

Monitoring et suivi du comportement des chaussées

Pierre Hornyh – Juliette Blanc

IFSTTAR - LAMES



MONITORING ET SUIVI DU COMPORTEMENT DES CHAUSSÉES

DÉVELOPPEMENTS RÉCENTS ET PERSPECTIVES

Introduction

Objectifs du Monitoring

Techniques utilisées :

- Capteurs – systèmes d'acquisition

Exemples d'applications :

- Monitoring d'une chaussées autoroutière
- Mesures par fibres optiques continues – détection de l'endommagement
- Mesures des déformations dans les couches de surface



INTRODUCTION

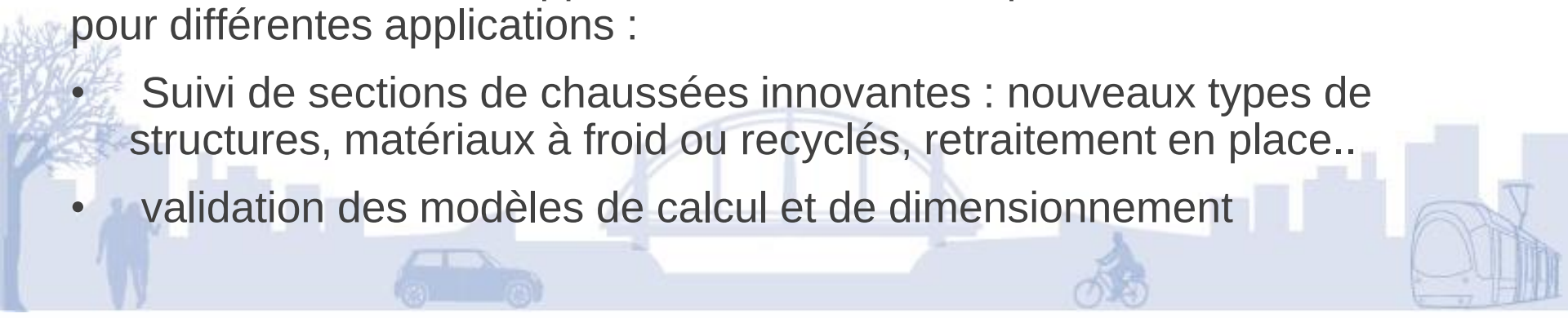
Progrès récents dans le domaine des capteurs et systèmes d'acquisition :

- Baisse importante des coûts
- Développement de nouveaux capteurs , miniaturisation
- Augmentation des capacités de stockage et de calcul
- Généralisation des systèmes d'acquisition à distance, grâce à internet.

→ Développement des systèmes de monitoring des ouvrages de génie civil : ouvrages d'art, bâtiments, barrages...

Demande croissante d'application de ces techniques aux chaussées, pour différentes applications :

- Suivi de sections de chaussées innovantes : nouveaux types de structures, matériaux à froid ou recyclés, retraitement en place..
- validation des modèles de calcul et de dimensionnement



MONITORING DES CHAUSSEES

Avantages :

- Suivi de paramètres variés : déplacements, déformations, accélérations, pressions, températures, teneurs en eau..
→ Informations détaillées pour le calage de modèles.
- Possibilités de mesures continues sur des durées importantes
- Détection des dégradations avant leur apparition en surface.
- Estimation des charges
- Suivi à distance

Limites :

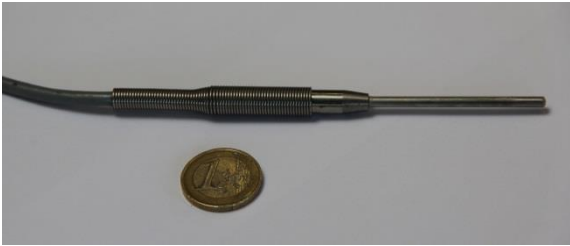
- Nombre limité de points de mesure...
- Durabilité des capteurs ?
- Méthodes intrusives (Capteurs filaires).



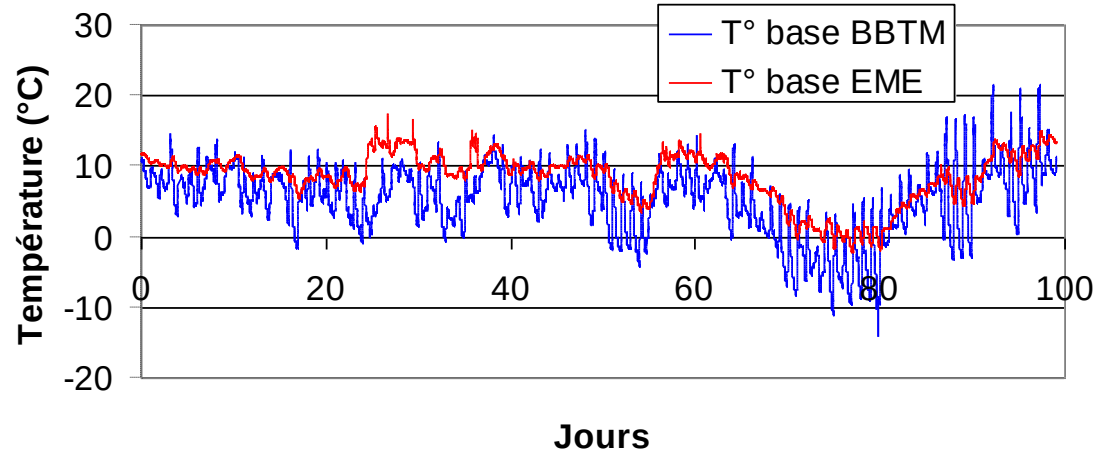
EXEMPLES DE CAPTEURS UTILISÉS

Températures

Sondes de température PT100
plage de mesure -40 à 120° C

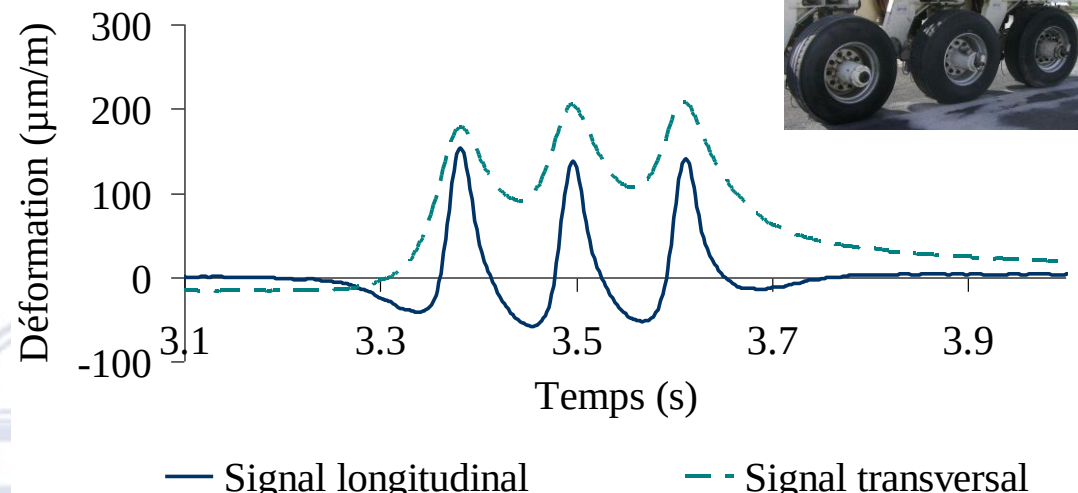


Exemple de suivi de température
chaussée bitumineuse



Déformations longitudinales et transversales (matériaux liés)

Jauges TML, type KM100 HAS,
Longueur 100 mm,
Etendue de mesure $\pm 5000 \mu\text{def}$



