

18 novembre 2020



Effet des caractéristiques des pneus sur le comportement mécanique et l'endommagement des chaussées

Damien Grellet

Symposium international i3C

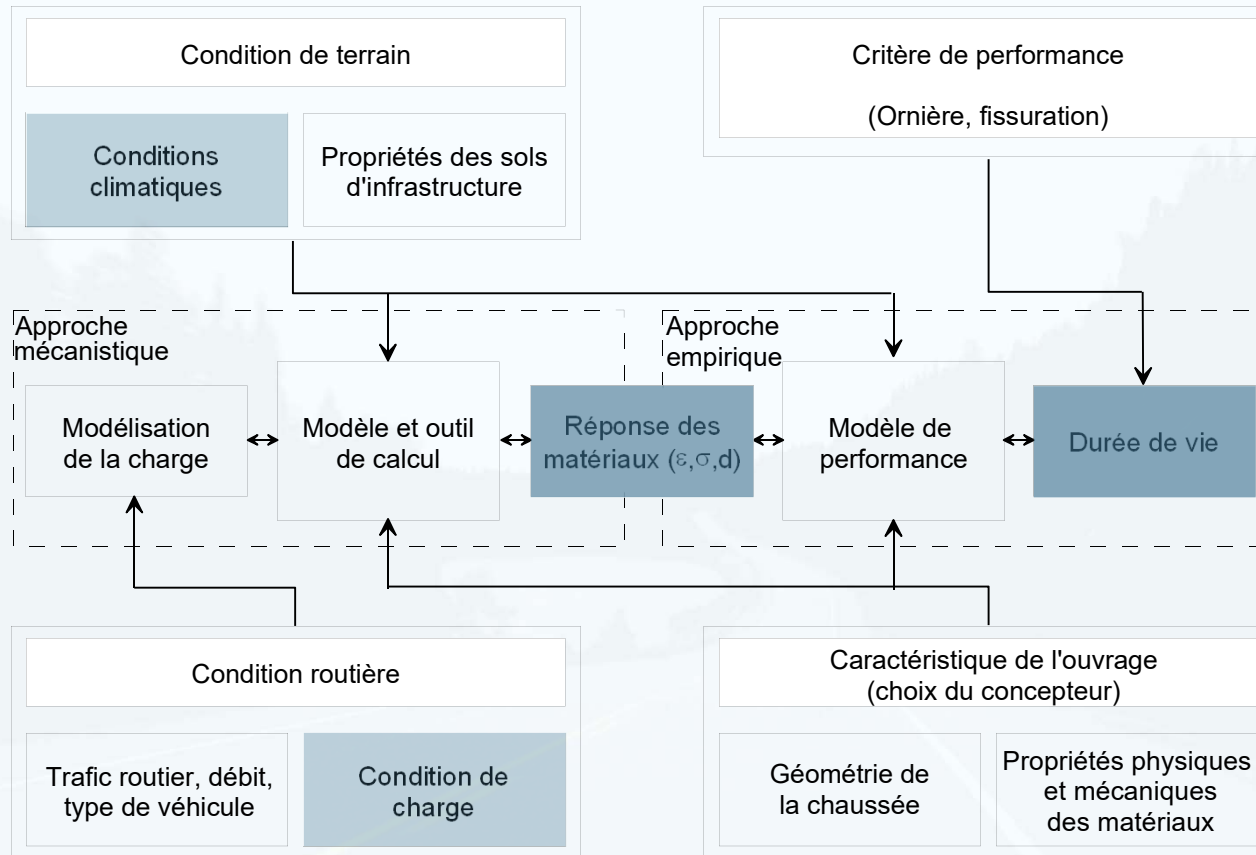


Mise en contexte

- La route : Ouvrage d'envergure nécessaire au développement social et économique
- Agression variable, complexe et simultanée de plusieurs agents externes (climat, charges lourdes)
- Dégradation inévitable mais progressive

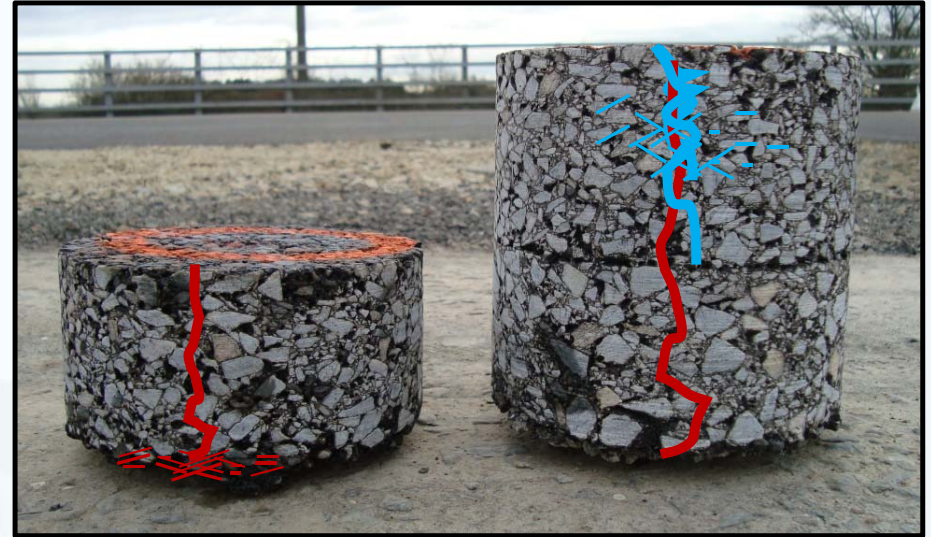
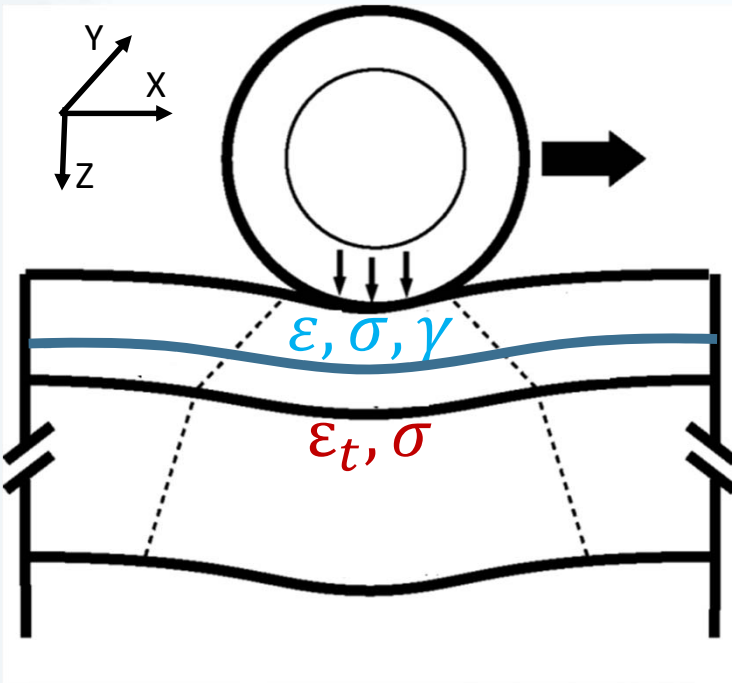


Approche mécanistique-empirique de dimensionnement des chaussées



La fissuration induite par les véhicules lourds

- Fissuration par fatigue des matériaux



- La fissure s'initie au bas du revêtement bitumineux
- La fissure s'initie dans les premiers centimètres sous le pneu.

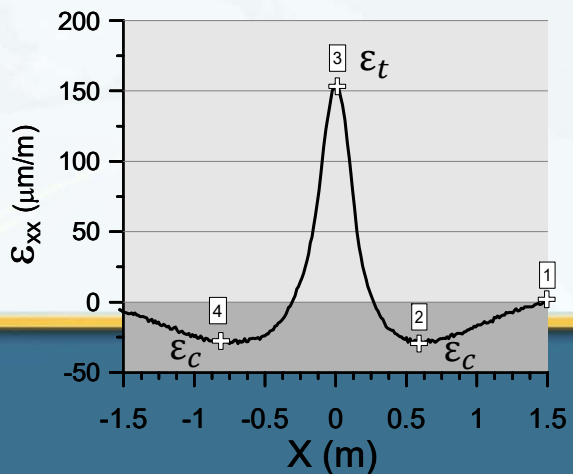
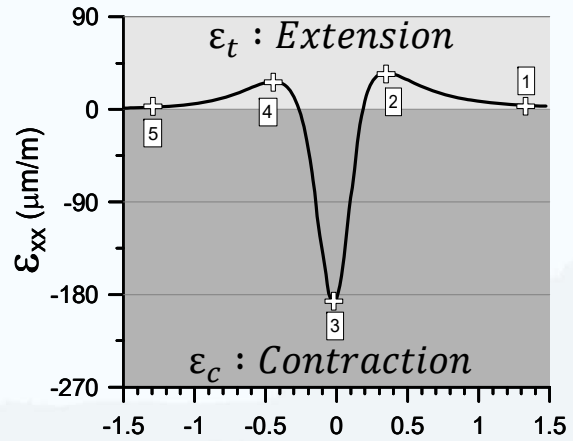
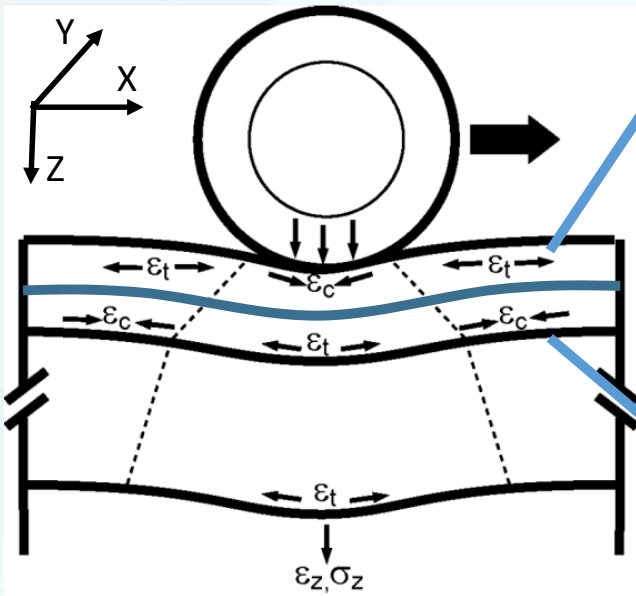


