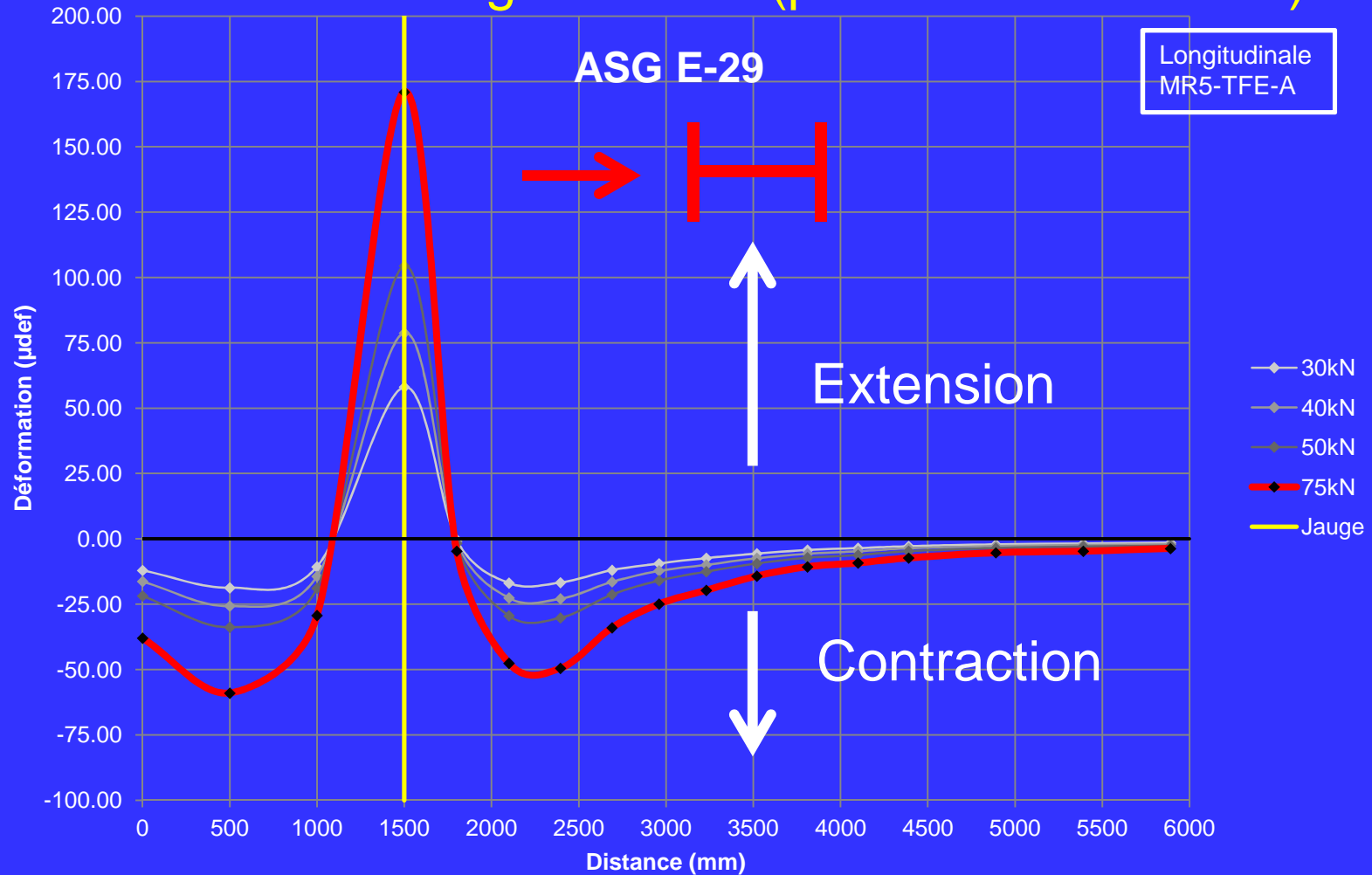




# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Essais de WFD

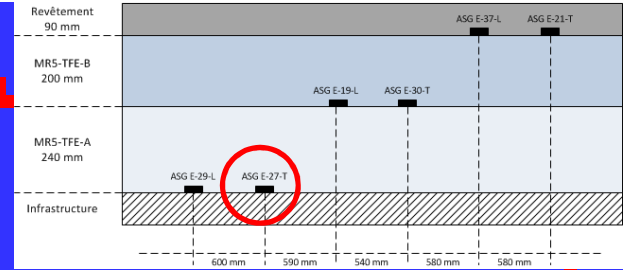


## Déformations longitudinales (parallèles aux roues)

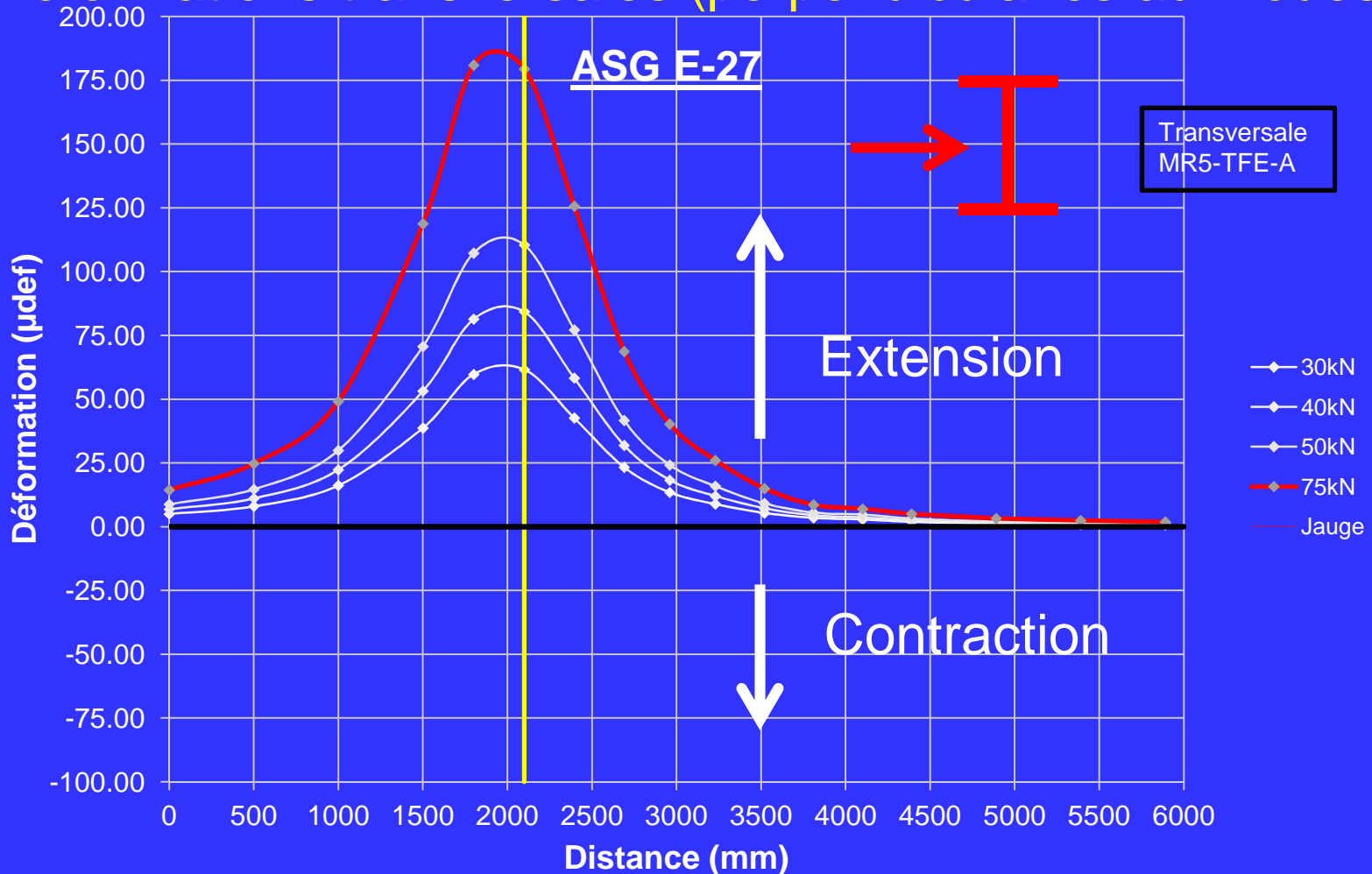


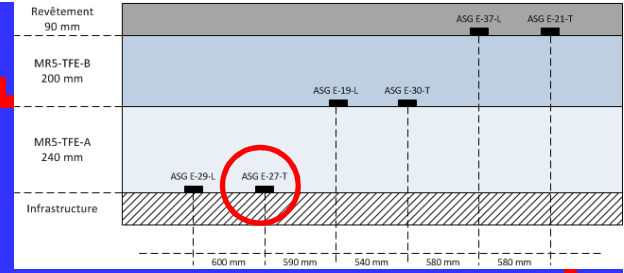


# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Essais de WFD



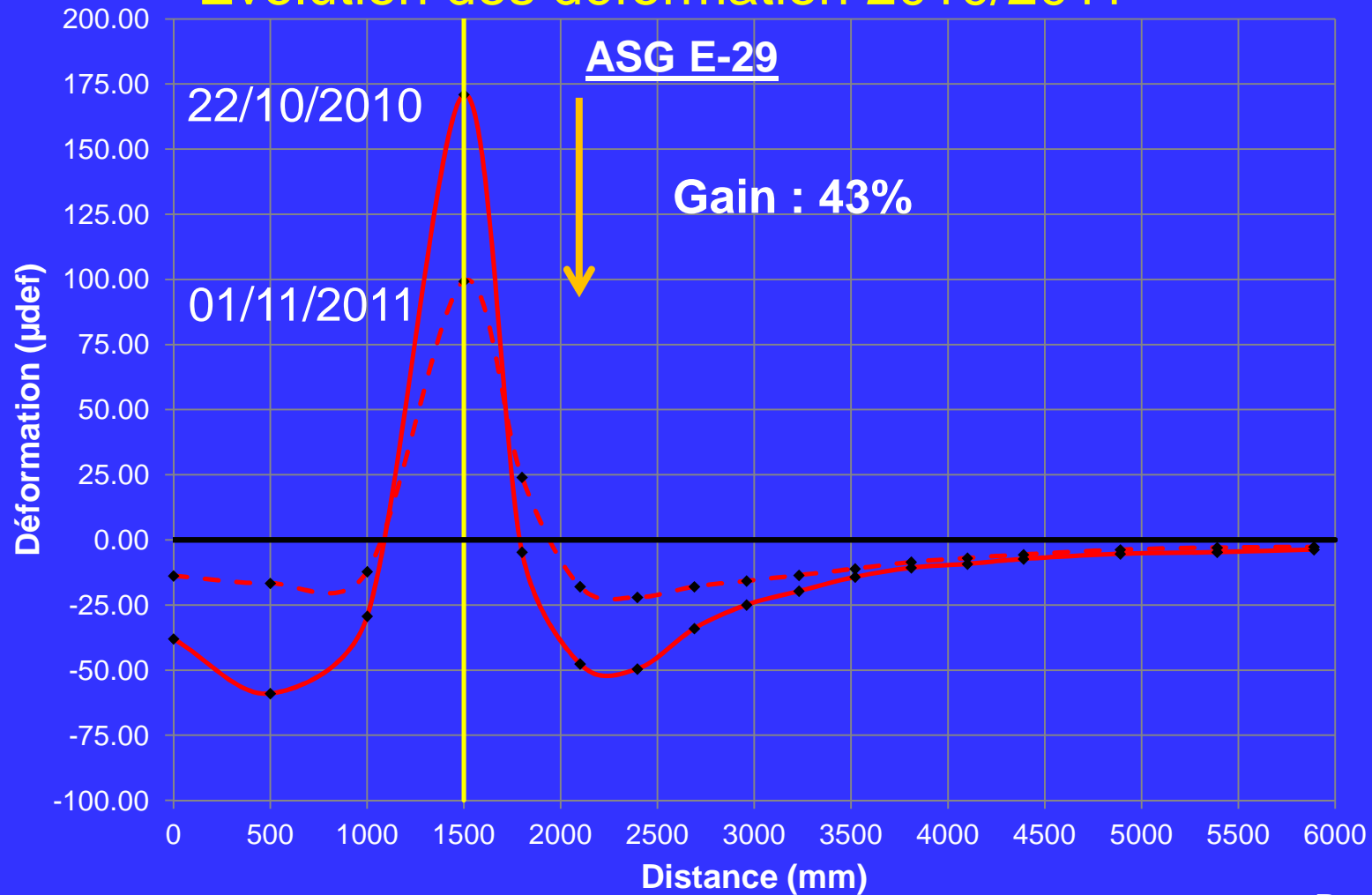
## Déformations transversales (perpendiculaires aux roues)





# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Essais de WFD

## Évolution des déformation 2010/2011





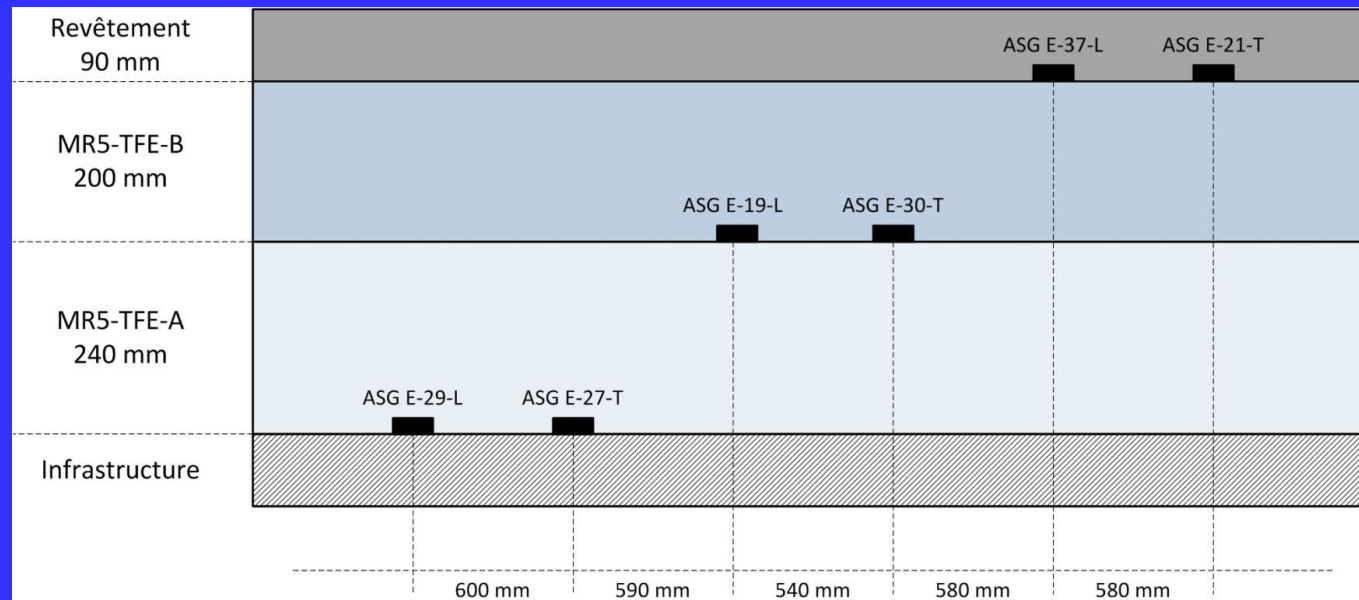
# L RDC – ÉTS :

## C Planche d'essais : Essais de WFD

M  
B

### Évolution des déformation 2010/2011 – Section 1

MR5-TFE-A		MR5-TFE-B		Revêtement	