EXEMPLES DE CAPTEURS UTILISÉS

Géophones

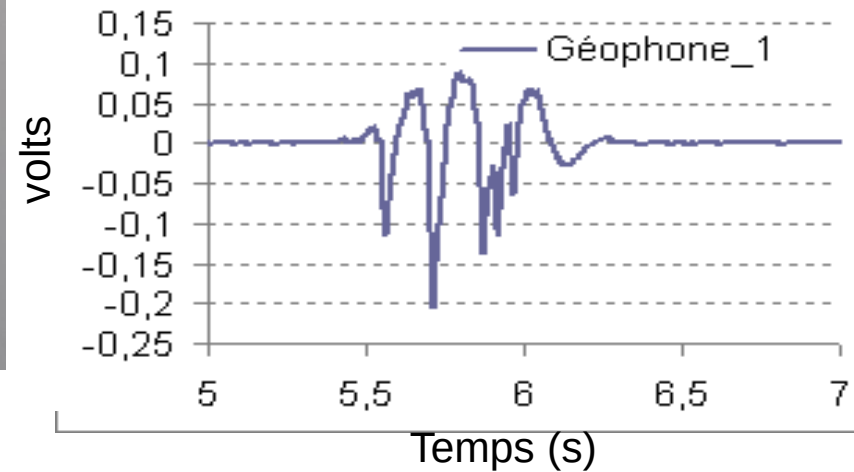
Géophone GS11D, 4.5 Hz

Mesure de la vitesse de déplacement verticale

Permet de remonter au déplacement



Signal au passage d'un PL à 5 essieux

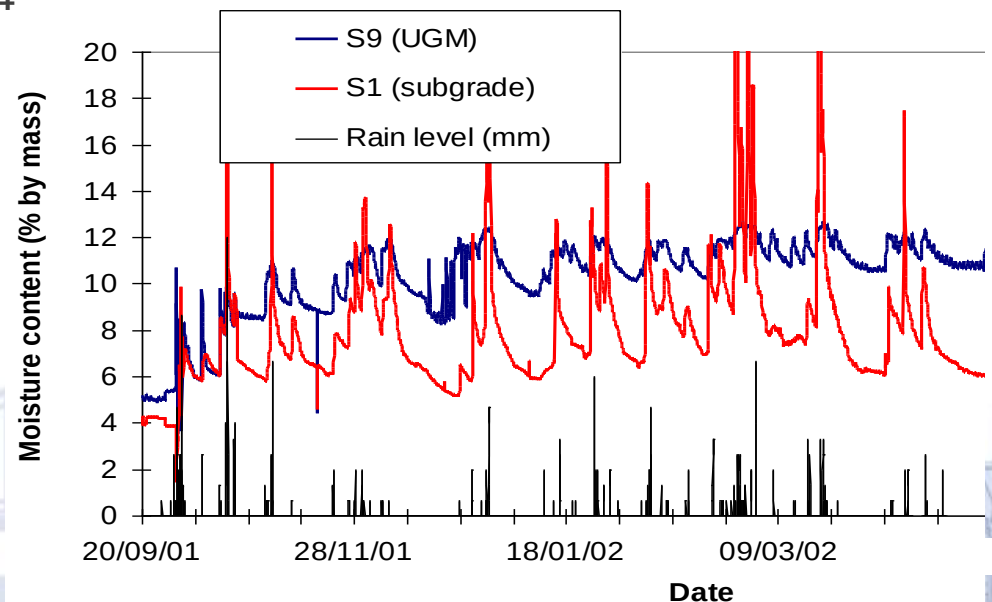


Teneurs en eau

Sondes TDR IMKO TRIME-PICO 64

mesure de teneur en eau vol.
entre 0 et 100 % (sortie 0-1V)

précision 1 %



CAPTEURS UTILISÉS

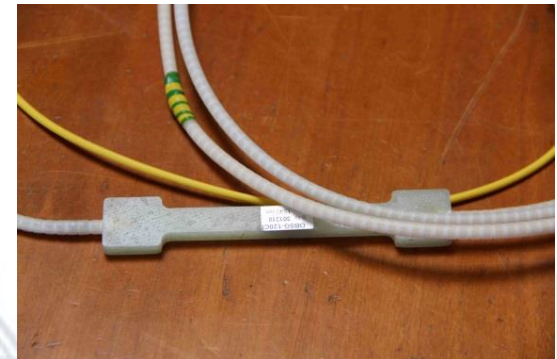
Fibres optiques

- Mesure des déformations, des températures
- Intérêt : possibilité de mesures continues sur la longueur de la fibre (pour certains types), faible encombrement, coût intéressant, durabilité, capteurs passifs.

Fibres à réseaux de Bragg

Principe : Réseaux d'indice de réfraction variable sur la fibre, conduisant à la réflexion de lumière dont la longueur d'onde dépend du pas du réseau

- Capteurs locaux de déformation (comme les jauges)
- Plusieurs réseaux de Bragg peuvent être répartis sur une même fibre
- Fréquence d'acquisition : jusqu'à plusieurs kHz → mesure dynamique

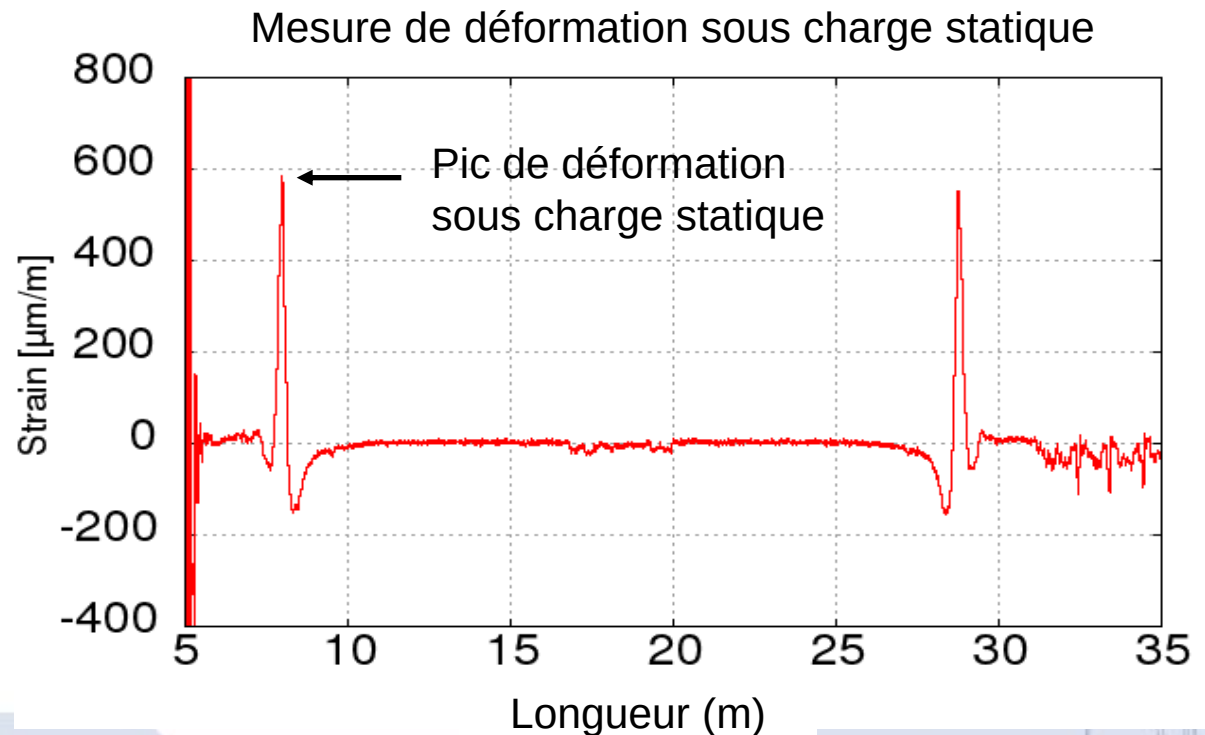


CAPTEURS UTILISÉS

Fibres optiques continues

Basées sur le principe de diffusion de Rayleigh :