État des connaissances

Réponse des matériaux (ϵ, σ, d)

Approche mécanistique

Approche empirique



Paramètres de l'étude

- Groupe d'essieux : Tridem et simple
- Type de pneu : Pneu jumelé et pneu à bandes larges

Condition routière	
Trafic, débit, type de véhicule	Condition de charge



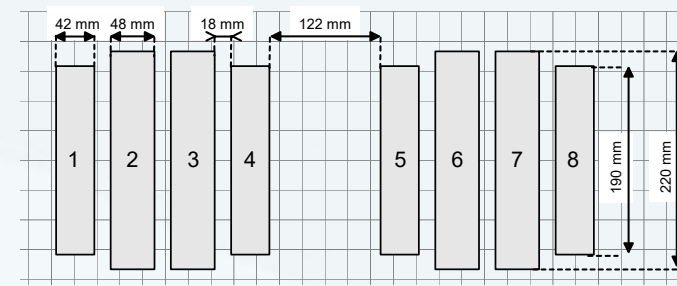
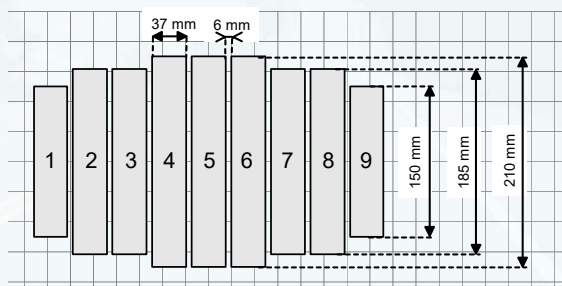
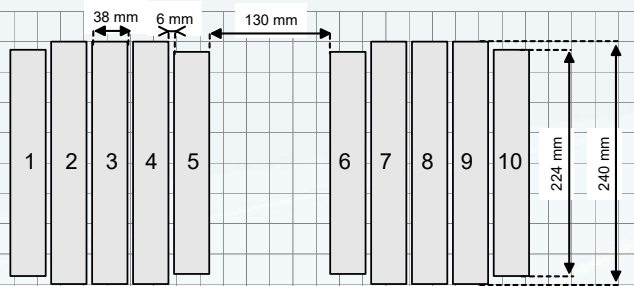
Michelin XTE 11R22.5



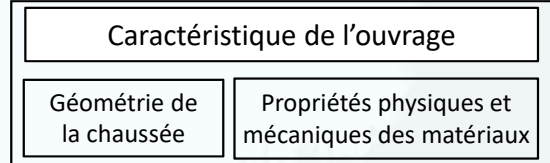
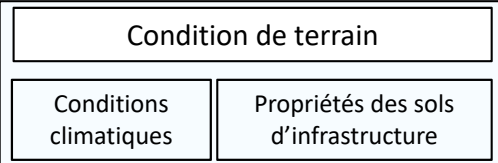
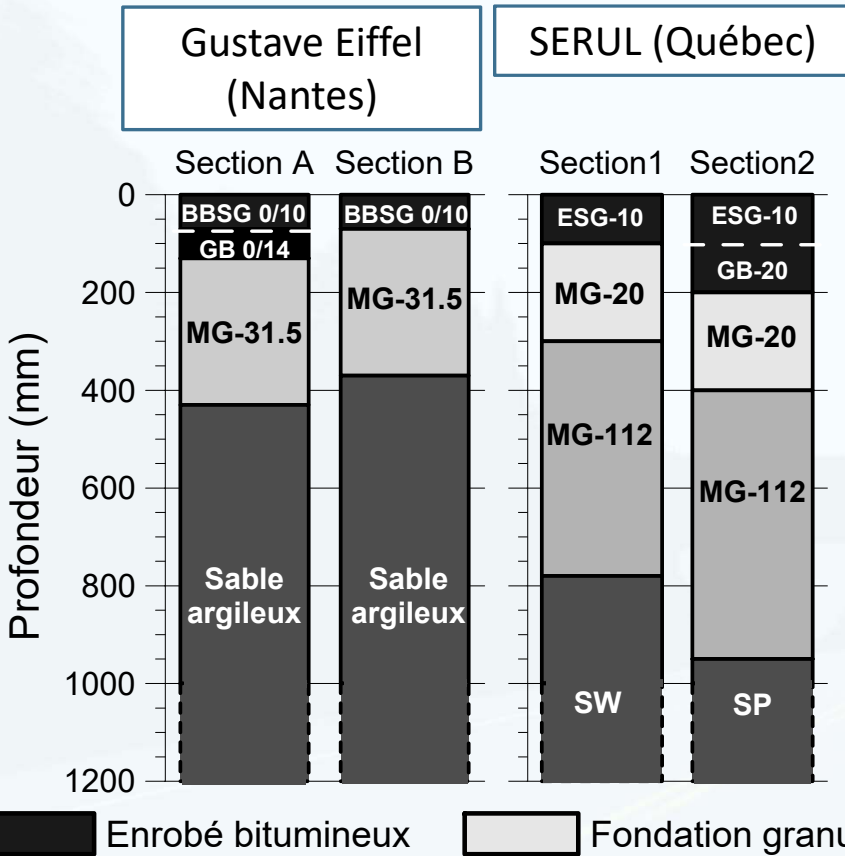
Michelin Xone XTE 455/55R22.5



Michelin XZY-2 12.00R20



Paramètres de l'étude

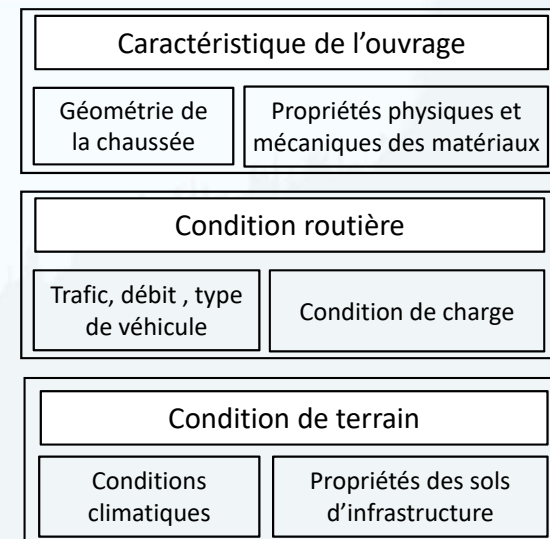


Matrice expérimentale

Gustave Eiffel			Structure de 70 mm				Structure de 130 mm			
			Pneu jumelé		Pneu large		Pneu jumelé		Pneu large	
4 t	7 bar	32 Km/h	■	■	■	■	■	■	■	■
		42 Km/h	■	■	■	■	■	■	■	■
	8,5 bar	32 Km/h	■	■	■	■	■	■	■	■
		42 Km/h	■	■	■	■	■	■	■	■
5 t	8,5 bar	32 Km/h	■	■	■	■	■	■	■	■
		42 Km/h	■	■	■	■	■	■	■	■
		56 Km/h	■	■	■	■	■	■	■	■
5.8 t	8,5 bar	42 Km/h	■	■	■	■	■	■	■	■
6.5 t	8,5 bar	42 Km/h	■	■	■	■	■	■	■	■

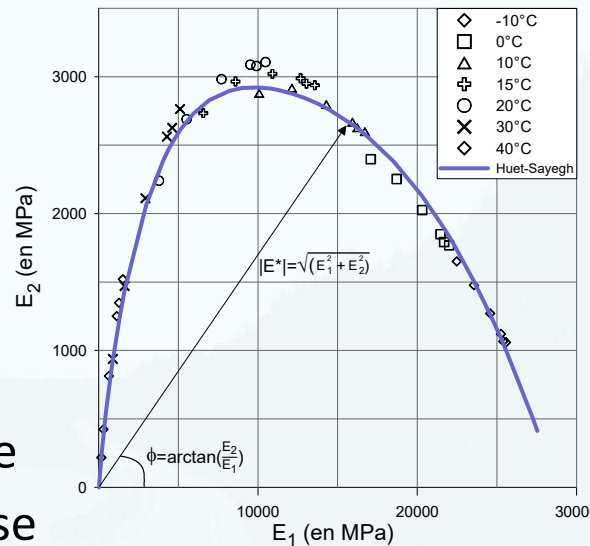
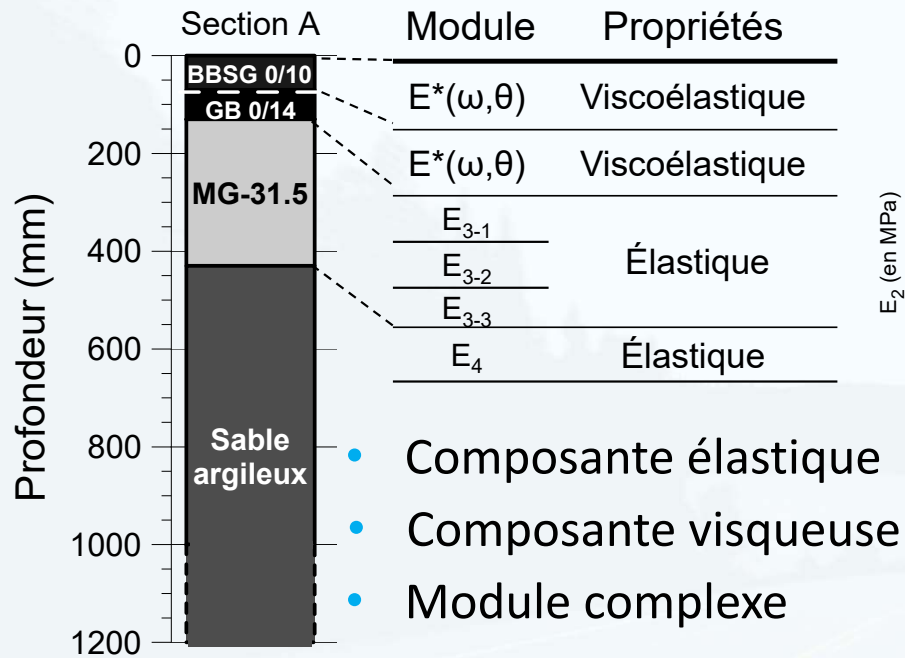
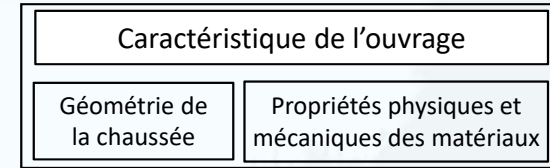
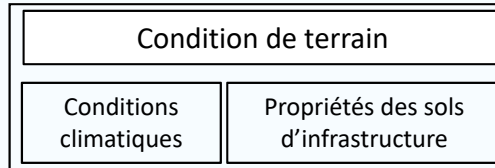
SERUL			Structure de 100 mm				Structure de 200 mm			
			Pneu jumelé		Pneu large		Pneu jumelé		Pneu large	
4 t	8,5 bar	30 Km/h	■	■	■	■	■	■	■	■
	7 bar		■	■	■	■	■	■	■	■
	7/5,5 bar		■	■	■	■	■	■	■	■
	5,5 bar		■	■	■	■	■	■	■	■