ASG E-29-L	ASG E-27-T	ASG E-19-L	ASG E-30-T	ASG E-37-L	ASG E-21-T
Gain 43%	Gain 35 %	Gain 59%	Perte 42%	Gain 33%	Gain 53%





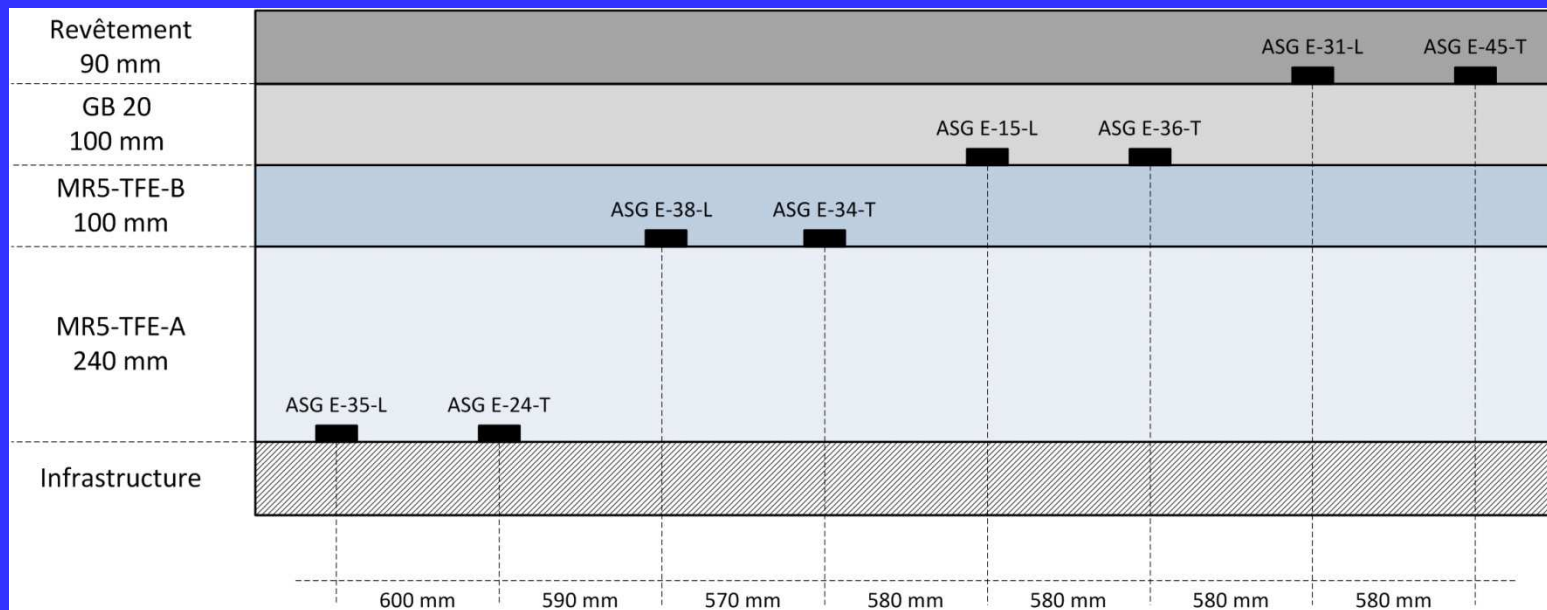
# L RDC – ÉTS :

## C Planche d'essais : Essais de WFD

M  
B

### Évolution des déformation 2010/2011 – Section 2

MR5-TFE-A		MR5-TFE-B		GB 20		Revêtement	
ASG E-35-L	ASG E-24-T	ASG E-38-L	ASG E-34-T	ASG E-15-L	ASG E-36-T	ASG E-31-L	ASG E-45-T
Gain 45%	Gain 24 %	Gain 52%	Gain 58%	Gain 29%	Gain 21%	Gain 24%	Perte 97%

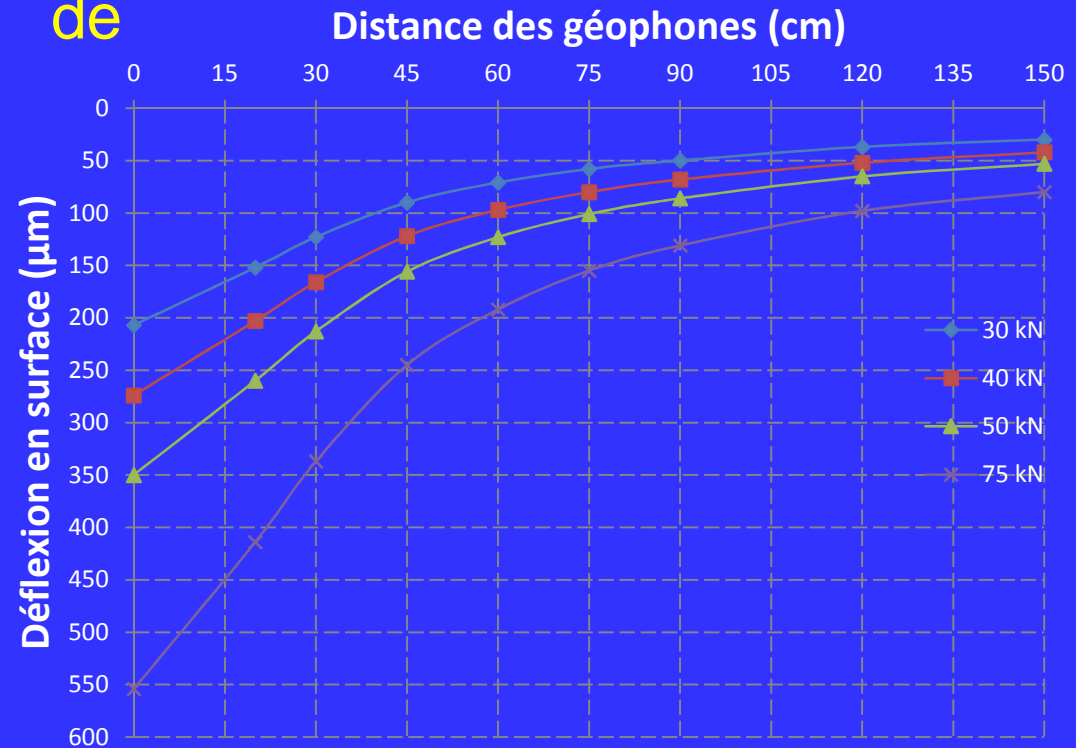


# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Essais de WFD

## M Rétro-calculs des modules

B ➤ Calcul des modules à partir des bassins de déflexion :