- Mesure continue de déformation sur toute la fibre
- Sur une distance allant jusqu'à 70 m ou 2km (selon la résolution)
- Durée d'acquisition : 1 à 10 secondes par mesure → mesure statique

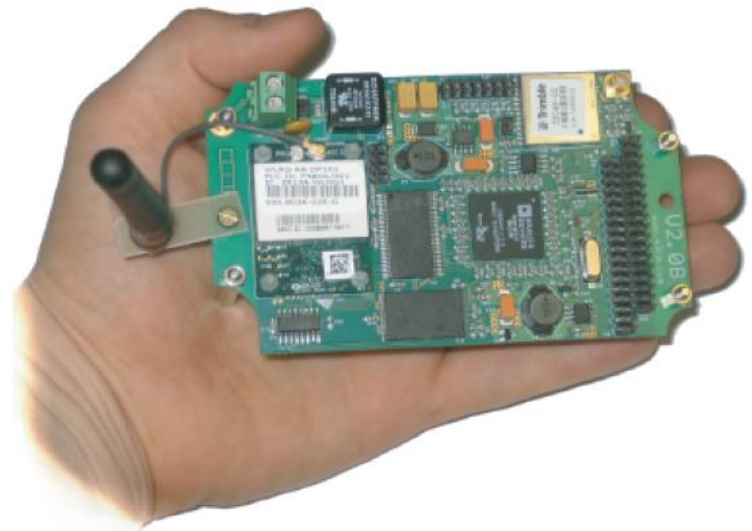


SYSTEMES D'ACQUISITION

La plate-forme d'instrumentation PEGASE

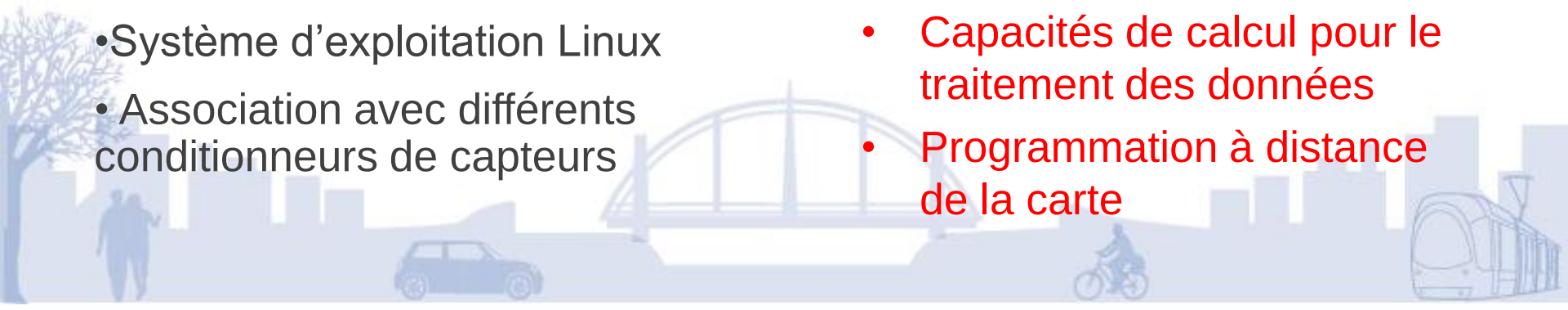
Plateforme d'instrumentation modulaire et sans fil développée à l'IFSTTAR

- Processeur Analog Device Blackfin BF537 puissant et de faible consommation
- Module de communication sans fil WIFI
- Récepteur GPS miniature assurant la localisation et une référence absolue en temps
- Système d'exploitation Linux
- Association avec différents conditionneurs de capteurs



Intérêts de la carte PEGASE :

- Capacités de calcul pour le traitement des données
- Programmation à distance de la carte



SYSTEMES D'ACQUISITION

Transmission et consultation des données



Pourquoi instrumenter une chaussée : exemple de l'autoroute A10



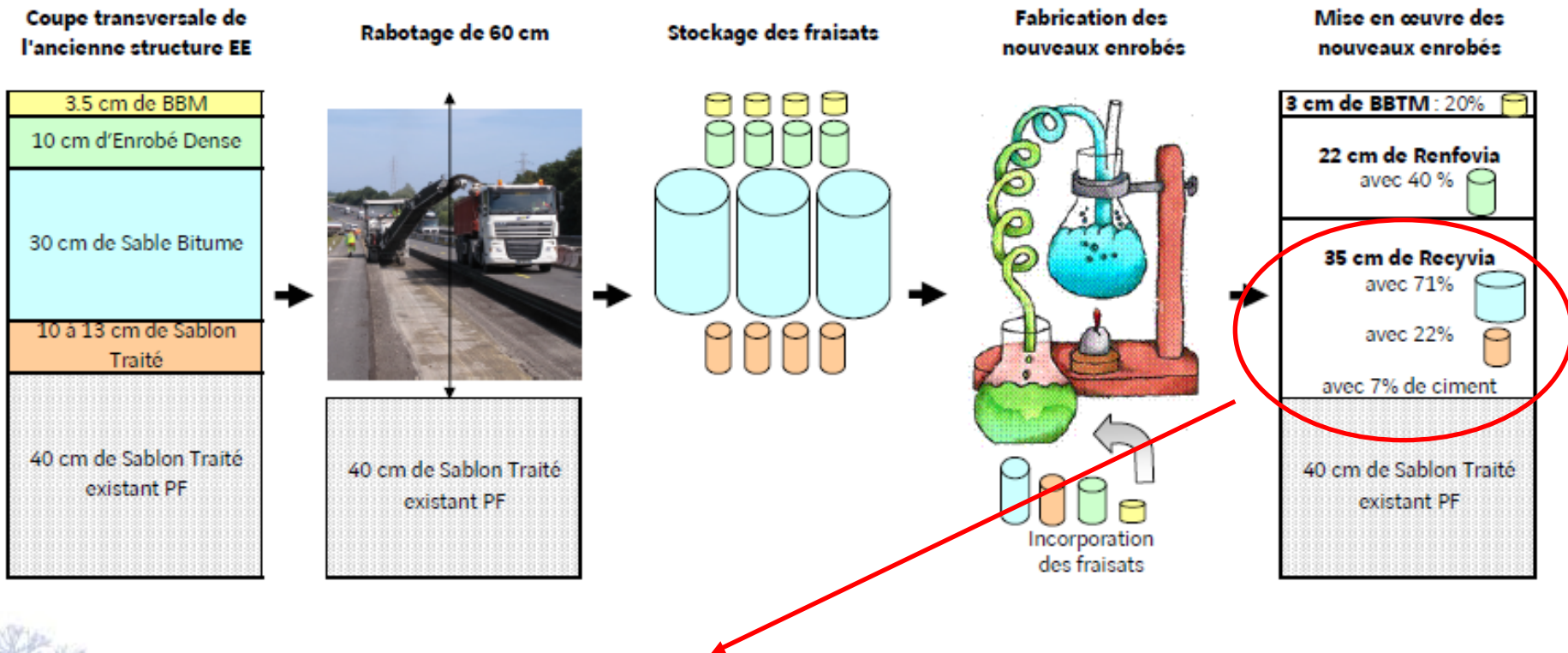
IFSTTAR

A10 TRONC COMMUN : UNE SECTION SOUS HAUTE SURVEILLANCE

- Section construite en 1972
- Problématiques rencontrées :
 - Plate-forme de niveau faible
 - Des déformations et dégradations importantes
 - Un trafic PL important : 3 900 PL/J/sens
- Résultat des investigations : ➔ Besoin de reconstruction complète de la voie
- Volonté du Maître d'Ouvrage : **réutiliser un maximum de matériaux** soit par retraitement en place ou en centrale et par recyclage des fraisats



A10 TRONC COMMUN : LA SOLUTION ADOPTÉE



Retraitement en place du sable-bitume

→ Comment va se comporter ce matériau innovant ??