10°C
 20°C
 26°C-30°C
 35°C-40°C

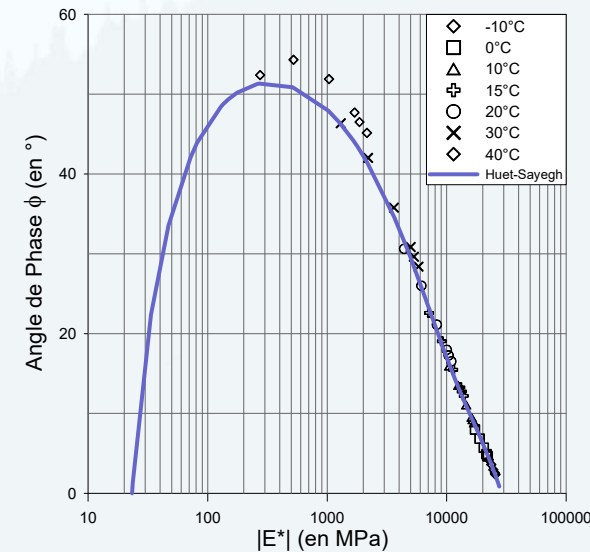


58 cas analysés

Hypothèses de modélisation



(a) Module complexe dans le plan de Cole et Cole



(b) Module complexe dans l'espace de Black

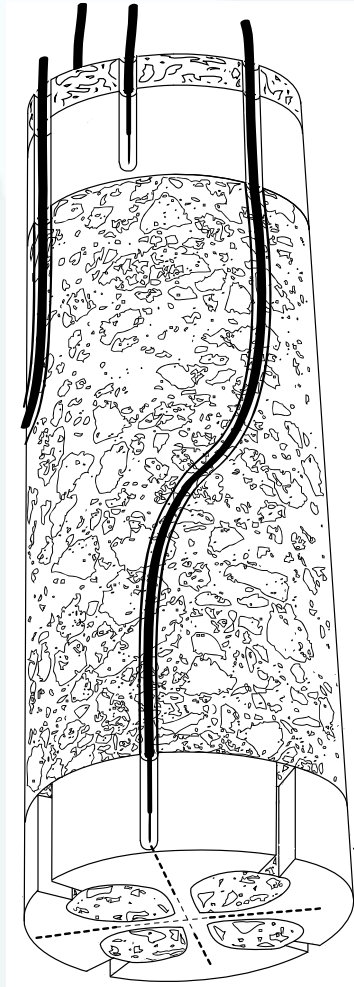
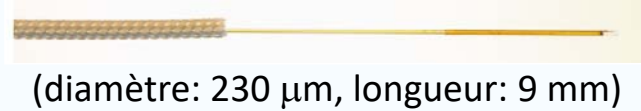
- Fonction de la température et de la fréquence

- Intégré au logiciel ViscoRoute© 2.0 : approche mécanistique

Capteurs de déformation

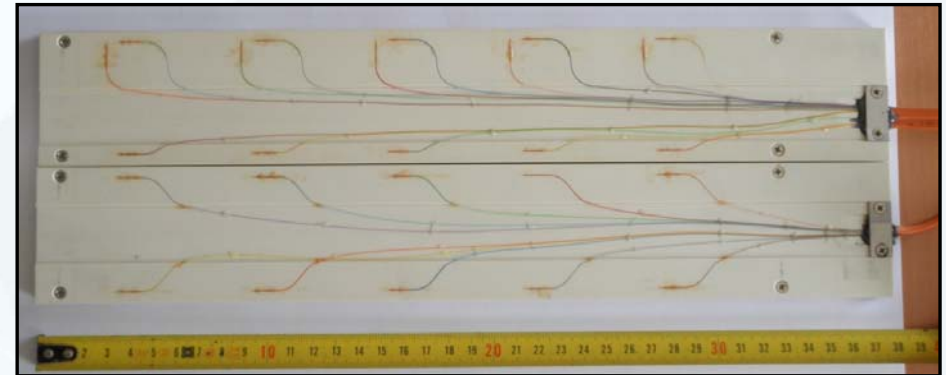
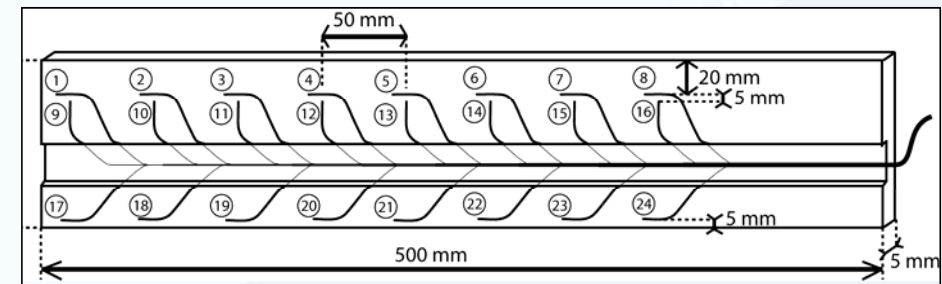
- La carotte instrumentée

- Interférométrie polarimétrique à lumière blanche. Interféromètre de Fabry-Pérot
- Insensible à la déformation transversale et à la température
- Lecture simultanée suivant 2 directions perpendiculaires
- Lecture simultanée à deux niveaux dans la couche bitumineuse



Capteurs de déformation

- La plaque de déformation multiniveau
- Lecture simultanée suivant 2 directions
- Lecture simultanée à deux niveaux
- Association de plaques

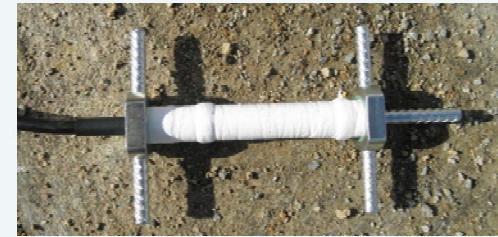
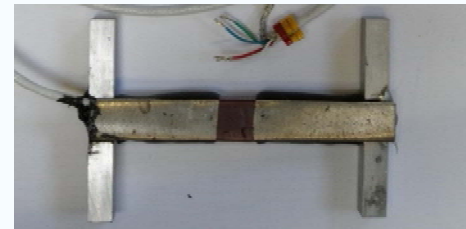
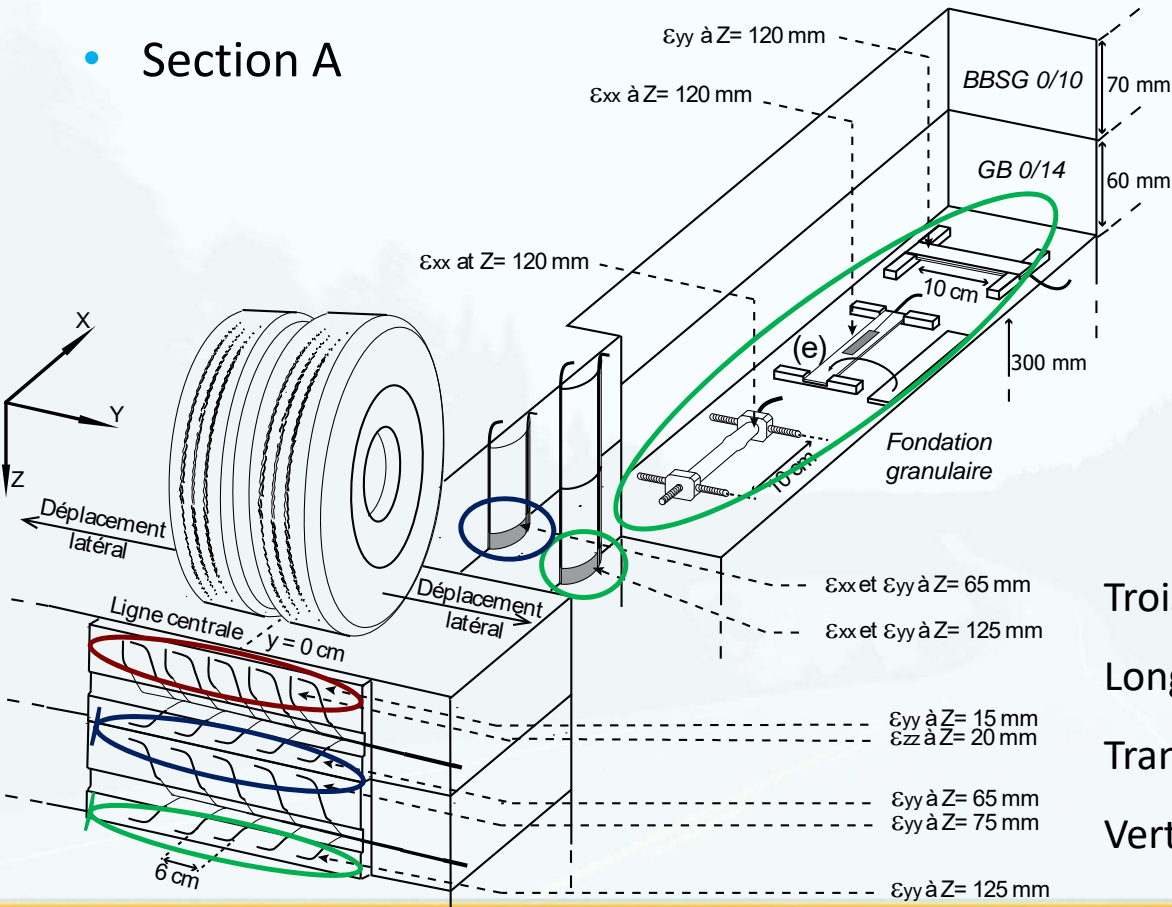