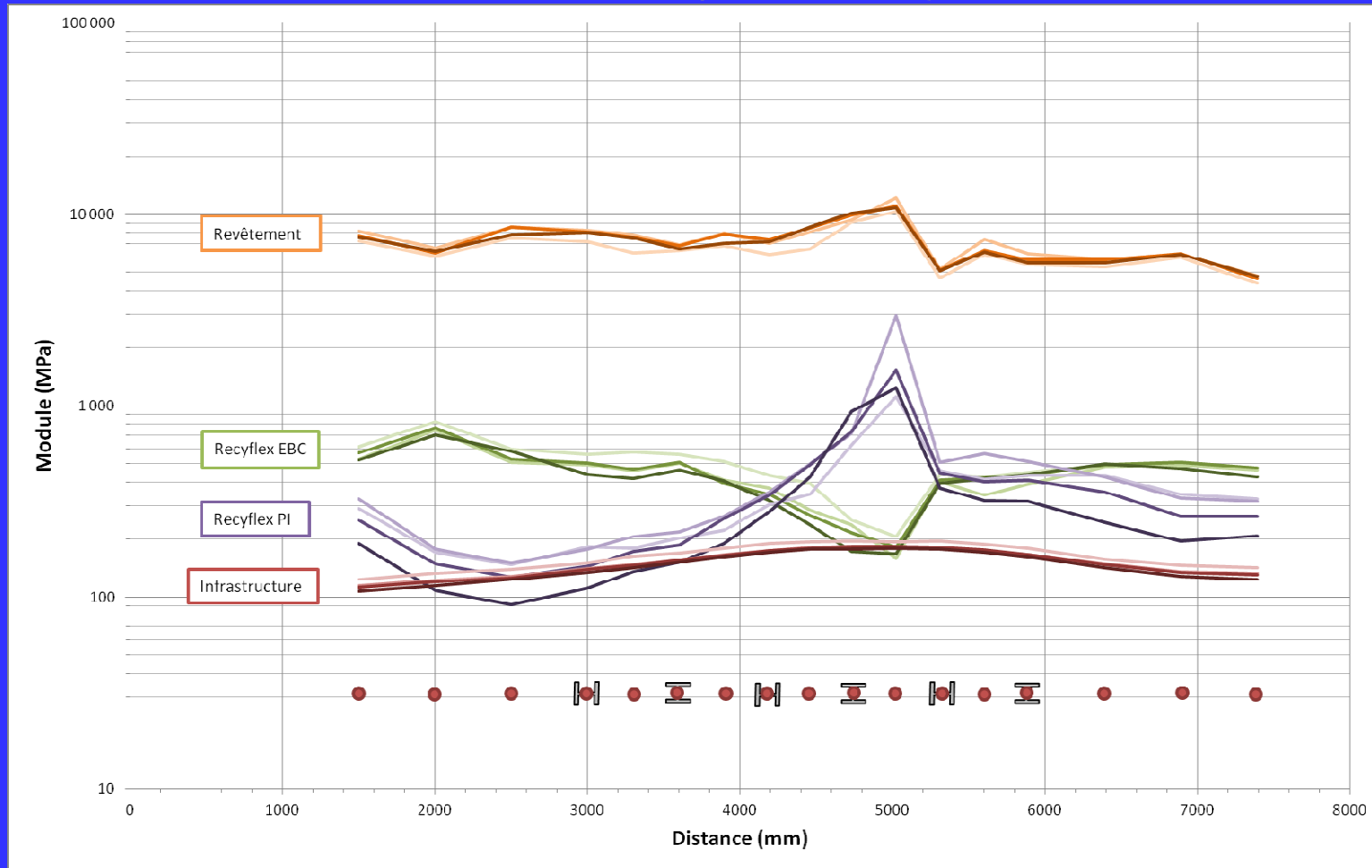
- EVERCALC ou MODCOMP  
*Comportement élastique*



Bassins de déflexion mesurés (point B8)



# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais : Essais de WFD M Modules (Evercalc) B



# L RDC – ÉTS : C Modélisation avec Alizé

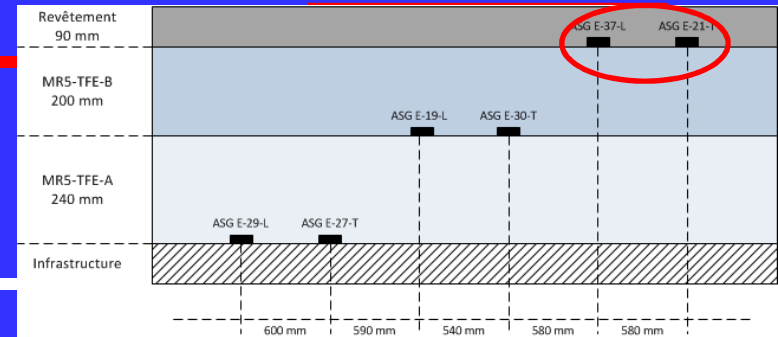
M

B

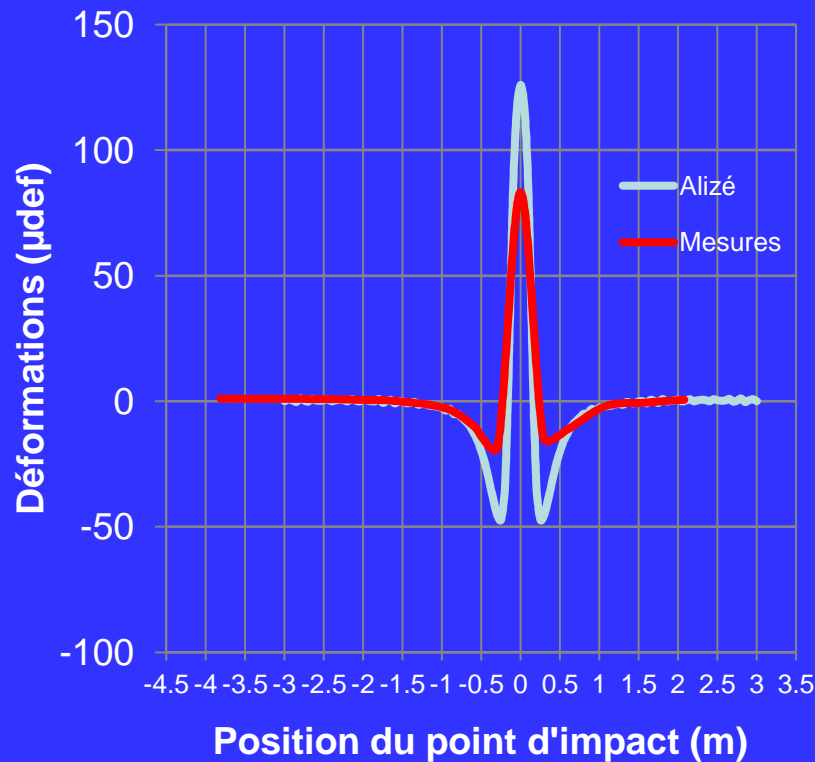
- Développé par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC – France).
- Prend en compte l'épaisseur des couches ( $e$ ), le module de chaque couche ( $E$ ), les coefficients de Poisson, la nature des interfaces (collé/non collé), la charge appliquée.
- Modélisation des déformations en différentes profondeurs de chaque couche.



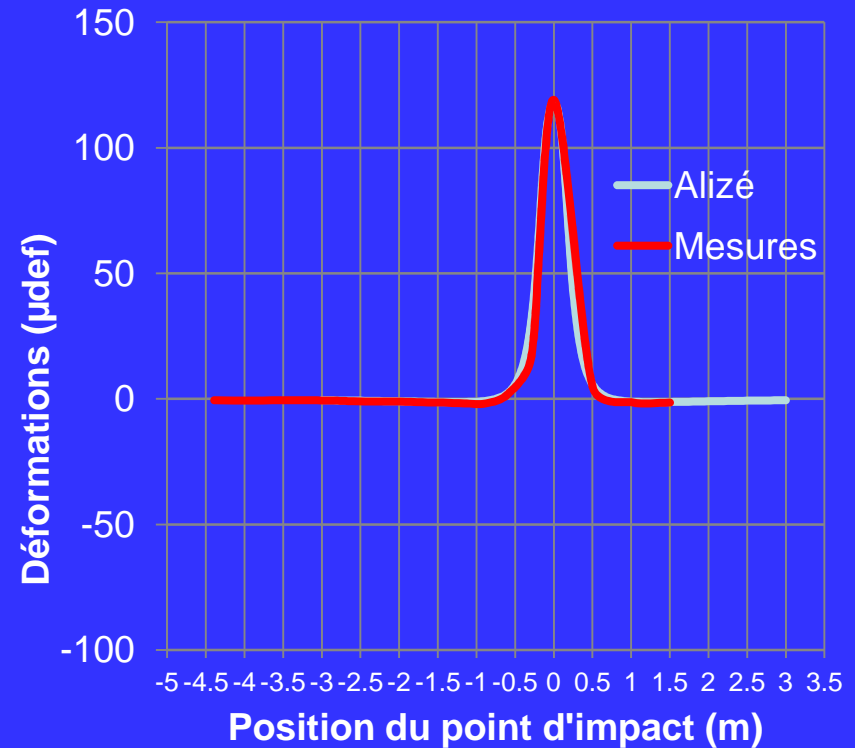
# L RDC – ÉTS : C Modélisation avec Alizé