SOLUTIONS D'INSTRUMENTATION

Suivi de la section à l'aide de deux types d'instrumentation:

- Instrumentation à l'aide de jauges pour le suivi des déformations dans les couches de chaussées
- Test d'une instrumentation innovante avec suivi à distance :
 - Géophones pour la mesure de déflexion
 - Capteur d'ouverture de fissure
 - Sondes de température



INSTRUMENTATION PAR JAUGES

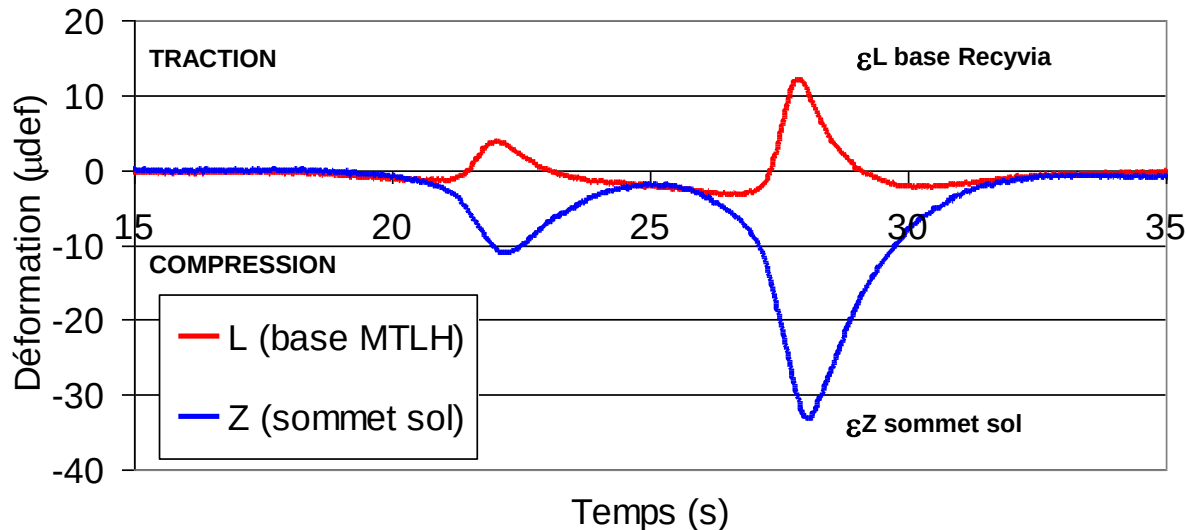
5 profils instrumentés



Jauges longitudinales

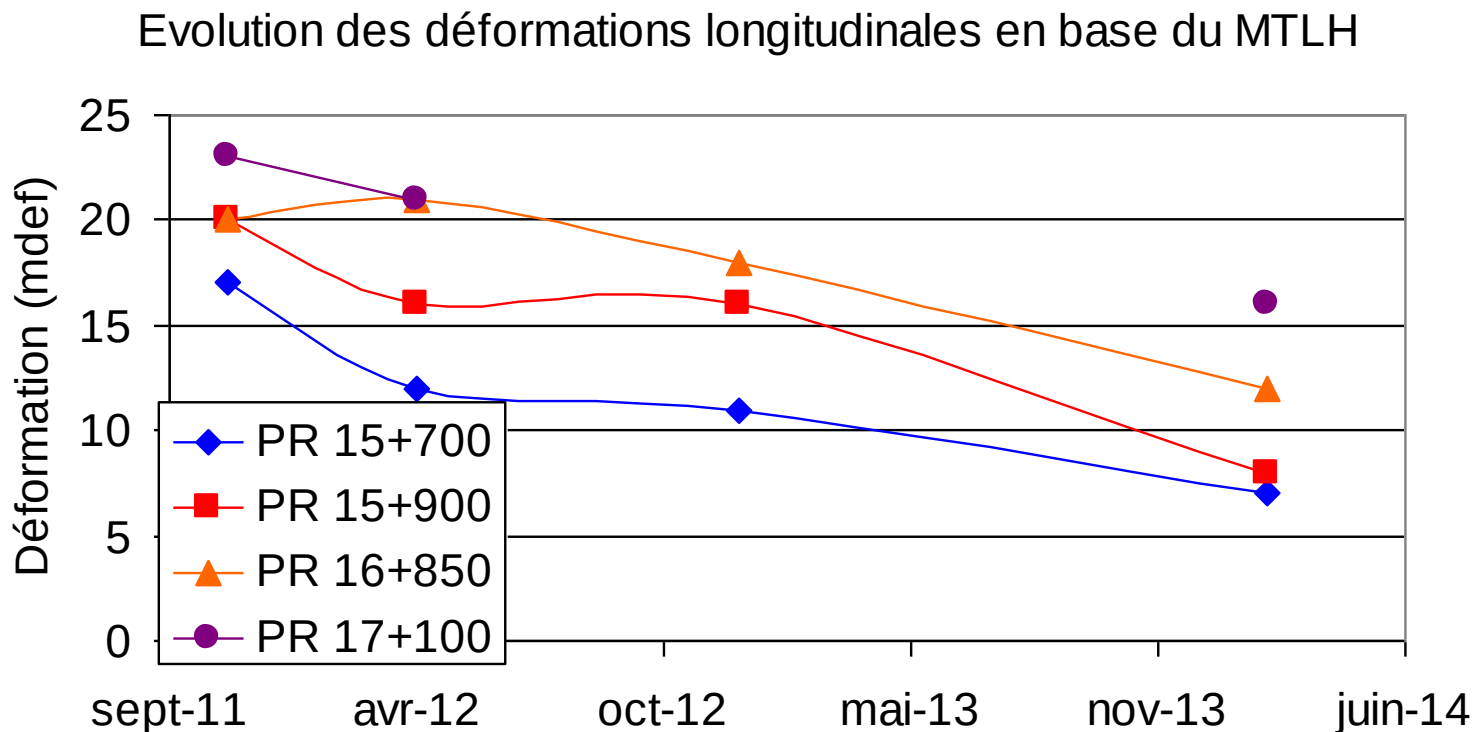


Jauges verticales



Déformations enregistrées sous le passage d'un défectographe ($T=11^{\circ}\text{C}$)

EVOLUTION DES DÉFORMATIONS DANS LA STRUCTURE



Diminution des déformations longitudinales à la base du Recyvia

→ Augmentation du module du Recyvia dans le temps et cohérence avec les essais de laboratoire

L'instrumentation : une autre façon de vérifier le bon comportement de la structure

- En parallèle de l'instrumentation, le gestionnaire commande une fois par an des mesures de déflexion
- Novembre 2011 : déflexion moyenne ≈ 4 mm/100 → tout va bien !
- Décembre 2012 : déflexion moyenne ≈ 15 mm/100 avec des pics allant jusqu'à 70 mm/100 → le prestataire des mesures de déflexion annonce que la chaussée s'est fortement endommagée!
- Après vérification, les mesures des jauges n'indiquent aucune évolution des déformations
- Vérification du déflectographe → un capteur de déplacement était défectueux !