(diamètre: 230 μ m, longueur: 9 mm)



Instrumentation des couches bitumineuses

- Section A



Trois directions: Longitudinal (ϵ_{xx}), Transversal (ϵ_{yy}), Vertical (ϵ_{zz})
 Quatre niveaux :
Proche de la surface (15-20mm),
De part et d'autre de l'interface
À la base du revêtement

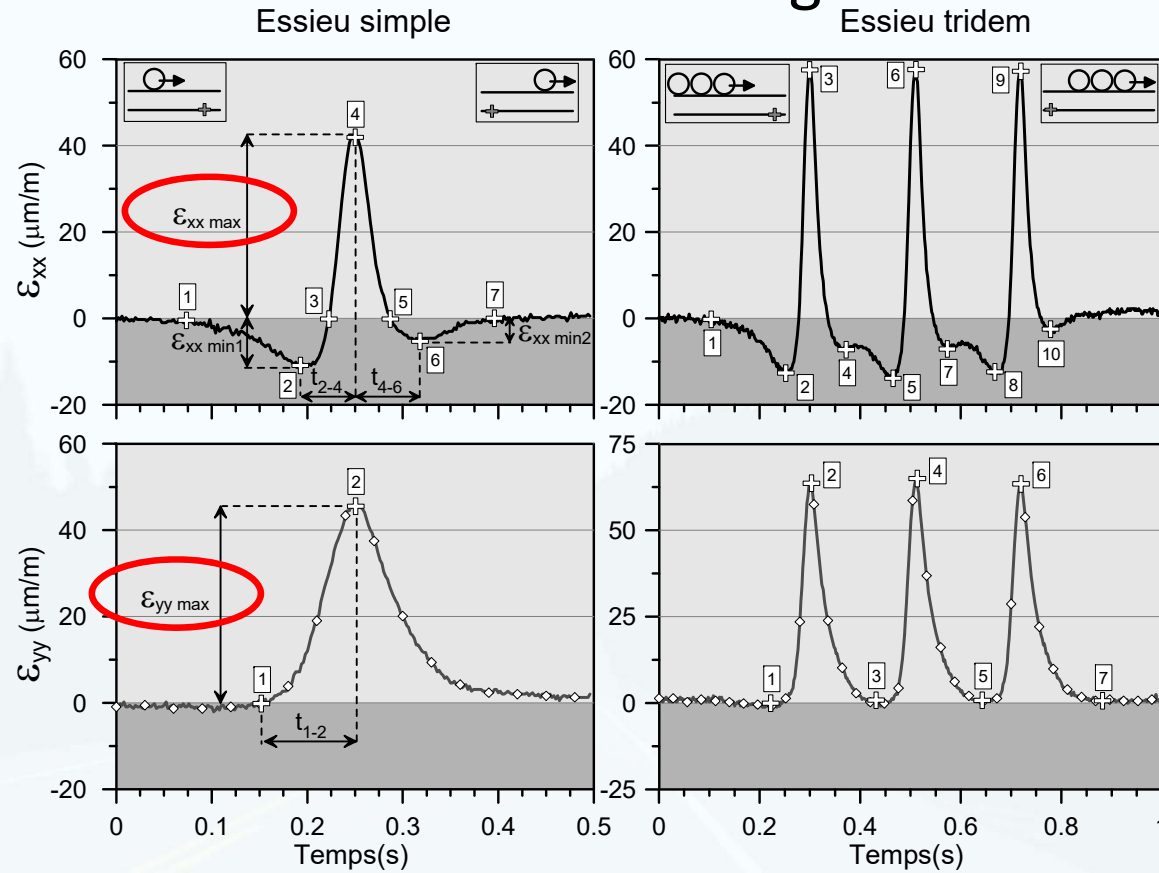
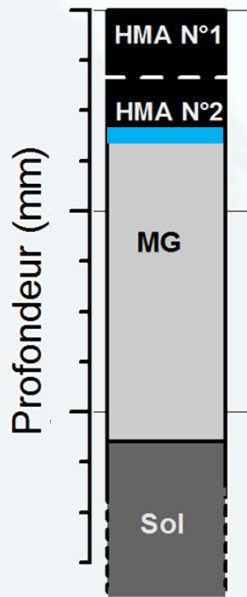
Bilan de l'instrumentation

- La procédure garantit le positionnement des jauges dans la structure
- Taux de succès élevés après la pose
- Bonne durabilité (plus de 600 000 chargements)
- Bonne résistance aux charges lourdes
- Suivi du comportement viscoélastique des matériaux (de 10 °C à 40 °C)
- Bonne répétabilité
- Écart avec les capteurs plexiglas, alu et TML pouvant atteindre 20 % à 30 %





Déformation à la base du revêtement - Signaux



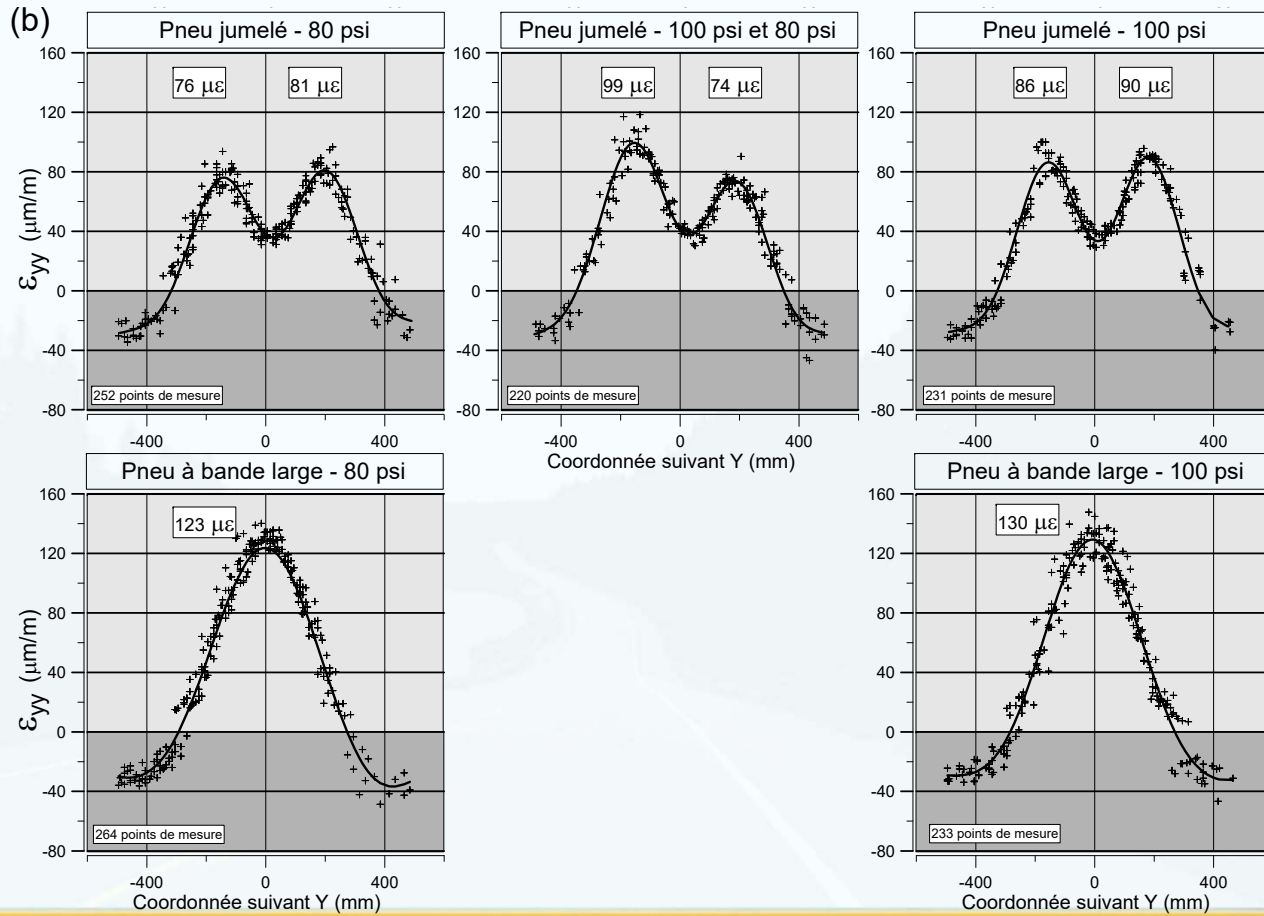
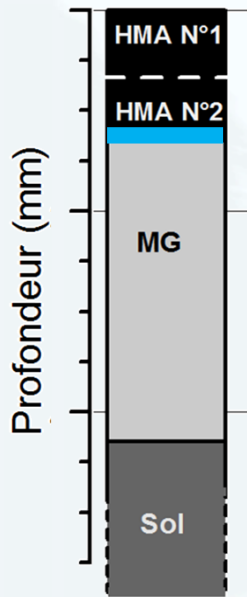
— ϵ_{xx} : Déformation longitudinale