## Déformations des jauges



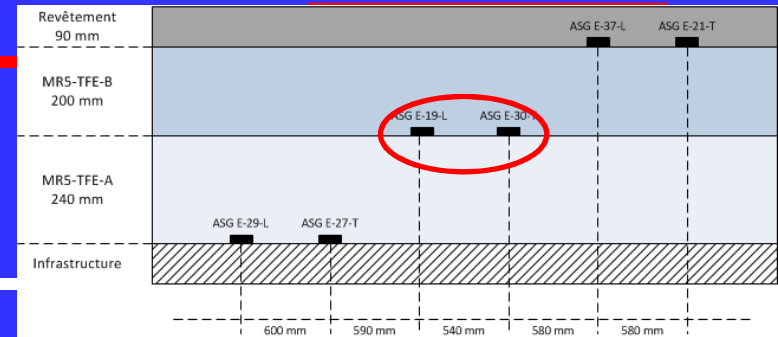
**ASG E-37-L**



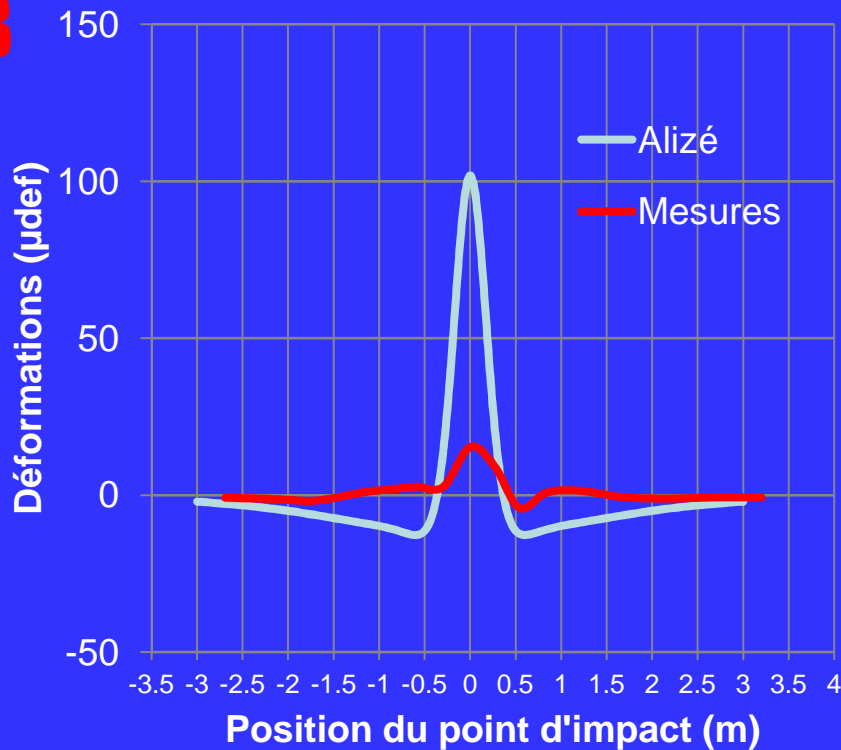
**ASG E-21-T**



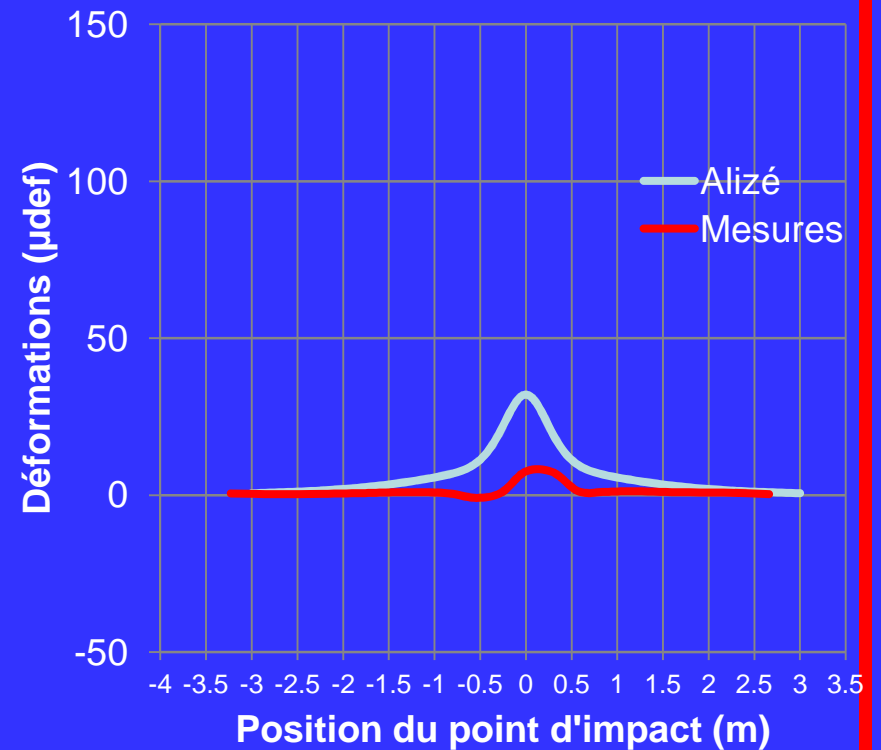
# L RDC – ÉTS : C Modélisation avec Alizé



## Déformations des jauges



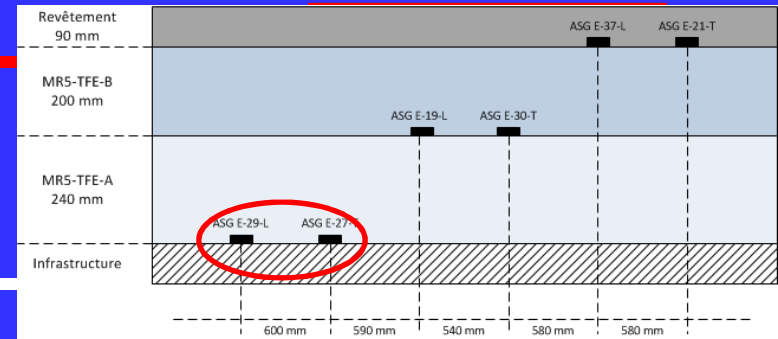
**ASG E-19-L**



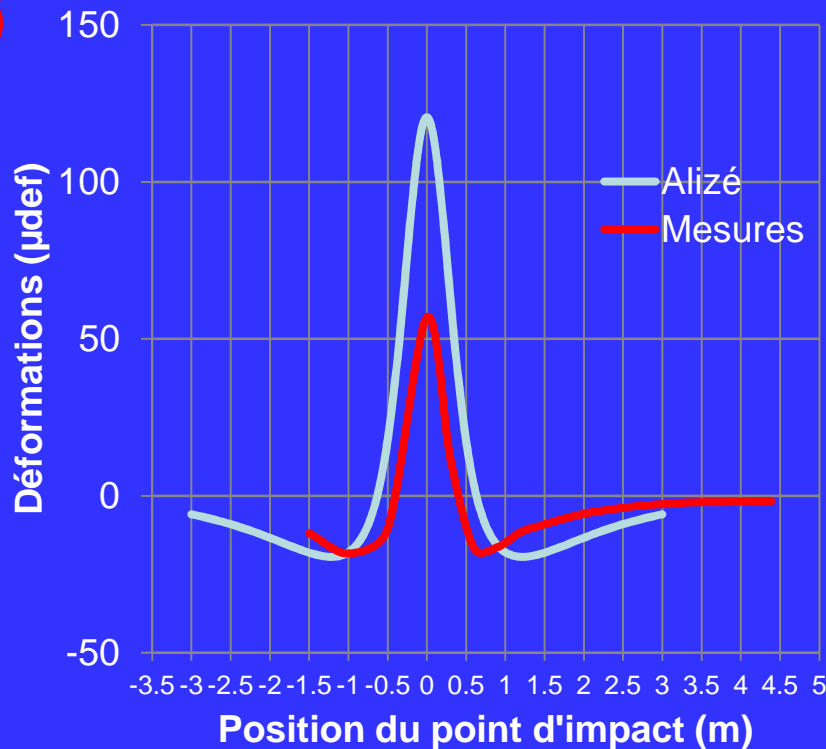
**ASG E-30-T**



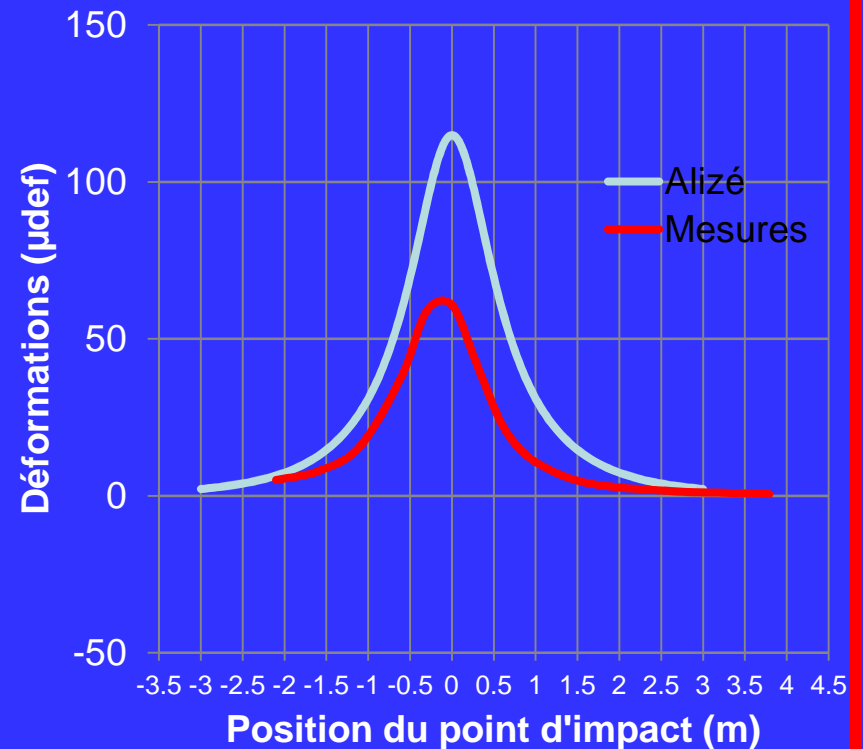
# L RDC – ÉTS : C Modélisation avec Alizé