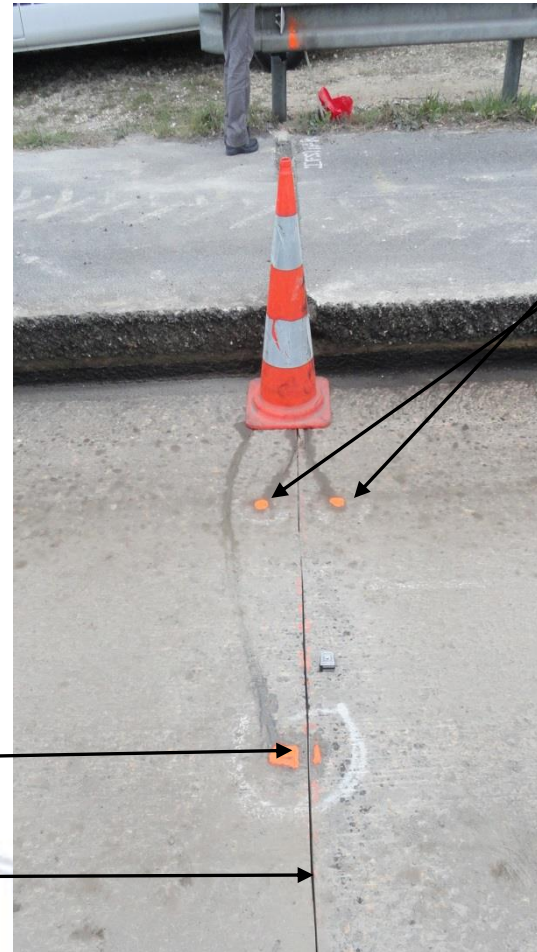
SECTION SUIVIE À DISTANCE

Test de nouveaux capteurs :

- Capteur de déplacement inductif sans contact pour le suivi de l'ouverture de fissure
- 2 sondes de températures placées à différentes profondeurs
- 2 géophones placés de chaque côté de la fissure sous la bande de roulement

Capteur d'écartement de fissure

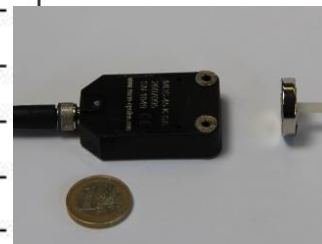
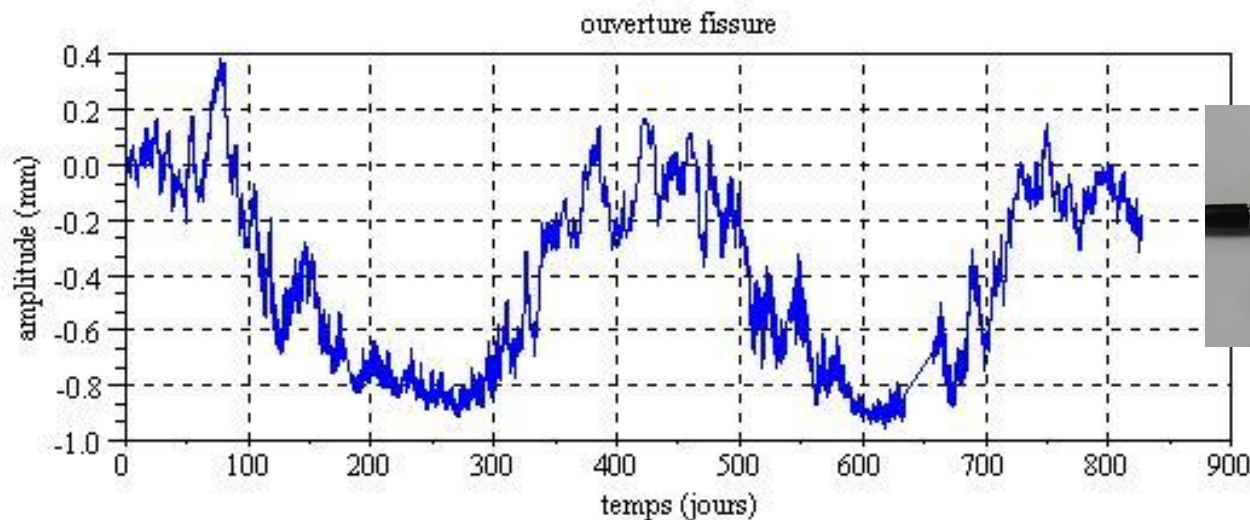
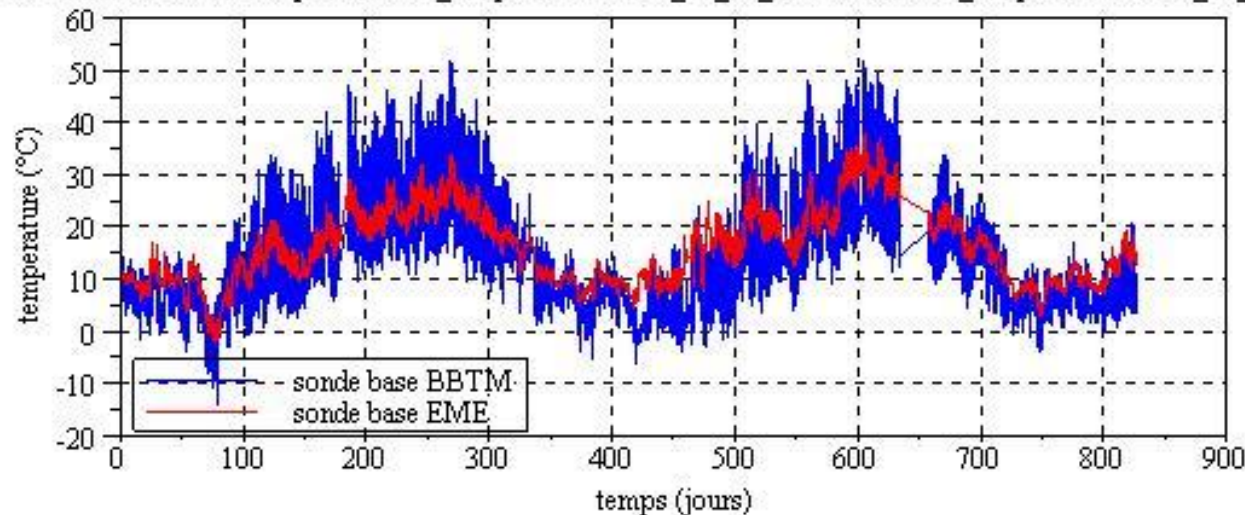
Trait de scie pour amorce de la fissuration



Géophones

EXEMPLE DE RÉSULTATS DE NOVEMBRE 2011 À FÉVRIER 2014

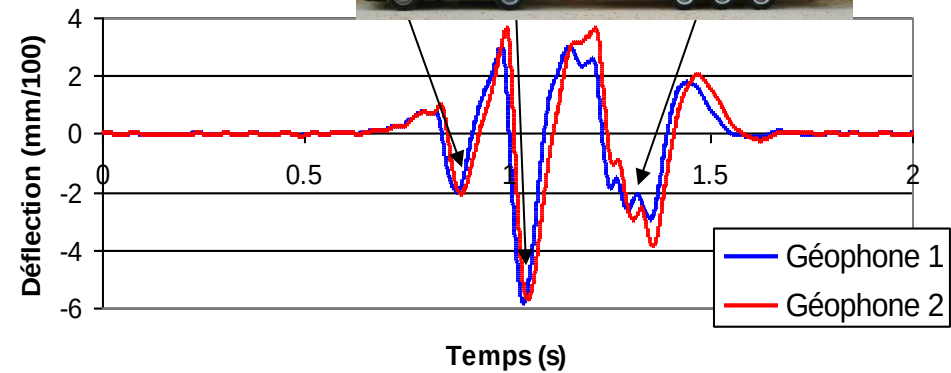
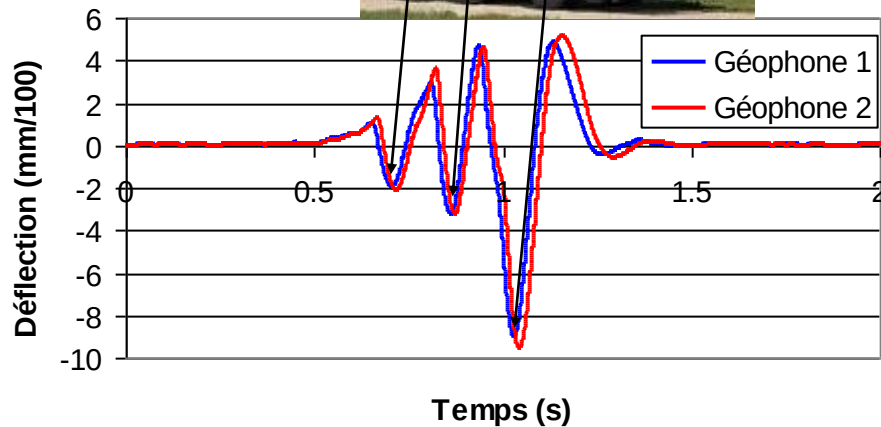
mesures lentes sur A10 depuis fichiers_temp\P2011-11-24_14_06_17.csv a fichiers_temp\P2014-02-27_14_32_39.csv