◇◇◇ ϵ_{yy} : Déformation transversale

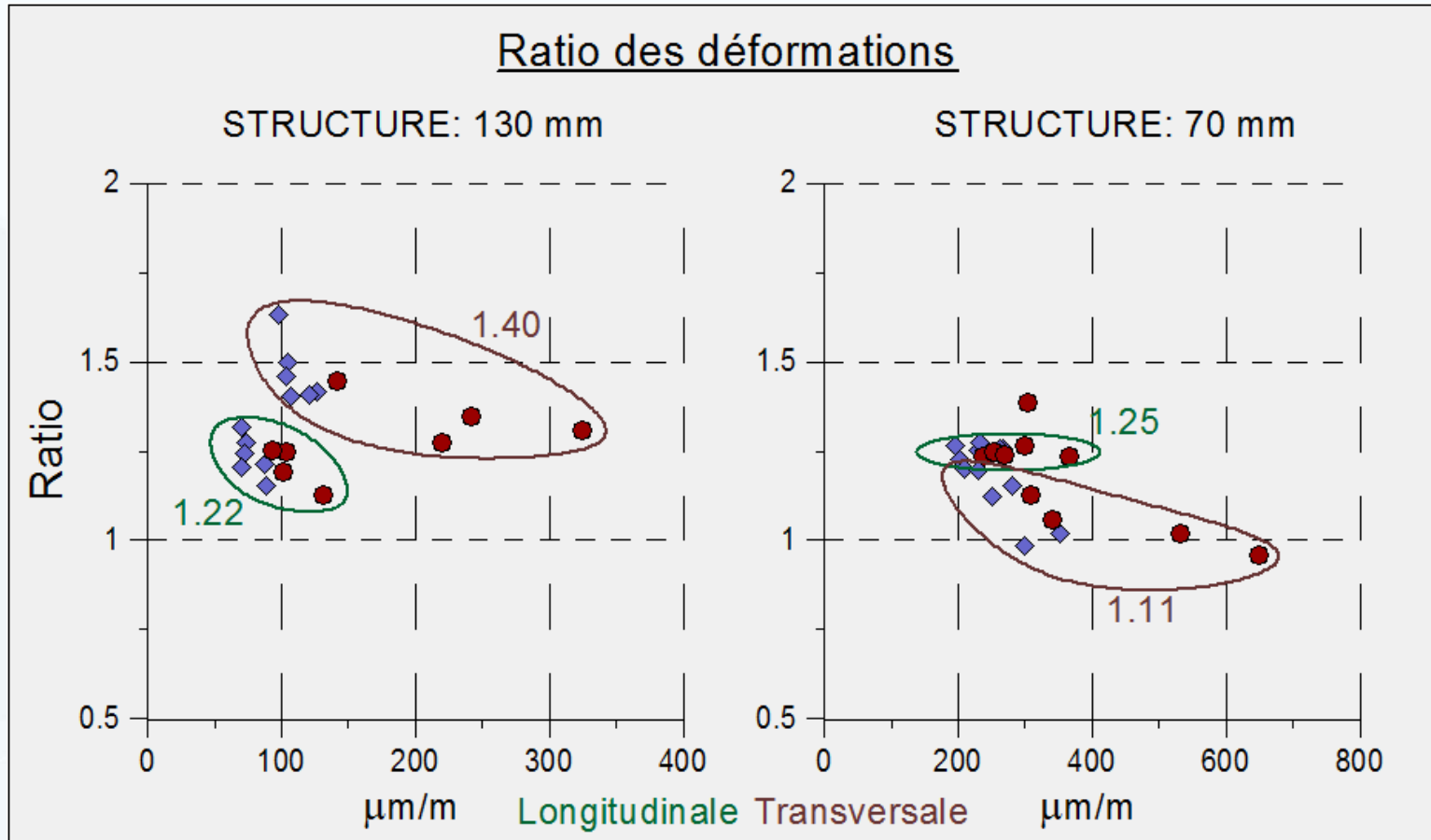




Déformation à la base du revêtement – Bassin de déformation

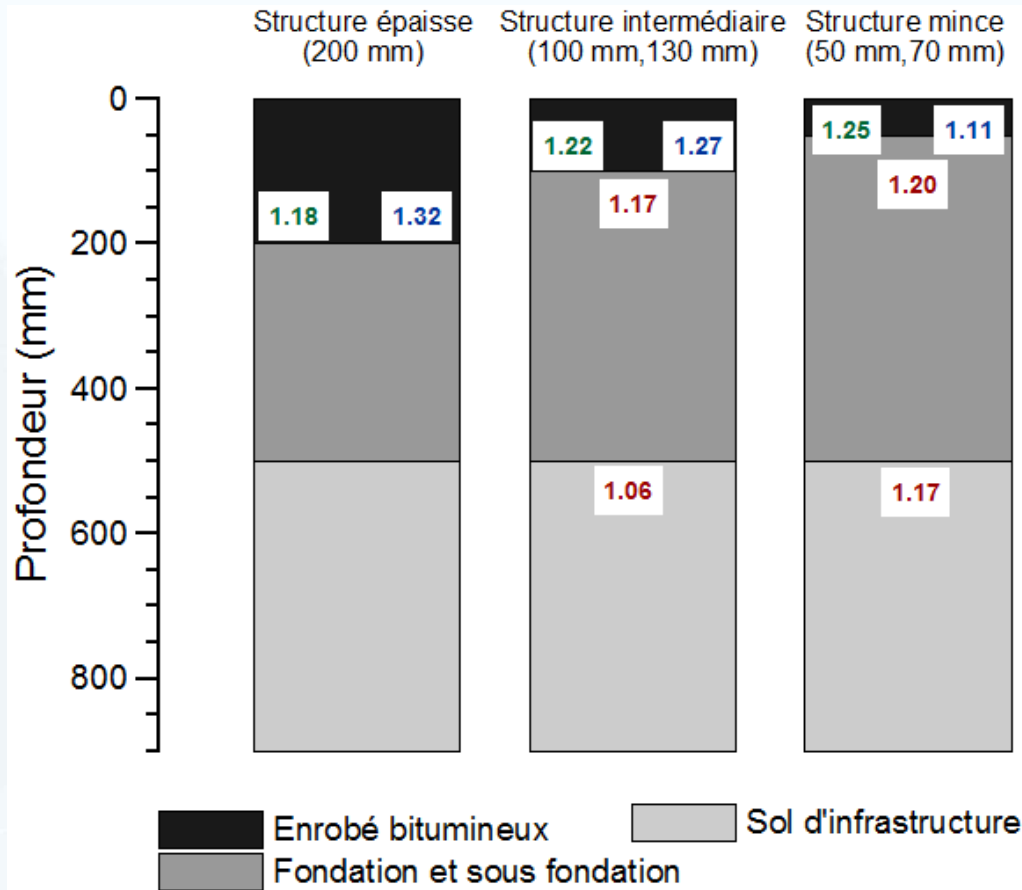


❖ Déformation à la base du revêtement



$$\text{Ratio des déformations} = \frac{\epsilon_{\text{pneu à bande large}}}{\epsilon_{\text{pneu jumelé}}}$$

Ratio des déformations



À la base du revêtement :
 Déformation longitudinale
 Déformation transversale

Au niveau de la fondation
 Déformation verticale

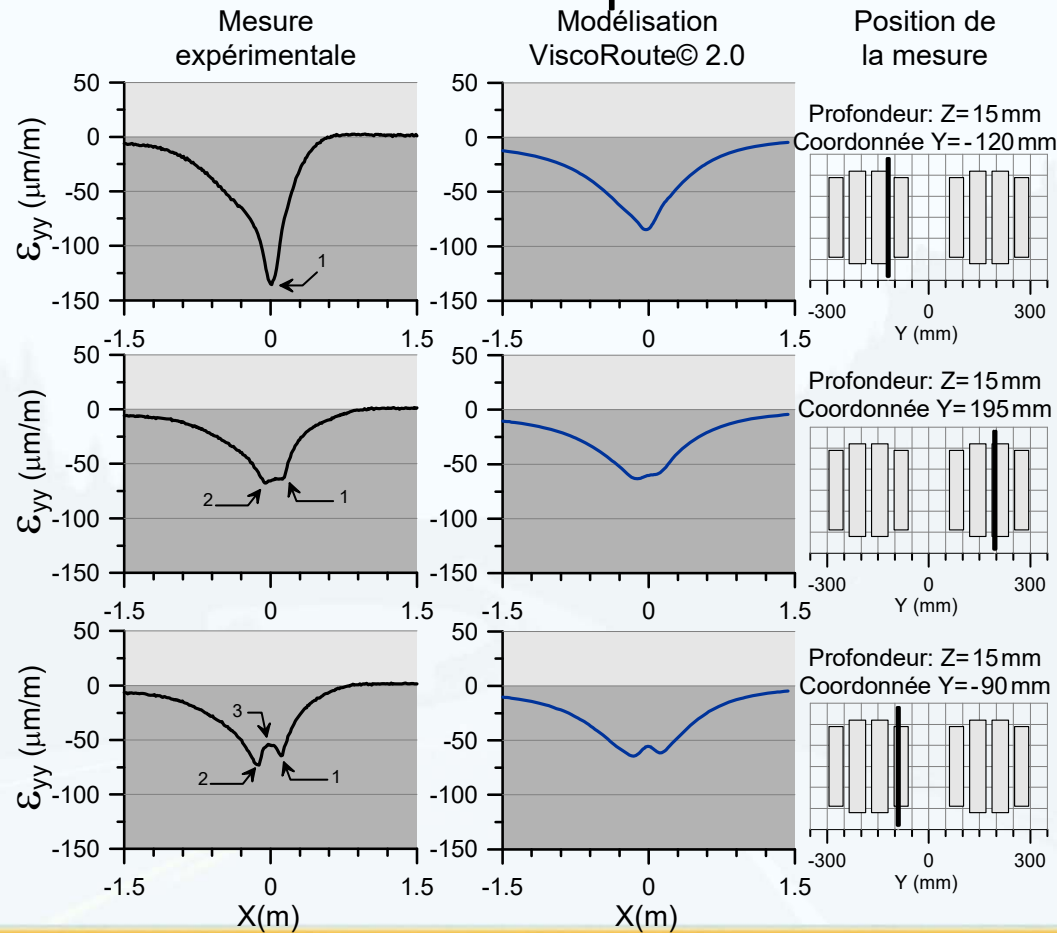
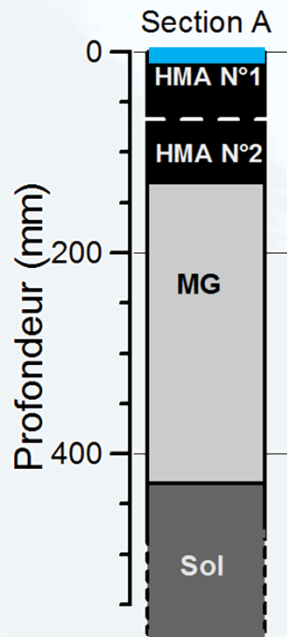
Au niveau du sol d'infrastructure
 Déformation verticale

$$\text{Ratio des déformations} = \frac{\epsilon_{\text{pneu à bande large}}}{\epsilon_{\text{pneu jumelé}}}$$