## Déformations des jauges



**ASG E-29-L**



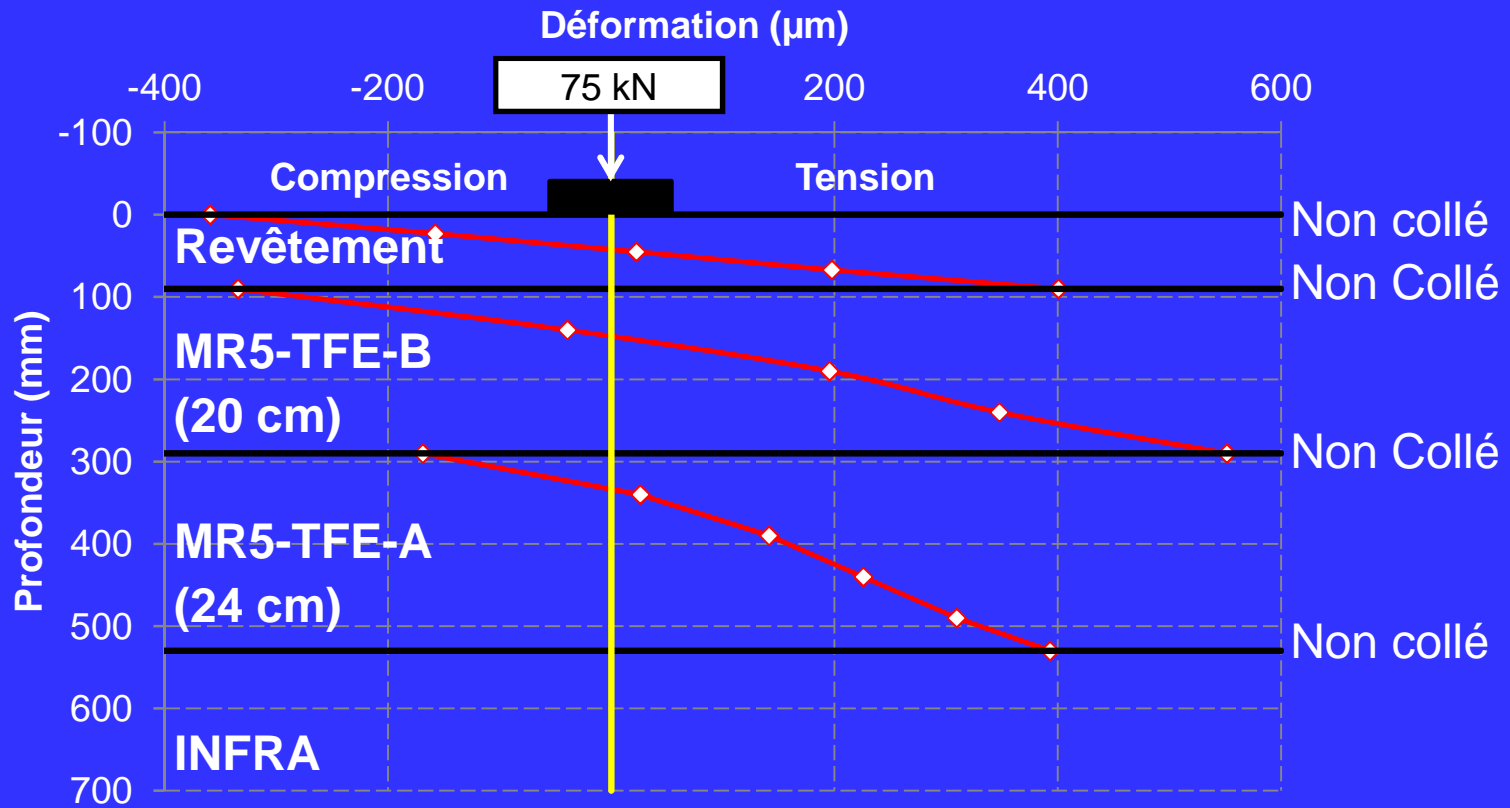
**ASG E-27-T**



# L RDC – ÉTS : C Modélisation avec Alizé

M  
B

## Profil de déformation

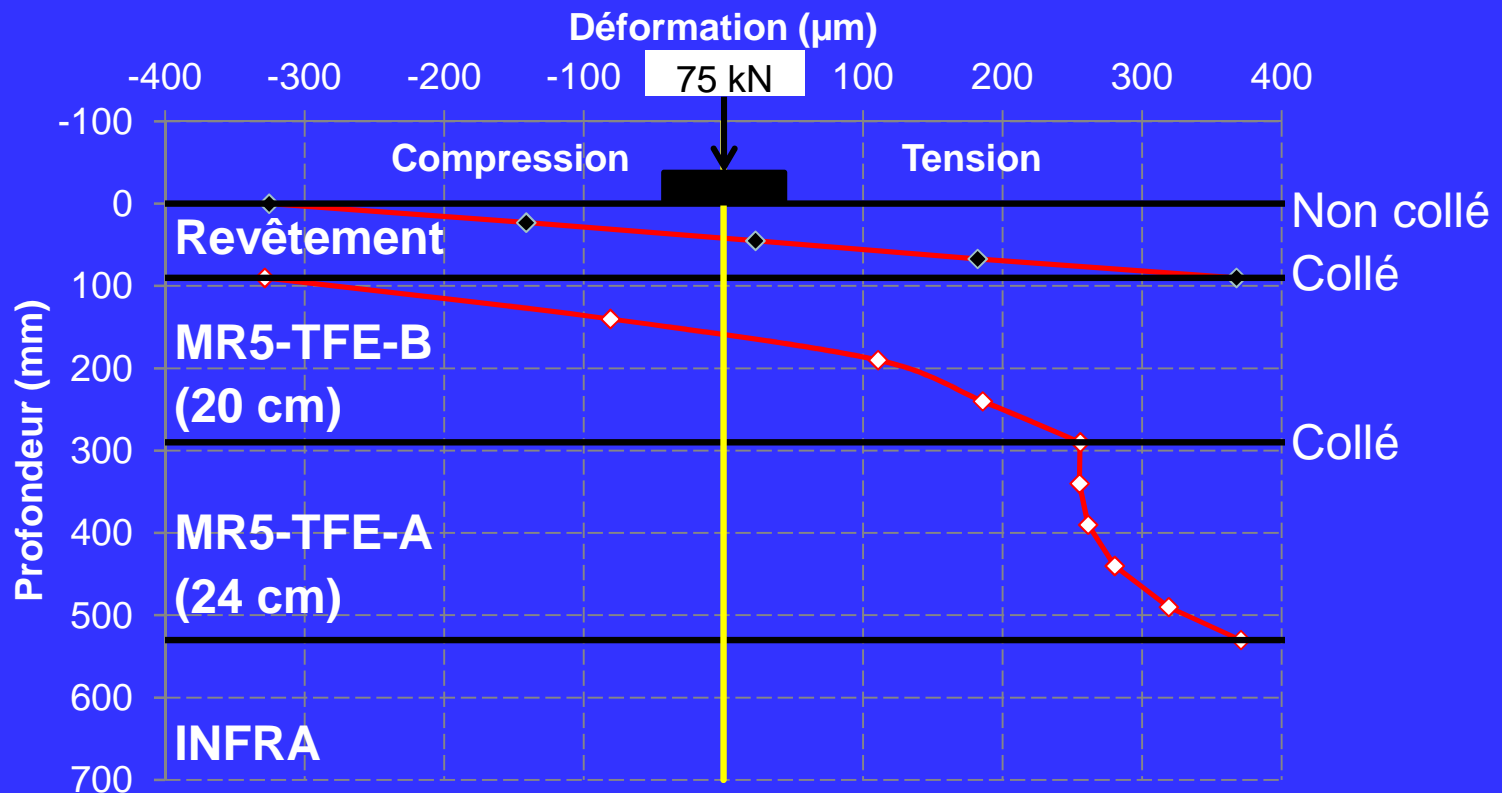




# L RDC – ÉTS : C Modélisation avec Alizé

M  
B

## Profil de déformation





# L RDC – ÉTS : C Planche d'essais- Synthèse

M  
B

- Les résultats sont très bons
- Beaucoup de travail à faire juste pour le traitement des données
- 2012
  - Réalisation d'une dernière planche d'essais à l'été ...axe autoroutier?
  - Rapport final



**L**  
**C**  
**M**  
**B**

**MERCI  
DE VOTRE ATTENTION**

# L Définitions

## C Propriétés thermomécaniques des enrobés

M ■ Les matériaux bitumineux présentent une  
B susceptibilité thermique...thermo- sensibles

■ Si la température change (...thermo)

⇒ les propriétés du matériaux  
changent (...mécanique)

■ À haute température

⇒ l'enrobé est plus déformable  
la raideur (...le module) ↓

# L Définitions

## C Propriétés thermomécaniques des enrobés

- M
- B
- Les matériaux bitumineux présentent une susceptibilité cinétique
  - Si la vitesse de sollicitation change (...cinétique)
    - ⇒ les propriétés du matériaux changent (...mécanique)

...vitesse de sollicitation = vitesse du trafic !  
(urbain vs autoroute)
  - À basse fréquence (autoroute ~10 Hz)
    - ⇒ l'enrobé est plus déformable  
la raideur (...le module) ↓

# L Définitions

## C Propriétés thermomécaniques des enrobés

- M**
- B**
- Le problème pour le dimensionnement d'une structure d'une chaussée bitumineuse c'est que la raideur (...le module) des matériaux bitumineux change constamment:
    - Avec les cycles de température...l'année durant
    - Avec la vitesse du trafic ...à toutes heures du jour

# L Définitions

## C Propriétés thermomécaniques des enrobés

M • Dans le domaine des chaussées bitumineuses, on associe:

- B
- La raideur de l'enrobé  
⇒ à la notion de Module complexe ( $E^*$ )  
...sert à définir l'état de  $\sigma - \varepsilon$  dans la structure