Suivi des variations saisonnières

EXEMPLE DE RÉSULTATS : GÉOPHONES

Intégration des mesures des géophones → déflexion approchée sous différentes silhouettes de poids-lourds



Géophone

→ Possibilité de suivre les charges

CONCLUSION

L'instrumentation de la section permet de suivre :

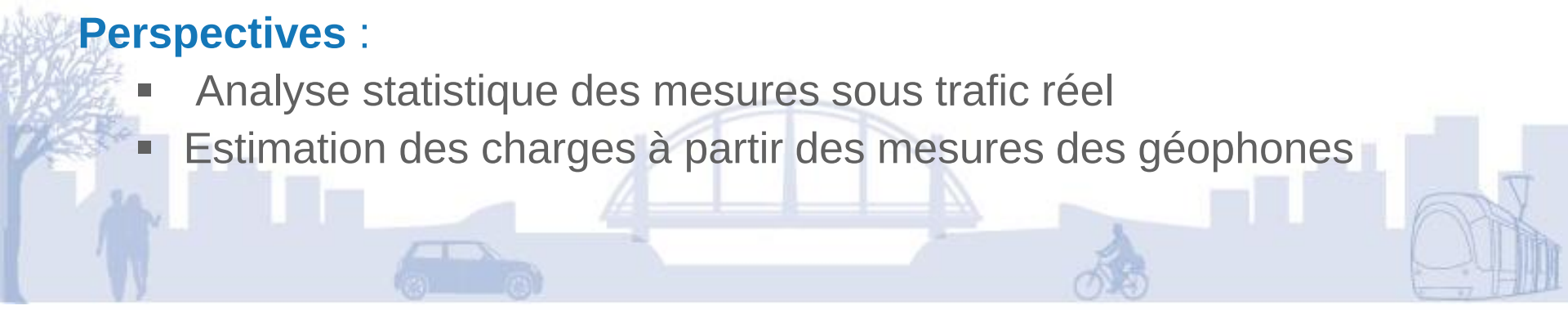
- Les déformations dans chaque couche, les déplacements verticaux
- Les températures
- L'ouverture de fissure

Avantages :

- Très bon suivi dans le temps - mesures continues sous trafic.
- Informations détaillées : déformations à différents niveaux, ouverture de fissures
- Système d'acquisition à distance performant

Perspectives :

- Analyse statistique des mesures sous trafic réel
- Estimation des charges à partir des mesures des géophones



**Peut-on détecter de l'endommagement
dans une chaussée avant l'apparition
des fissures en surface ?**



IFSTTAR

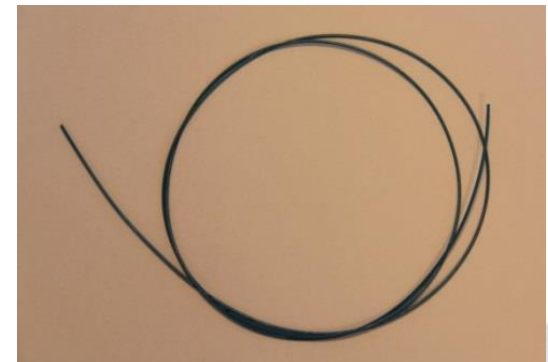
INSTRUMENTATION DE CHAUSSÉE PAR FIBRES OPTIQUES CONTINUES



Fibres optiques continues

Mesure continue de déformation sur toute la fibre

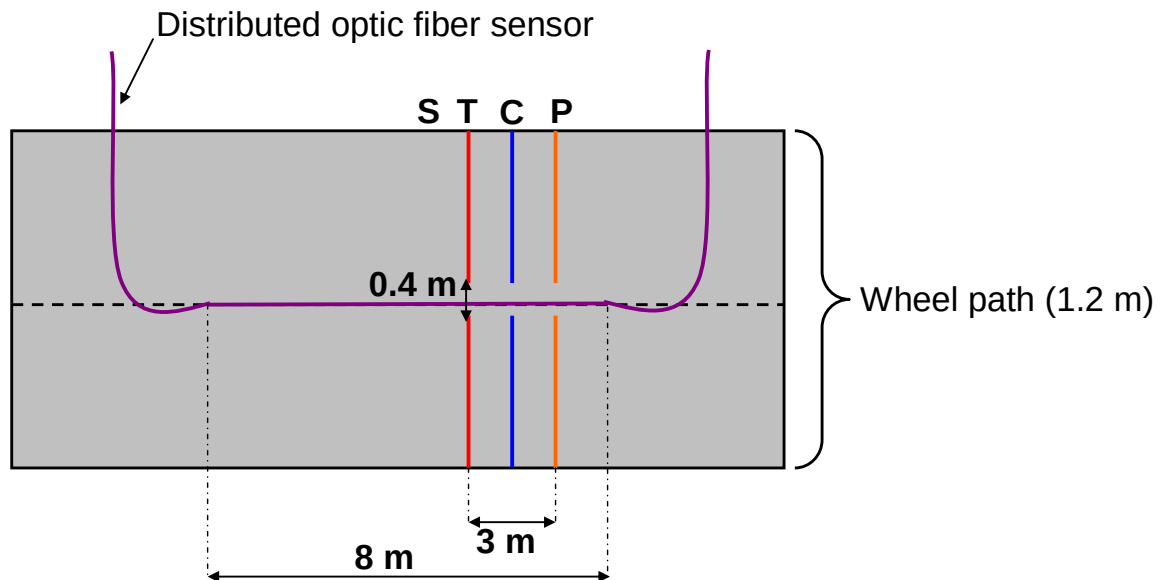
- Sur une distance allant jusqu'à 70 m ou 2 km (selon la résolution)
- Durée d'acquisition : 1 à 10 secondes pour une mesure → **mesure statique**
- Faible coût de la fibre



INSTRUMENTATION DE CHAUSSEE PAR FIBRES OPTIQUES CONTINUES

Structure testée

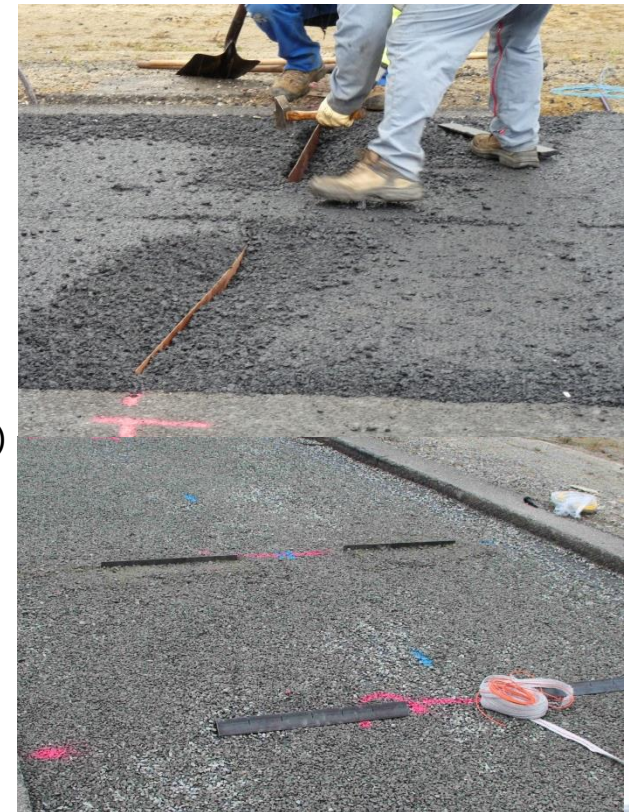
- 8 cm d'EME
- 30 cm de GNT (210 MPa)
- 2 m de sol (95 MPa)