Déformation transversale à faible profondeur

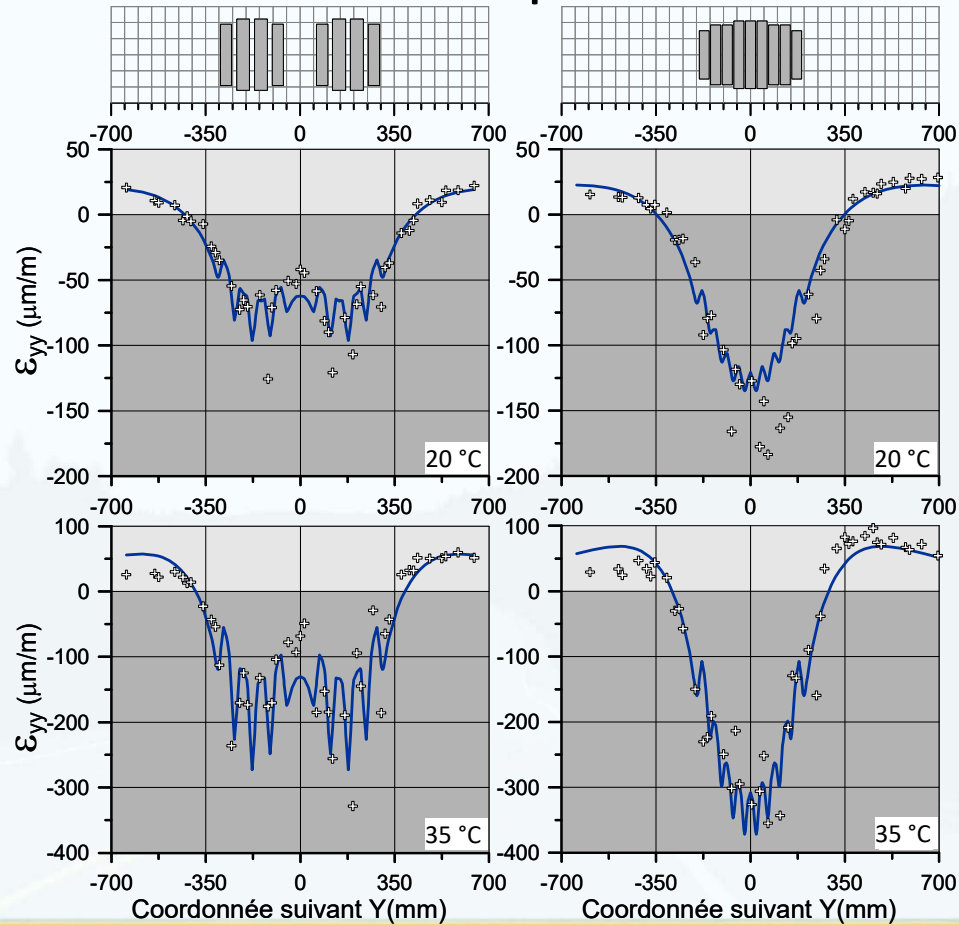
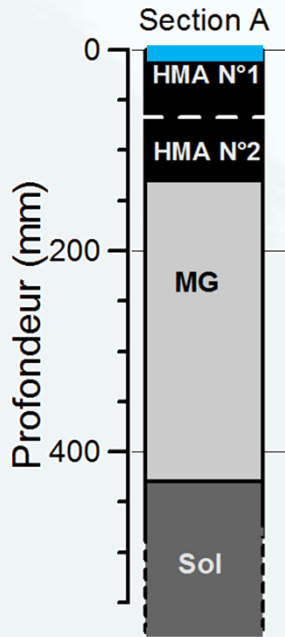


Pneu jumelé – 8,5 bar – 5 t – 20 °C – 43 km/h





Déformation transversale à faible profondeur



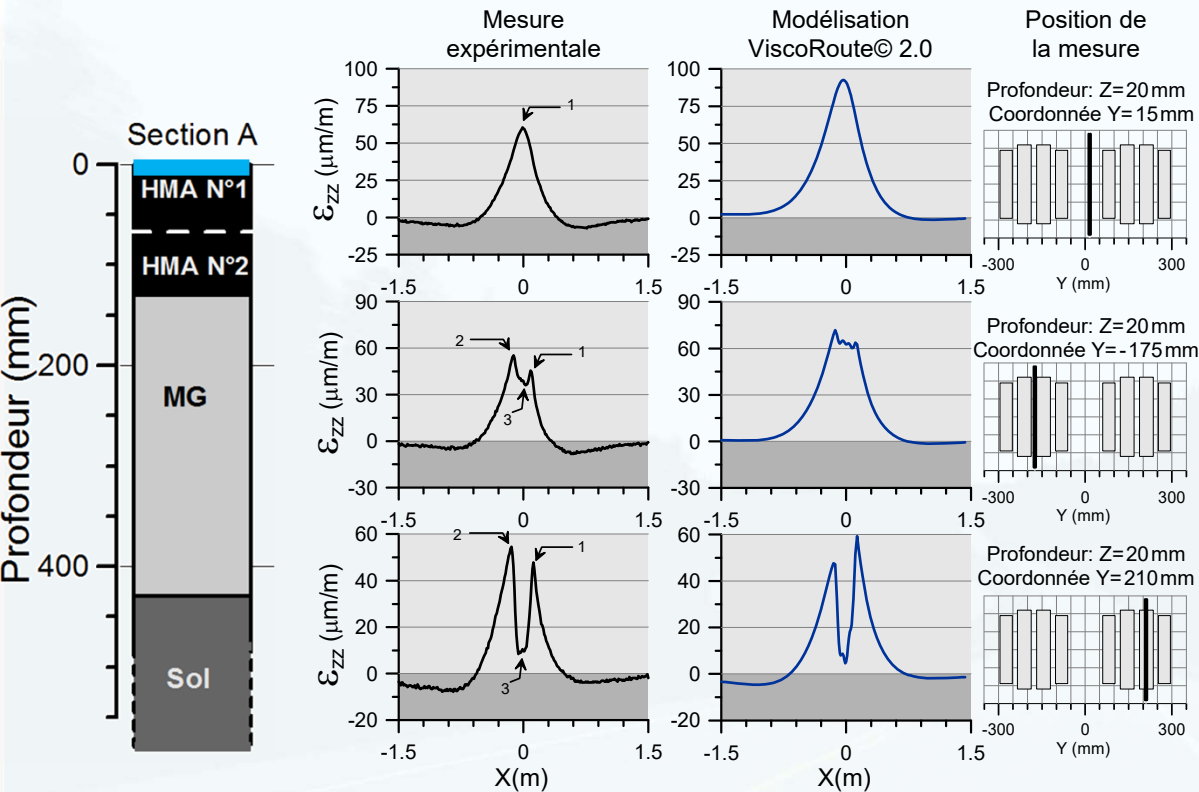
⊕ Mesure expérimentale — Modélisation ViscoRoute© 2.0