# **L** Dimensionnement

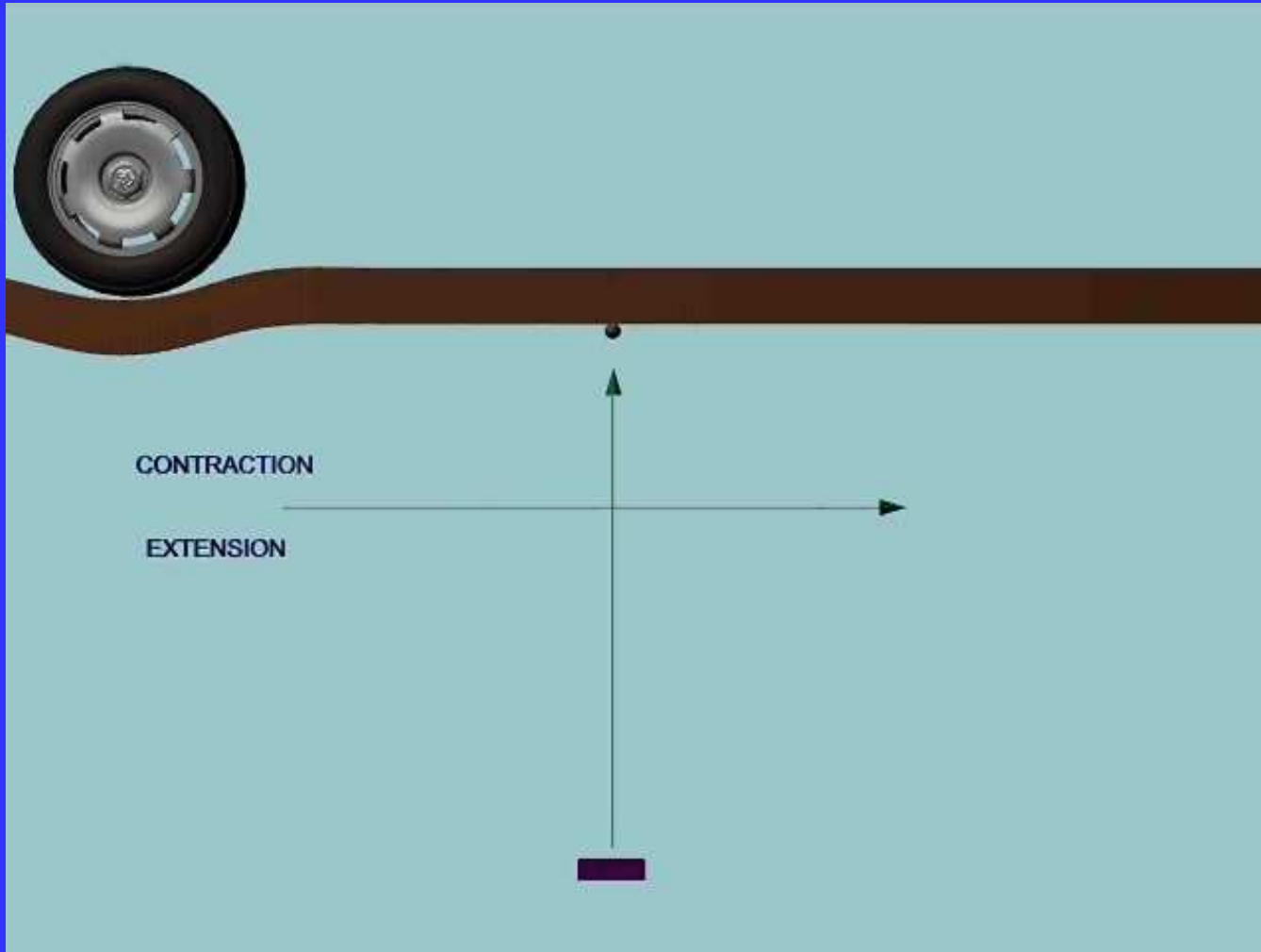
## **C** Approche mécaniste

- M** • Une approche mécaniste,  
**B** c'est prendre en compte l'évolution des efforts dans les différentes couches de la chaussée pour définir leurs épaisseurs
- Pour ça il faut connaître les "tensions" (...les déformations) que subissent les matériaux sous l'action des poids lourds



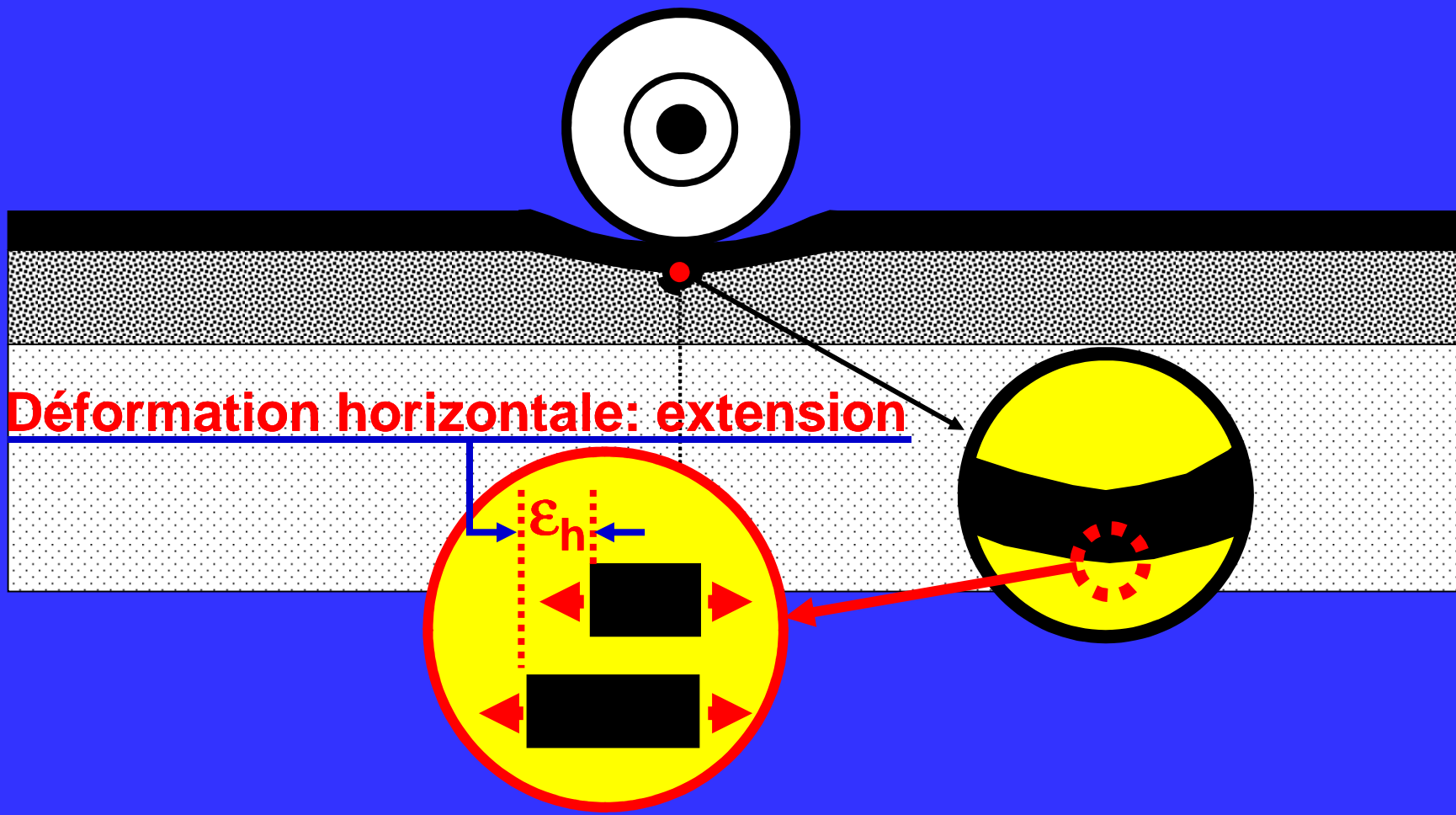
# L Action du passage d'une roue C ...dans les couches traitées

M  
B



# L C M B

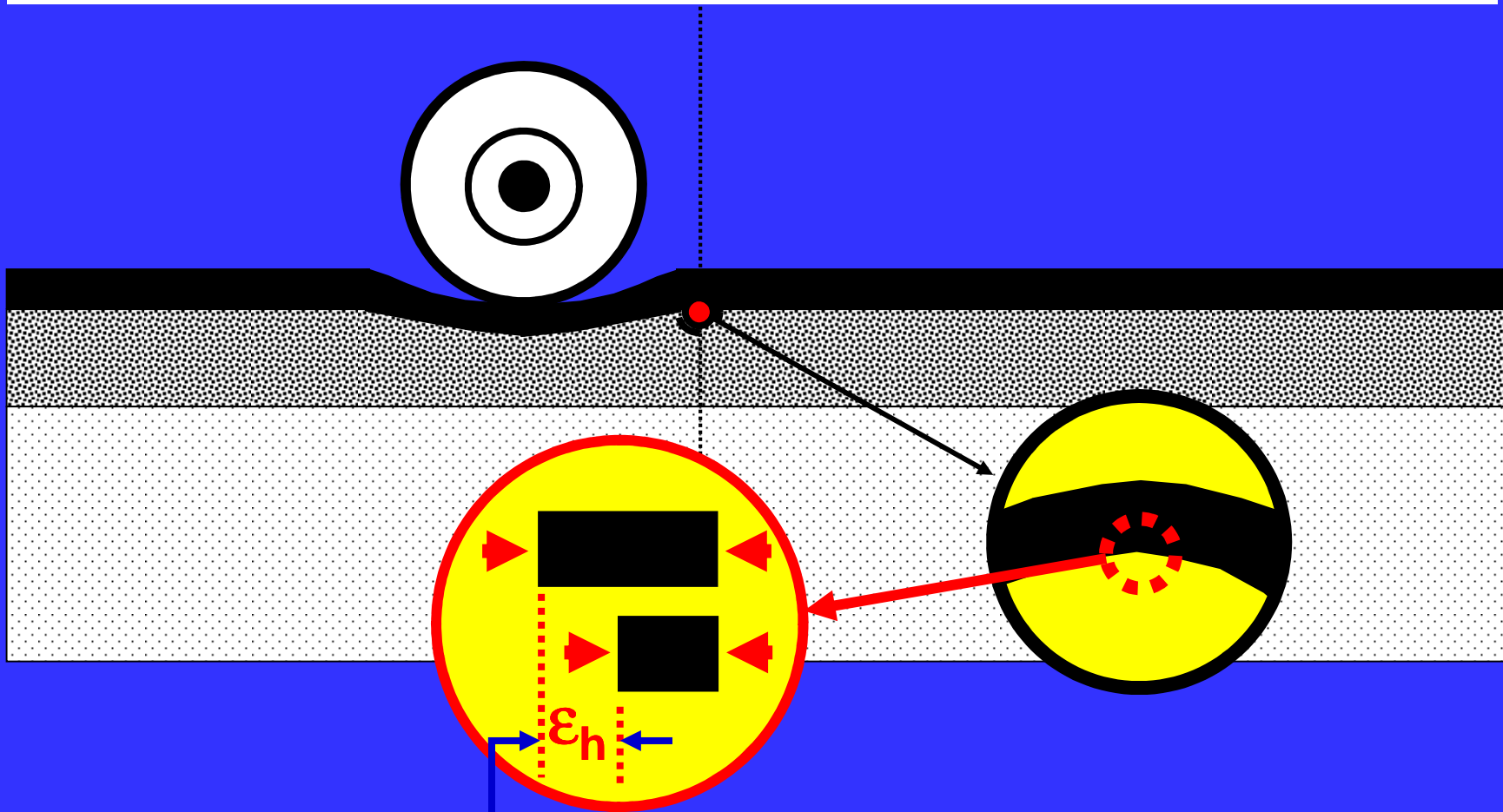
## Action du passage d'une roue ...dans les couches traitées