P : flat steel bar (up)
C : triangle steel bar (down)
T : T shaped steel bar (down)

Defects

Réalisation de défauts pour favoriser l'endommagement

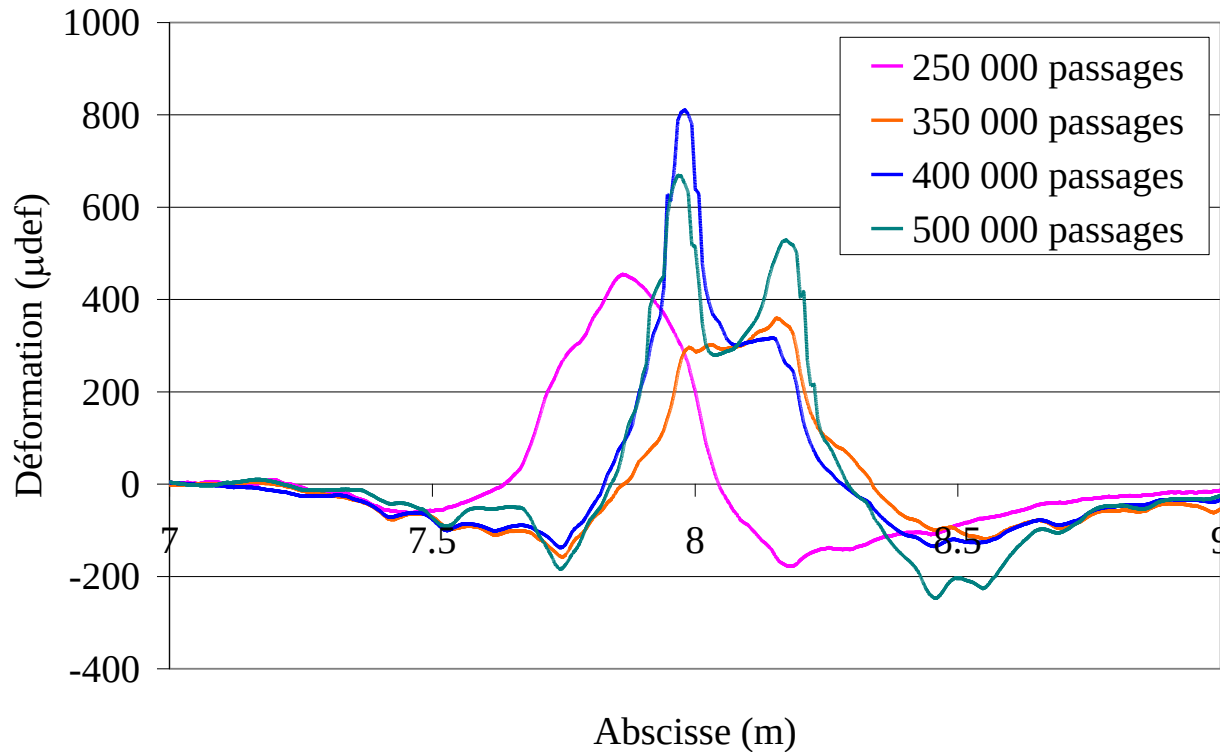


INSTALLATION DES FIBRES OPTIQUES CONTINUES



RÉSULTATS DES MESURES

Déformation mesurées sous charge statique



Evolution importante
de la forme du signal

Détection de la
fissuration avant son
apparition en surface



Mesures de déformations par fibres optiques dans les couches de surface



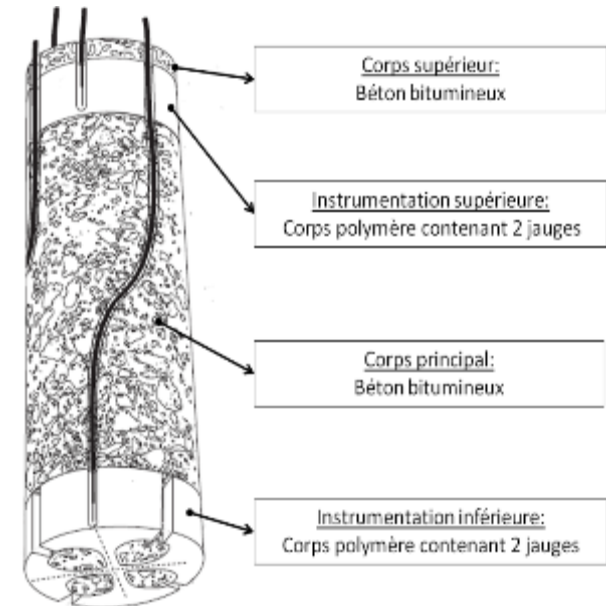
IFSTTAR

CAPTEURS À FIBRES OPTIQUES DÉVELOPPÉS À L'UNIVERSITÉ LAVAL

Capteurs conçus pour la mesure des champs de déformations dans les couches supérieures de chaussées (évaluation de l'agressivité des charges)

▪ Carotte instrumentée:

La carotte est prélevée sur place,
instrumentée puis scellée sur site à la résine
2 jauges en partie supérieure
2 jauges en partie inférieure



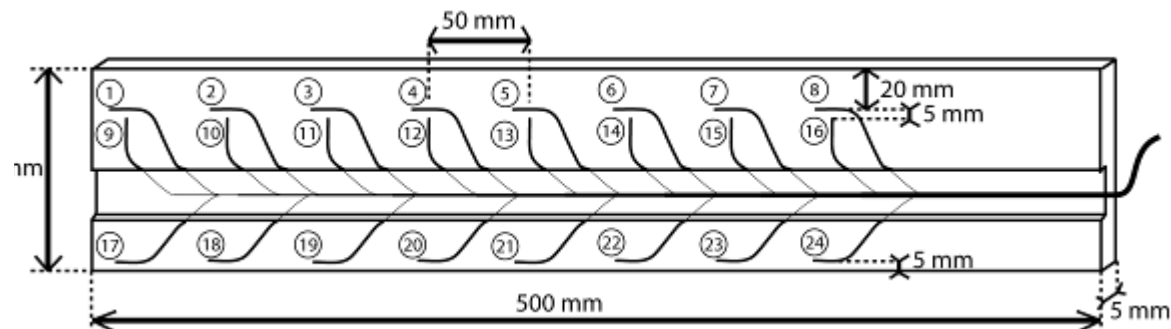
▪ Plaque instrumentée:

Épaisseur 5 mm

6 à 8 jauges horizontales en partie
supérieure et inférieure

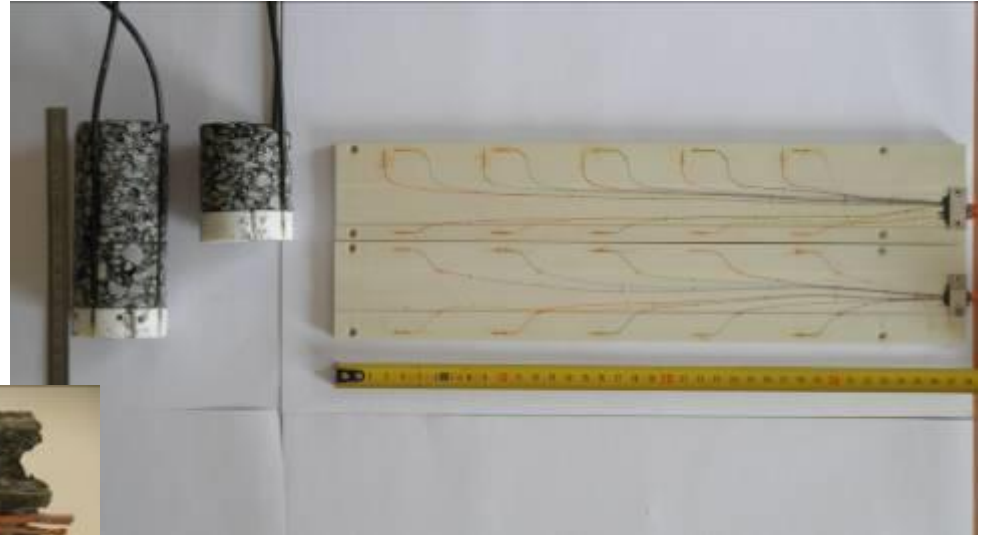
6 à 8 jauges verticales

Mise en place dans un trait
de scie, scellée à la résine



CAPTEURS À FIBRES OPTIQUES DÉVELOPPÉS À L'UNIVERSITÉ LAVAL

Vue des carottes et
plaques instrumentées

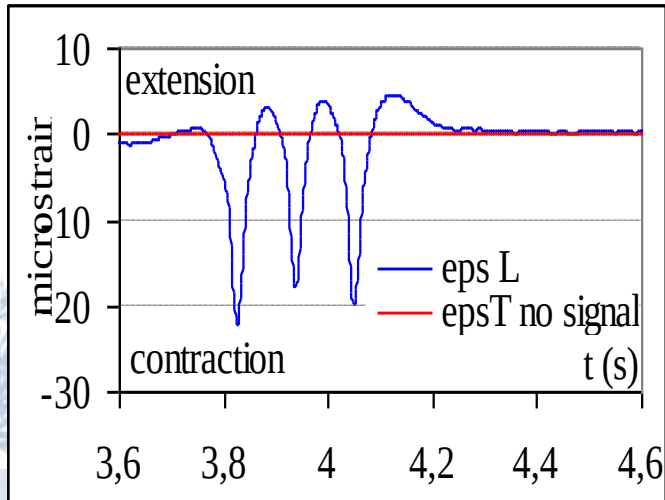
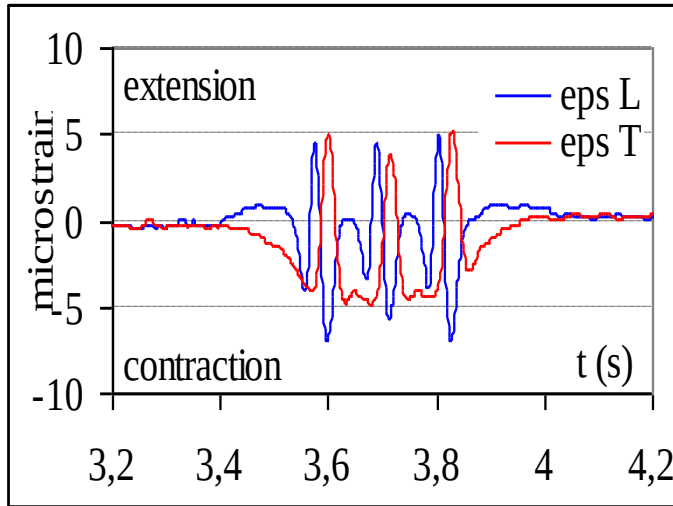


Plaque extraite
de la chaussée
en fin d'expérience

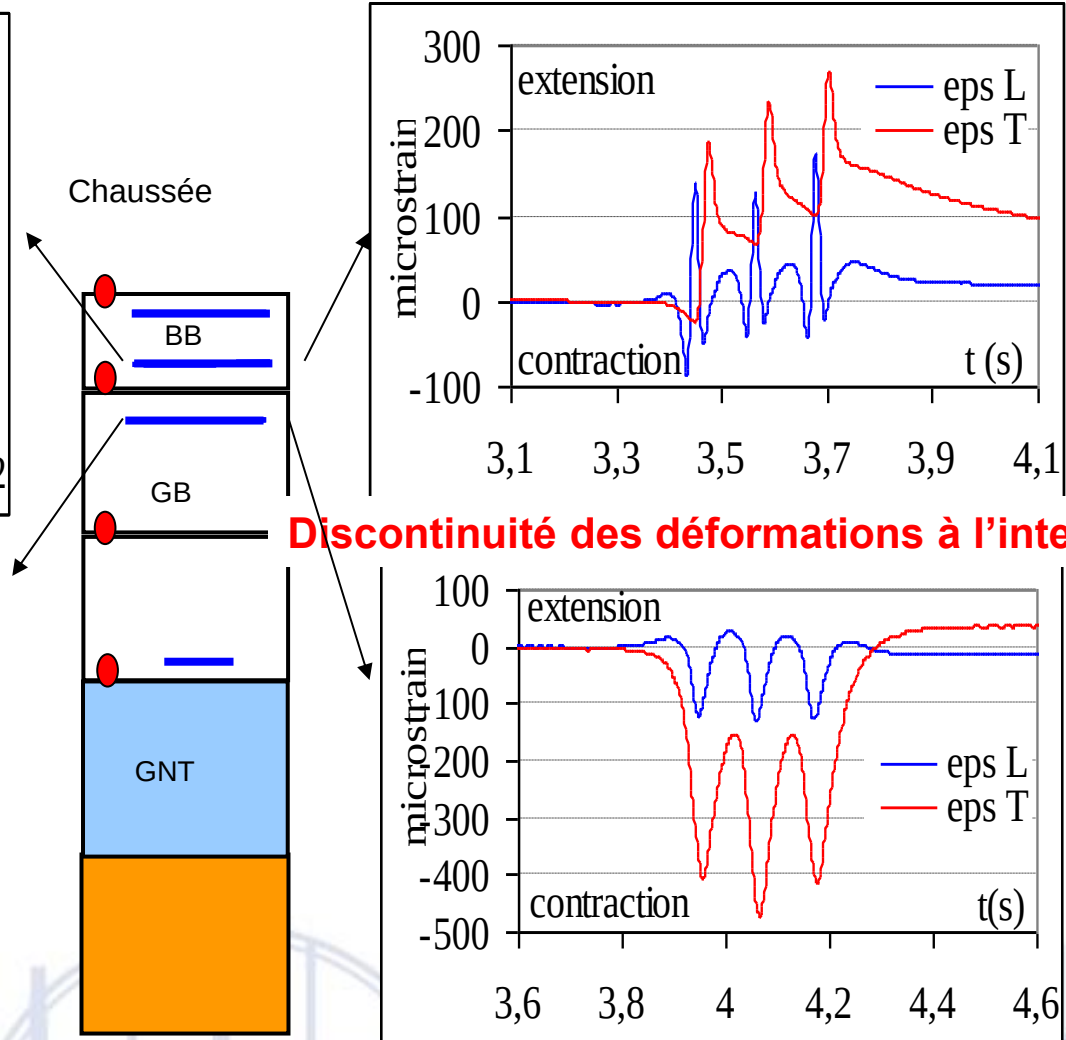


Exemple de mesures

Déformations longitudinales et transversales au passage d'un tridem



θ interface $\sim 22^{\circ} \text{ C}$



Discontinuité des déformations à l'interface

θ Interface $\sim 42^{\circ} \text{ C}$

Merci pour votre attention

1978-2013

Un parcours d'expériences inédites