8,5 bar – 5 t – 20 °C et 35 °C – 43 km/h

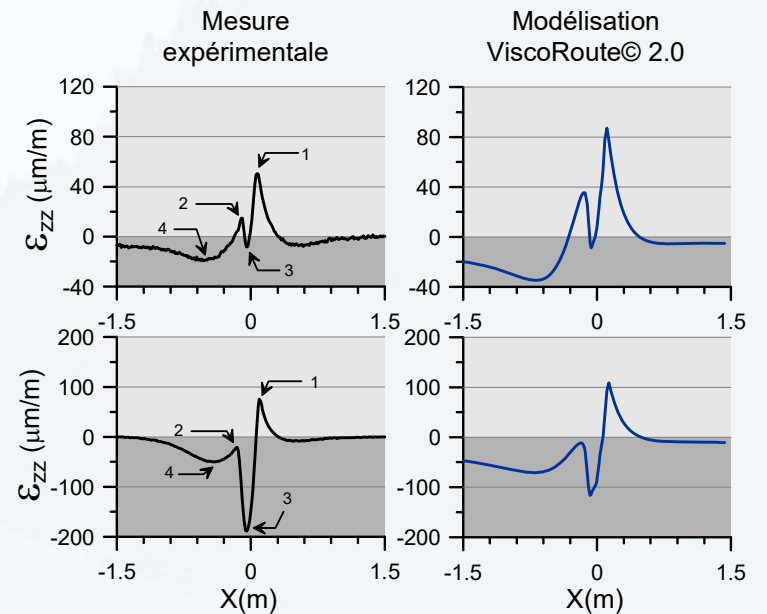




Déformation verticale à faible profondeur



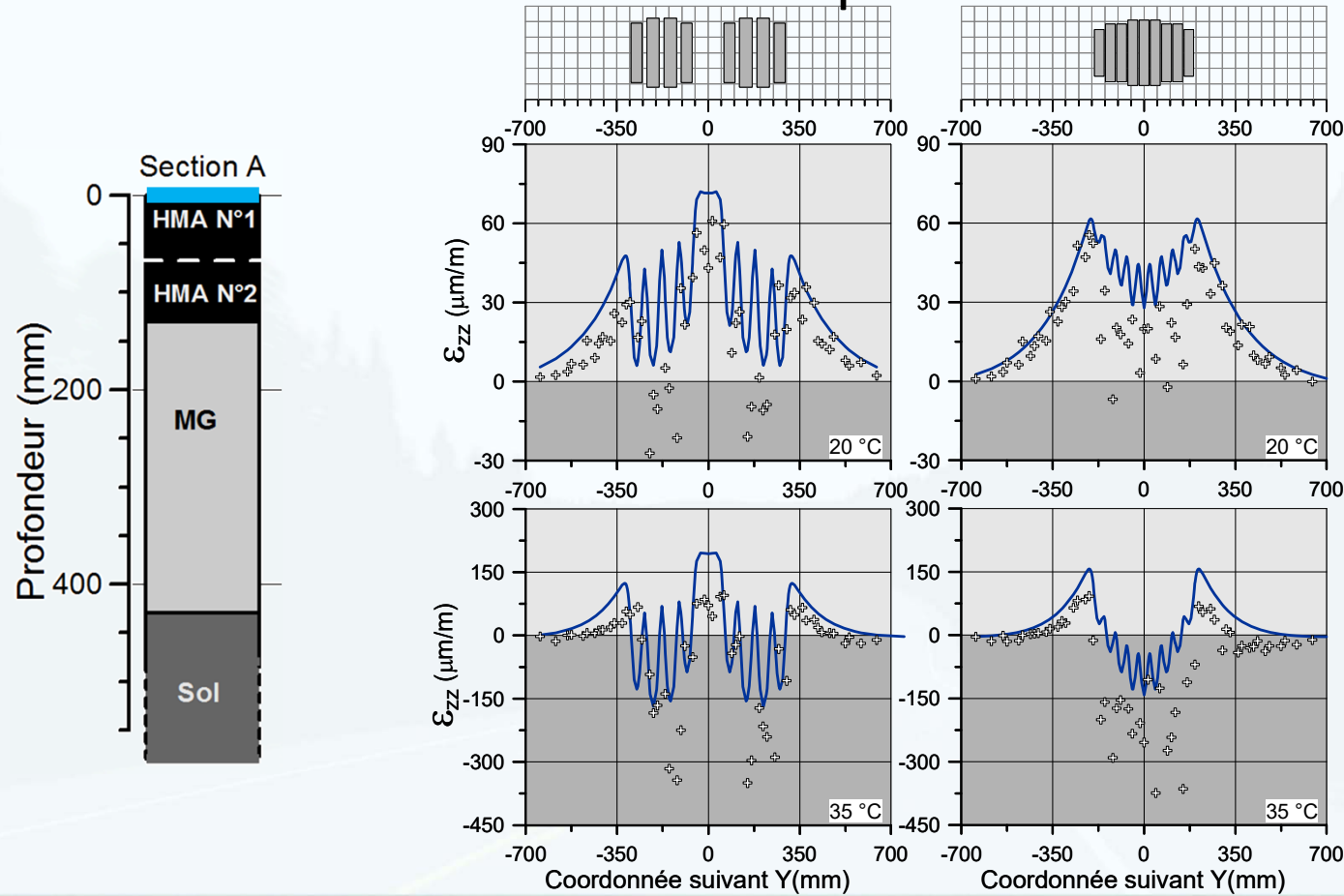
Pneu jumelé – 8,5 bar – 5 t – 20 °C – 43 km/h



Pneu jumelé – 8,5 bar – 5 t – 35 °C – 43 km/h



Déformation verticale à faible profondeur

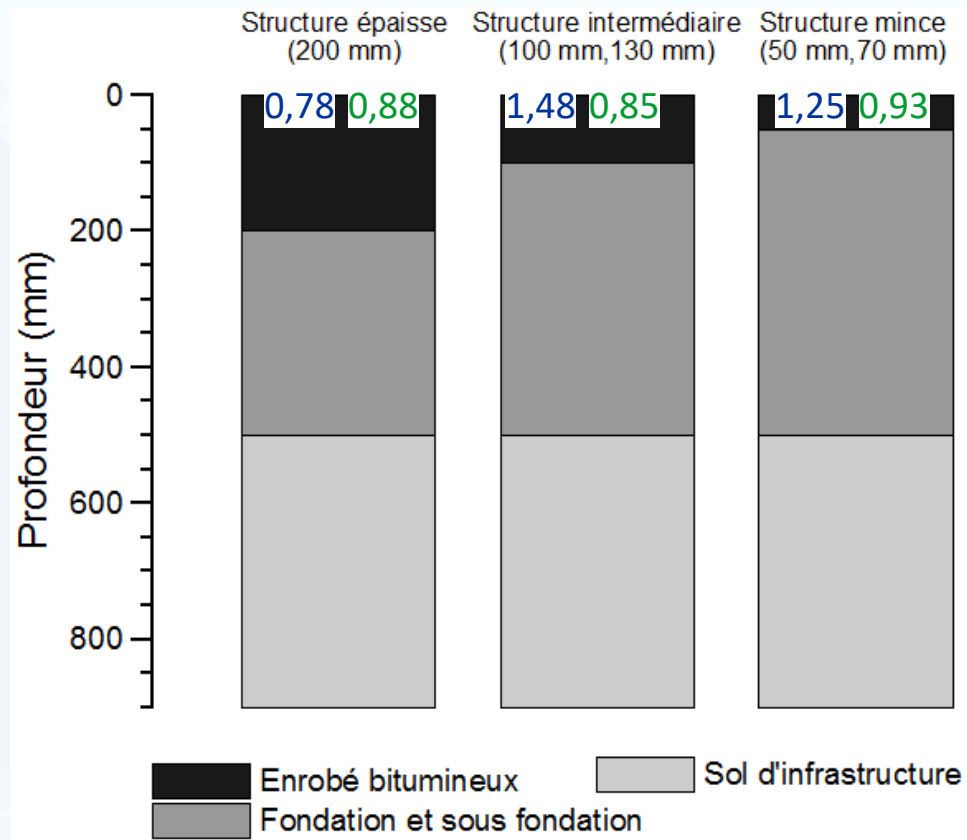


⊕ Mesure expérimentale — Modélisation ViscoRoute© 2.0

8,5 bar – 5 t – 20 °C et 35 °C – 43 km/h



Ratio des déformations



Proche de la surface du revêtement :

Déformation transversale

Déformation verticale

Baisse de la contrainte et de la déformation en cisaillement de l'ordre de 5 % à 20 % en fonction de la charge et de la température de l'enrobé bitumineux.



Bilan des déformations à faible profondeur

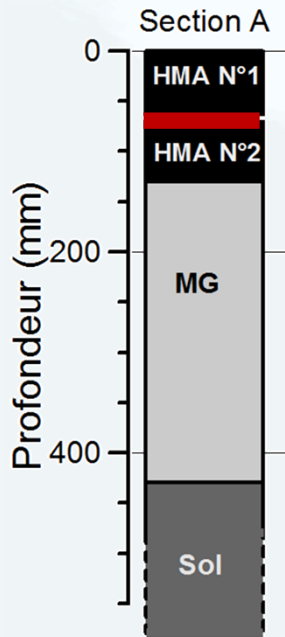
- Identification des zones fortement sollicitées
- Mesure de l'extension et de la contraction maximale sous le pneu
- Analyse de l'effet des conditions de charges (tonnage, pression de gonflage, vitesse)
- Identification des contraintes à l'aide des modélisations
- Calcul du cisaillement aux bords de la charge





Déformation de part et d'autre de l'interface

- Interface collée:
 - Continuité des déplacements et des contraintes à l'interface
 - Égalité des tenseurs de part et d'autre de l'interface
- Interface glissante:
 - Possibilité de discontinuité entre les déplacements horizontaux
 - Continuité de la contrainte verticale et du déplacement vertical
- Interface décollée:
 - Possible discontinuité des déplacements et des contraintes à l'interface
- **Interface viscoélastique:**
 - **Intégration d'une couche viscoélastique de faible épaisseur entre la couche de surface et la couche de base**