# L C M B

## Action du passage d'une roue ...dans les couches traitées

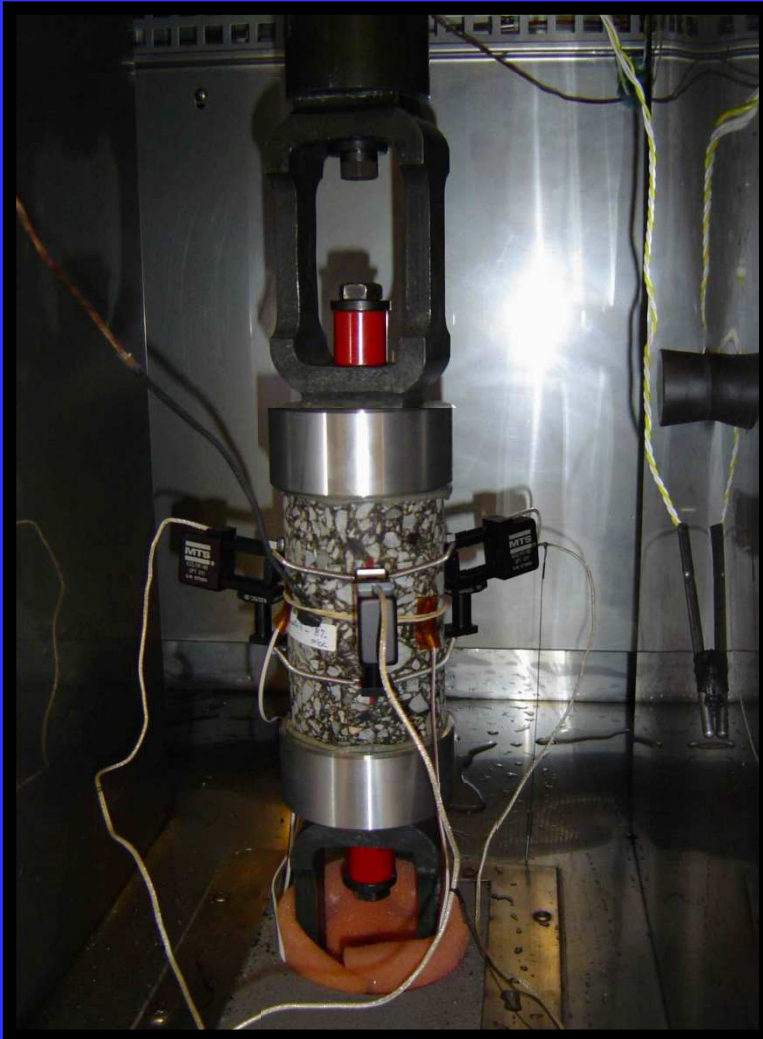


Déformation horizontale...compression

# L Rhéologie en petites déformations

## C Module et Fatigue

M  
B



### *Mesure de $E^*$*

#### *Essai NON - Destructif*

Températures :  $-30^{\circ}\text{C}$  à  $30^{\circ}\text{C}$

Fréquences : 0,01 à 20 Hz

### *Résistance à la Fatigue*

#### *Essai Destructif*

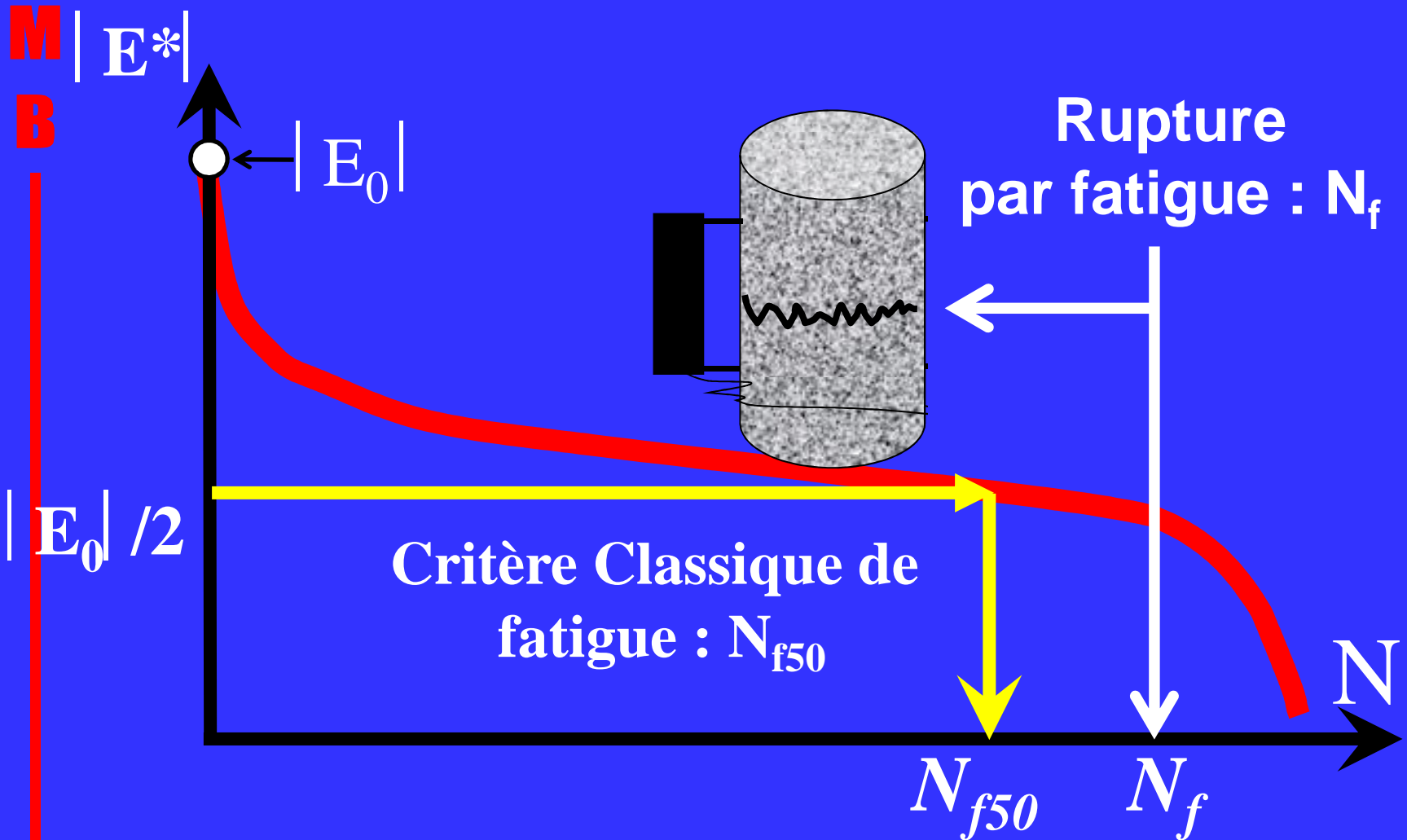
Température :  $10^{\circ}\text{C}$

Fréquence : 10 Hz



# L Rhéologie en petites déformations

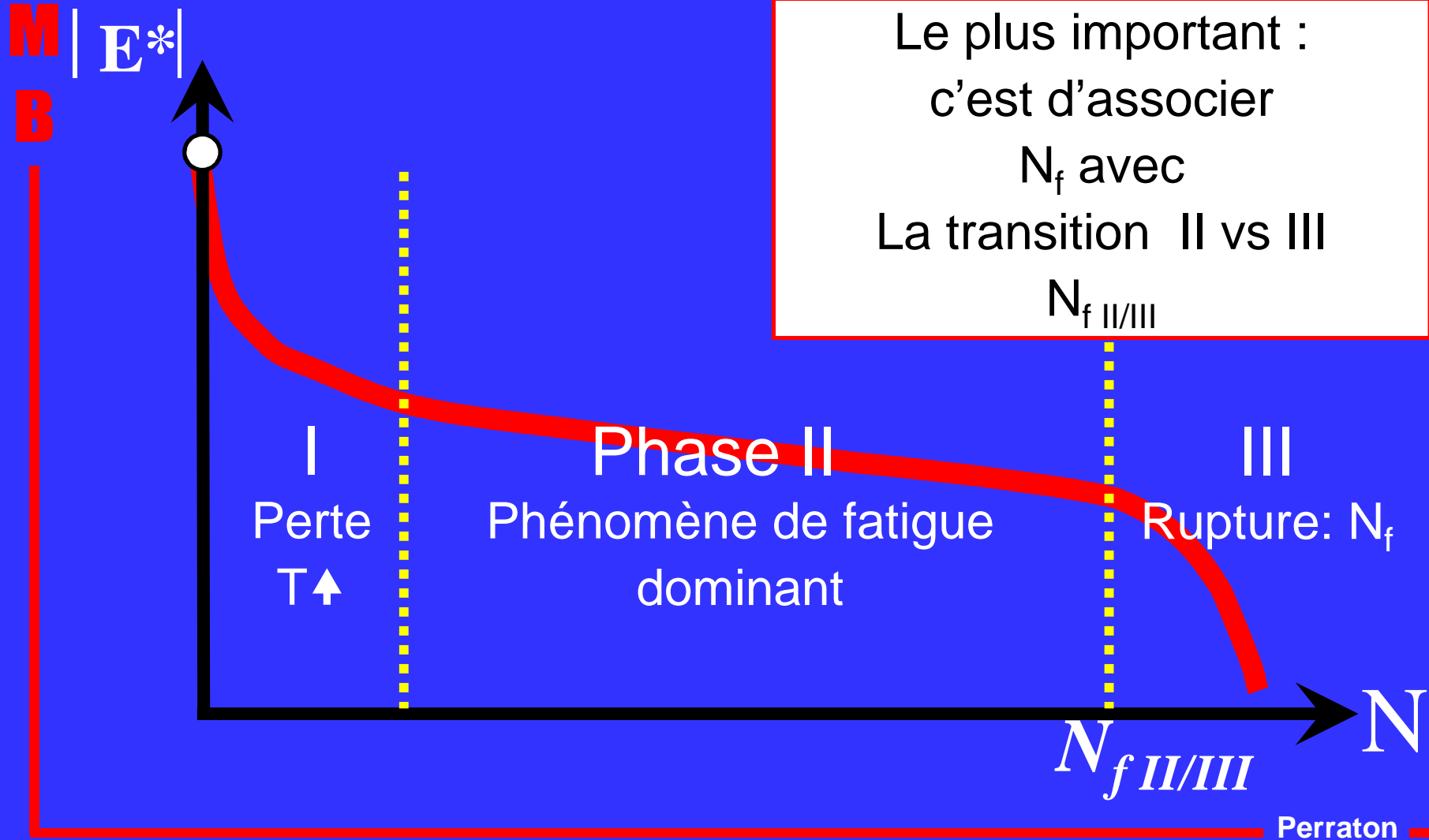
## C Fatigue





# L Rhéologie en petites déformations

## C Fatigue



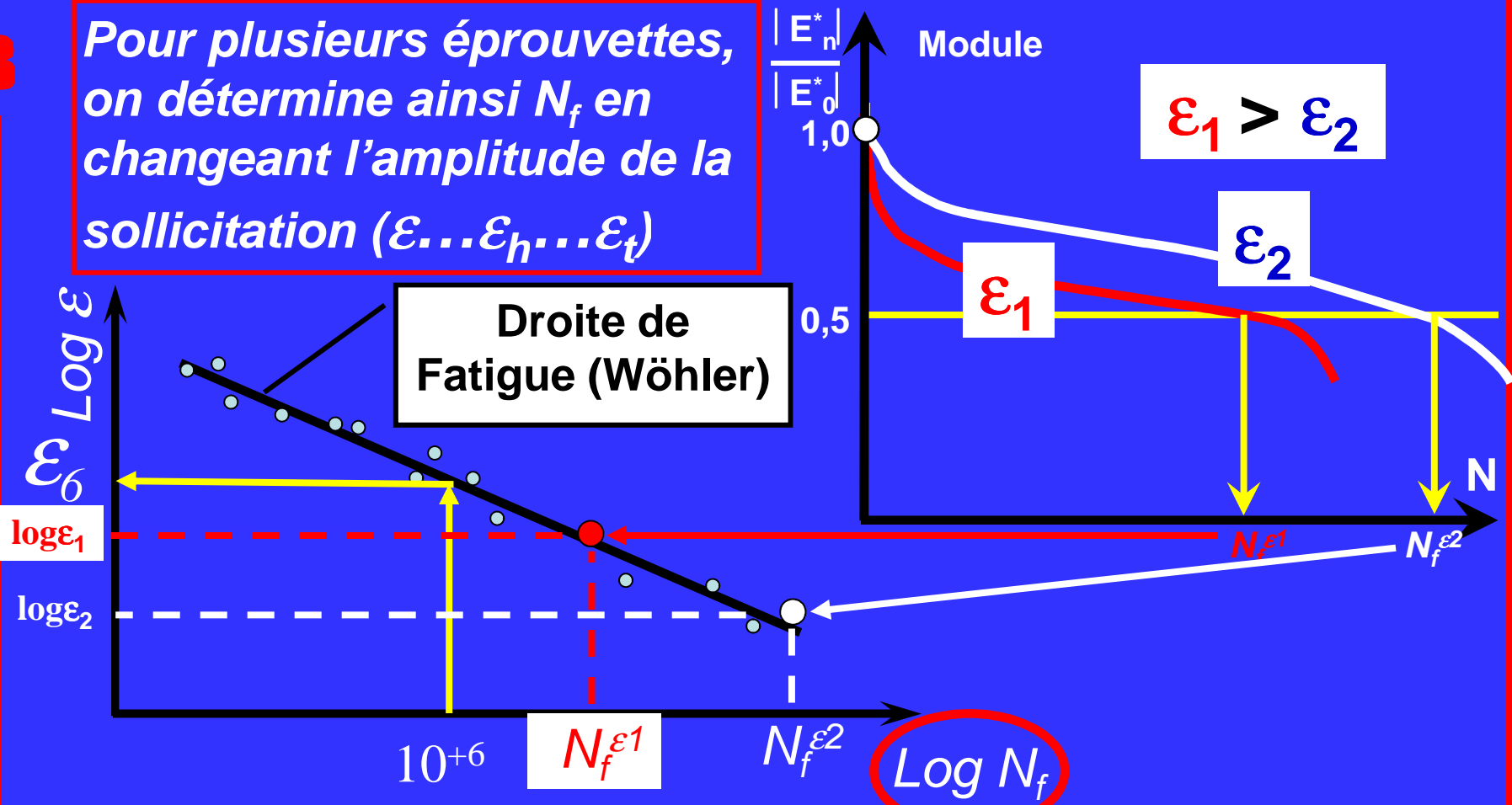


# Rhéologie en petites déformations

## Fatigue

L  
C  
M  
B

*Pour plusieurs éprouvettes, on détermine ainsi  $N_f$  en changeant l'amplitude de la sollicitation ( $\epsilon \dots \epsilon_h \dots \epsilon_t$ )*

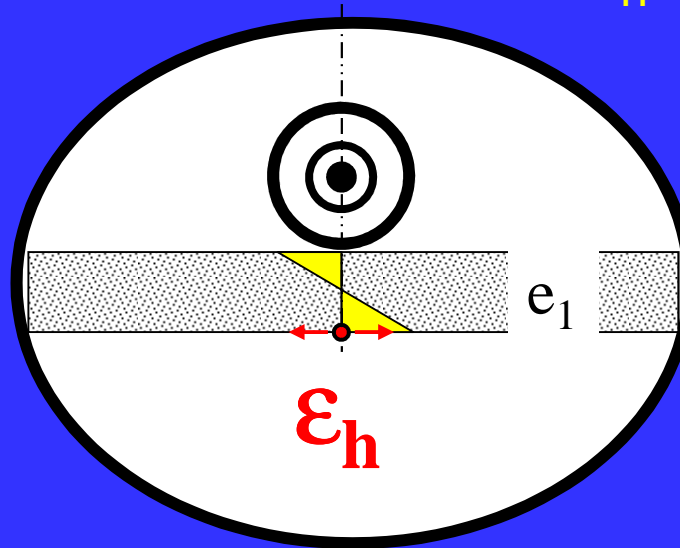




# L Rhéologie en petites déformations

## C Fatigue

- M • La loi de fatigue permet de décrire la durée de  
B vie du matériau suivant l'amplitude de sollicitation, suivant la valeur d' $\epsilon_h$



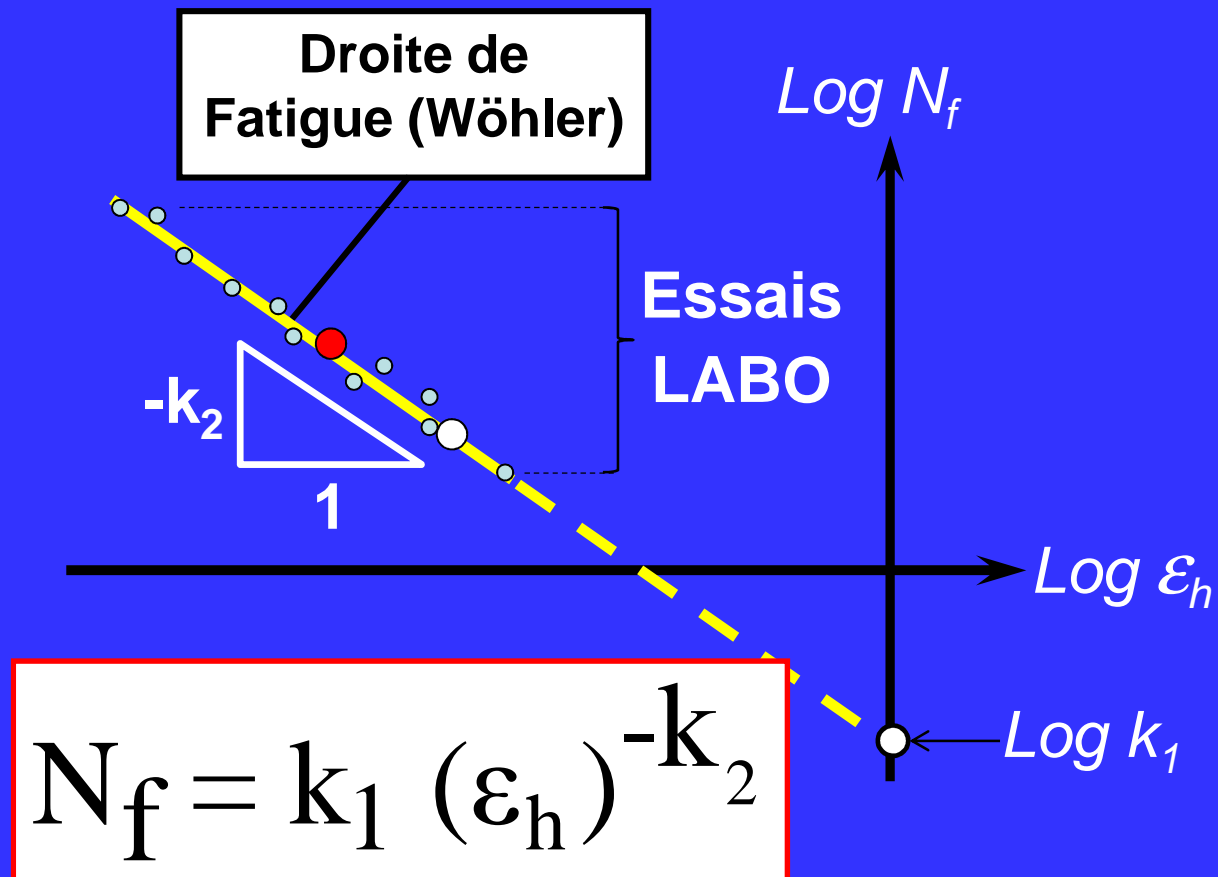


# L Rhéologie en petites déformations

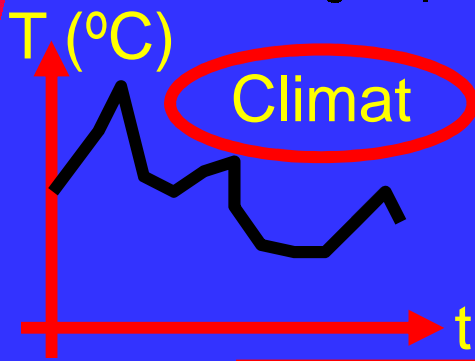
## C Fatigue

M

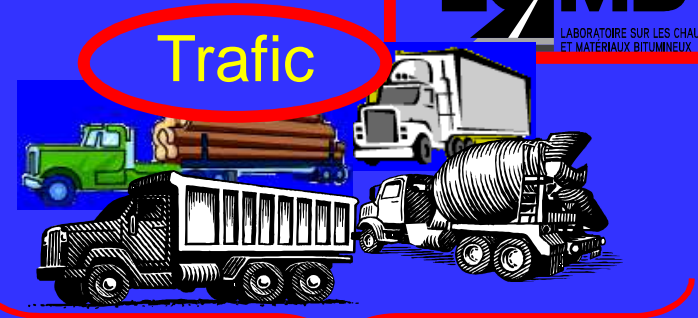
B



**L  
C  
M**



On considère  
La vitesse



**B**

On transpose l'effet du Climat...  
On transpose les charges

**La MÉCANIQUE simplifiée**

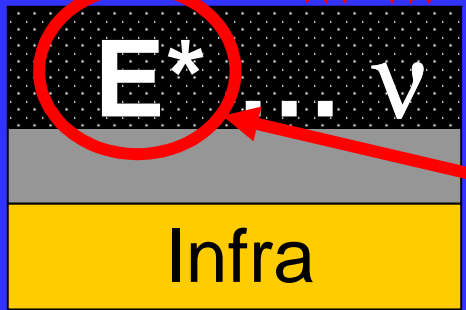
...d'une chaussée souple



Analyse - Structure!

On détermine les caractéristiques des matériaux

Apprécie  
Multi-axe  
.. Bénéfite  
 $\epsilon_{t,cal}$



On détermine les caractéristiques des matériaux