i3c

Damien Grellet - Symposium international i3C

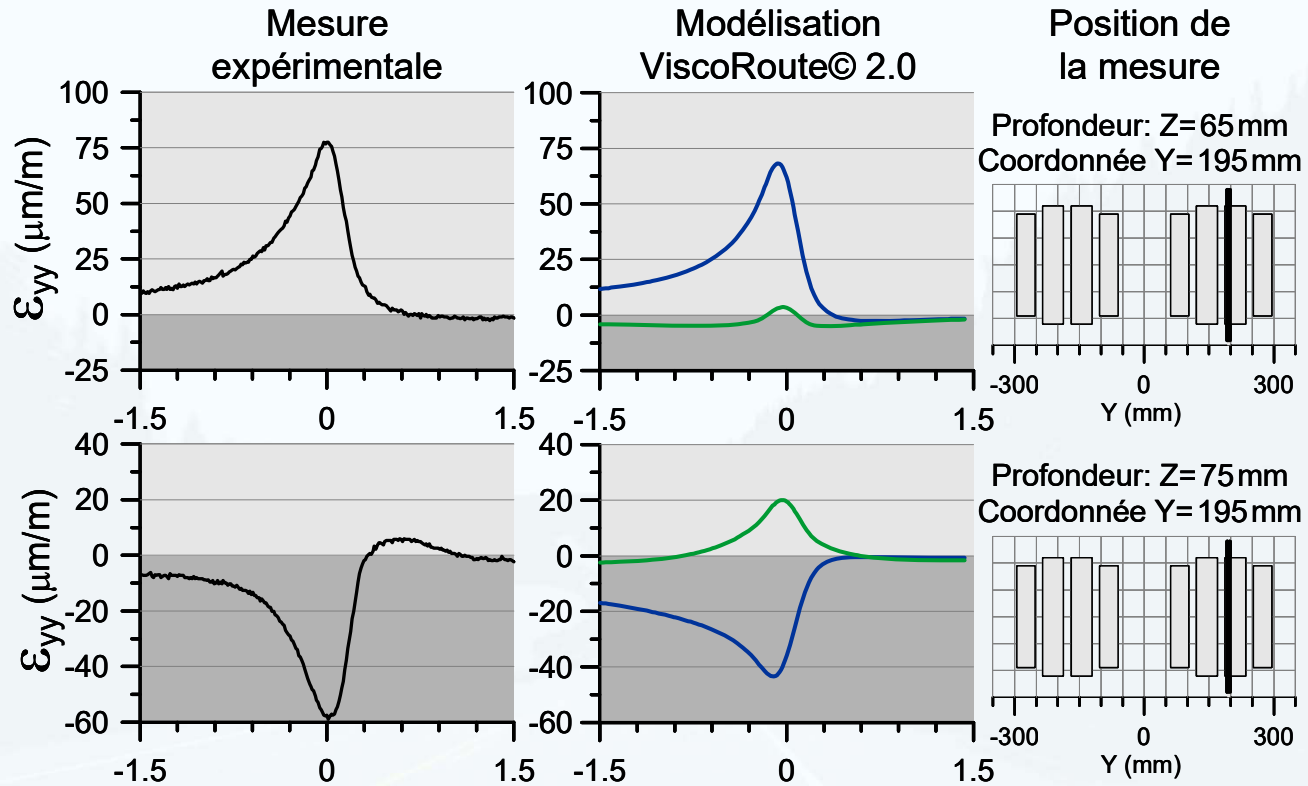
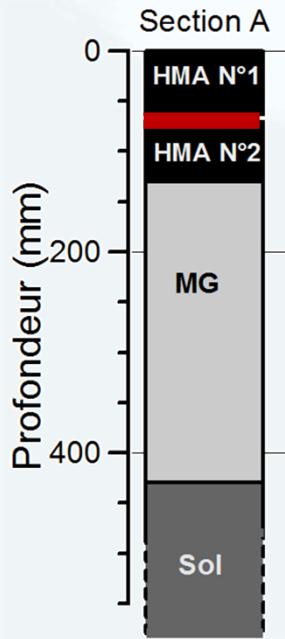


24/30

2020-11-18



Déformation de part et d'autre de l'interface



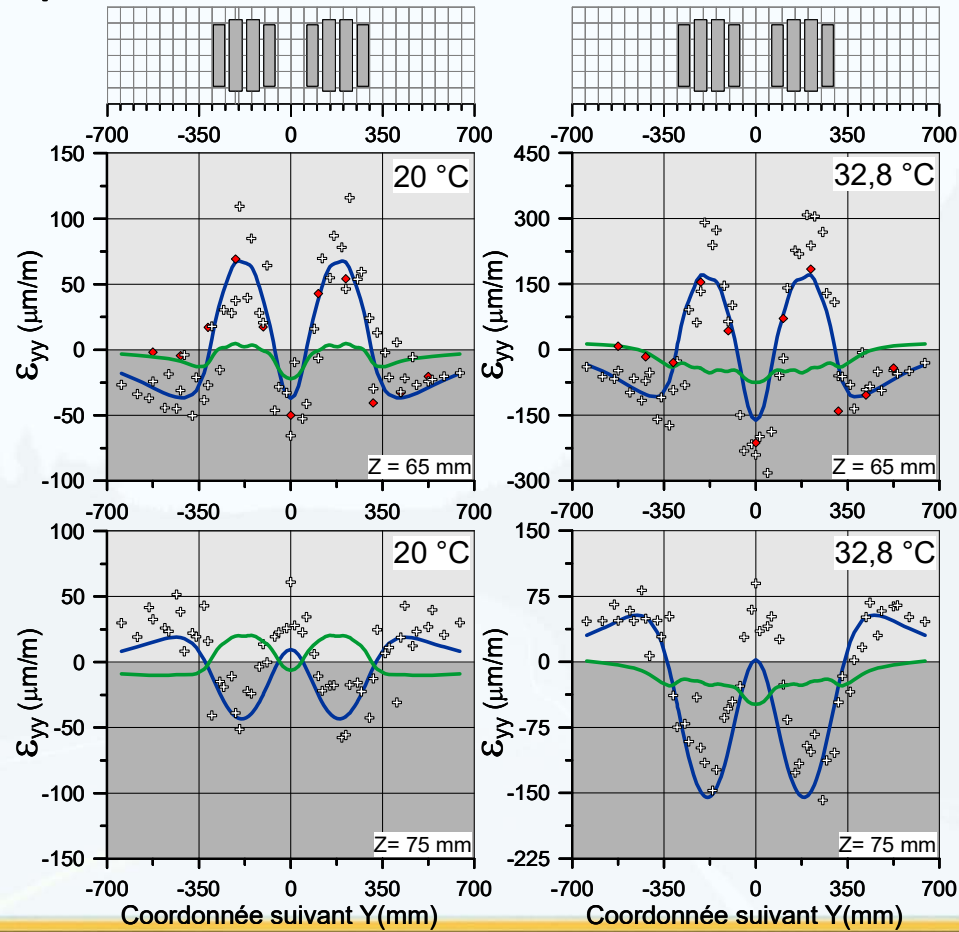
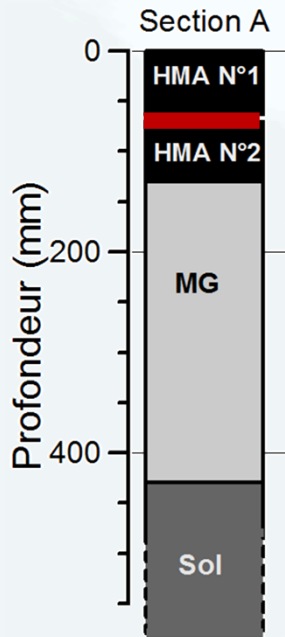
Modélisation ViscoRoute© 2.0 :
— Interface collée (green line)
— Interface viscoélastique (blue line)

Pneu jumelé – 8,5 bar – 5,8 t – 20 °C – 43 km/h



Déformation de part et d'autre de l'interface

8,5 bar – 5,8 t – 43 km/h
20 °C et 32,8 °C



Mesure expérimentale :
⊕ Plaque multiniveau
♦ Carotte instrumentée

Modélisation ViscoRoute© 2.0 :
— Interface collée
— Interface viscoélastique



Effet d'une interface viscoélastique

- À la base du revêtement:
 - Effet sur la forme et l'amplitude du signal
 - Augmentation des déformations à la base du revêtement
 - Augmentation la plus importante pour des T° autour de 25 °C à 30 °C
- À faible profondeur :
 - Augmentation de σ_{xx} et de σ_{yy}
 - Augmentation de la traction à l'arrière de la charge
- Sous certaines conditions de température et de charge les déformations et les contraintes à l'interface ont une amplitude plus élevée qu'à la base du revêtement



Conclusion

- Développement de capteurs à fibre optique
- Caractérisation expérimentale des déformations à faible profondeur
- Étude du comportement viscoélastique des interfaces dans les couches bitumineuses (modélisation et caractérisation expérimentale)
- Étude de l'effet des types de pneu, de la configuration des essieux, de la pression de gonflage, de l'amplitude des charges, de la vitesse et de la température sur la distribution des déformations



Publications scientifiques

- Doré, G., Fachon, J., Grellet, D. (2009). Étude de l'incidence des systèmes de contrôle de gonflement des pneus (SCGP) sur l'interaction véhicule-route. [Transport Canada](#), Rapport de recherche TP 14950F, p. 115
- Grellet, D., Doré, G., Bilodeau, J.-P. (2012a). Comparative study on the impact of wide base tires and dual tires on the strains occurring within flexible pavements asphalt concrete surface course. [Canadian Journal of Civil Engineering](#) 39, pp. 526-535. DOI: 10.1139/I2012-031
- Grellet, D., Doré, G., Bilodeau, J.-P., Gauliard, T. (2013). *Wide-Base Single-Tire and Dual-Tire Assemblies: Comparison Based on Experimental Pavement Response and Predicted Damage*. Transportation Research Record: [Journal of the Transportation Research Board](#) 2369, pp. 47-56. 10.3141/2369-06
- Grellet, D., Doré, G., Chupin, O., Piau, J.-M. (2018). Highlighting of the viscoelastic behaviour of interfaces in asphalt pavements – a possible origin to top-down cracking. [Road Materials and Pavement Design](#) 19, pp. 581-590. 10.1080/14680629.2018.1418721
- Grellet, D., Doré, G., Bilodeau, J.-P. (2010). Effect of tire type on strains occurring in asphalt concrete layers; Proceedings of the [11th International Conference on Asphalt Pavements](#); Nagoya, Japan.
- Grellet, D., Doré, G., Kerzreho, J.-P., Piau, J.-M., Chabot, A., Hornych, P. (2012b). Experimental and Theoretical Investigation of Three Dimensional Strain Occurring Near the Surface in Asphalt Concrete Layers. In: Scarpas, A., Kringos, N., Al-Qadi, I., A, L. (Eds.), [7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements](#). Springer Netherlands, pp. 1017-1027.
- Grellet, D., Doré, G., Chupin, O., Piau, J.-M. (2016). Experimental evidence of the viscoelastic behavior of interfaces in bituminous pavements - An explanation to top-down cracking? , [8th RILEM International Conference on Cracking in Pavements](#).
- Grellet, D. (2018). Caractérisation expérimentale et modélisation du comportement viscoélastique des couches bitumineuses et de leur interface, Thèse de doctorat Université Laval.



Chaire de recherche industrielle
du CRSNG sur l'interaction
Charges lourdes/Climat/Chaussées

Merci pour votre
attention

PARTENAIRES



Faculté des Sciences et de génie
Département de génie civil

