



HAL
open science

Pantographe instrumenté de capteurs à fibres optiques à réseaux de Bragg

Laurent Maurin, Pierre Ferdinand, Guillaume Laffont, Nicolas Roussel,
Jonathan Boussoir, Laureline Auger, Stéphane Rougeault

► To cite this version:

Laurent Maurin, Pierre Ferdinand, Guillaume Laffont, Nicolas Roussel, Jonathan Boussoir, et al..
Pantographe instrumenté de capteurs à fibres optiques à réseaux de Bragg. Chemins de fer, 2007, 505.
cea-04102415

HAL Id: cea-04102415

<https://cea.hal.science/cea-04102415>

Submitted on 22 May 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Pantographe instrumenté de capteurs à fibres optiques à réseaux de Bragg

Laurent MAURIN, Pierre FERDINAND, Guillaume LAFFONT, Nicolas ROUSSEL,
Jonathan BOUSSOIR, Laureline AUGER, Stéphane ROUGEAULT
CEA, LIST, Laboratoire de Mesures Optiques
Boîte courrier 94
Gif-sur-Yvette cedex, F-91191, France.
Contacts : laurent.maurin@cea.fr – pierre.ferdinand@cea.fr

Courant mars 2005, la SNCF-AEF (Agence d'Essai Ferroviaire de Vitry-sur-Seine) en collaboration avec le CEA LIST, a procédé à des essais en ligne visant à qualifier un pantographe instrumenté de Capteurs à Fibres Optiques à réseaux de Bragg pour la mesure des efforts avec la ligne de contact électrique [1, 2].

Ces essais furent l'aboutissement de 3 ans de travaux dans le cadre du projet européen SMITS (*Smart Monitoring In Train Systems*) auquel ont participé les sociétés Siemens [D], Morganite [GB], BLS [CH], la SNCF [F] et les deux laboratoires de recherches : IPHT [D] et le CEA [F].

Les réseaux de Bragg en tant que transducteurs

Les réseaux de Bragg sont en fait des composants très largement utilisés dans les télécoms en tant que composants DWDM¹, mais ils s'utilisent aussi en tant que transducteurs [3] dans le génie civil ou les matériaux composites par exemple, compte tenu de la sensibilité de leur longueur d'onde caractéristique λ_B aux paramètres extérieurs que sont la température T , les déformations mécaniques longitudinales ε , et la pression hydrostatique environnante P selon une relation qui s'écrit :

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = a \frac{\Delta T}{T} + b \Delta\varepsilon + c \frac{\Delta P}{P}$$

$$\text{avec pour une fibre librement tendue entre 2 points : } \begin{cases} a \approx 2.3 \times 10^{-3} \\ b \approx 0.78 \\ c \approx -2.94 \times 10^{-6} \end{cases}$$

Dans les applications les plus courantes, la sensibilité en pression hydrostatique P peut être négligée ; les réseaux de Bragg ne sont alors plus sensibles qu'aux variations de déformations mécaniques longitudinales $\Delta\varepsilon$ et aux variations de température ΔT ; il suffit alors de 2 réseaux de Bragg pour séparer les informations de déformations mécaniques longitudinales ε et de température T .

¹ DWDM : Dense Wavelength Division Multiplexing

Utilisation des réseaux de Bragg pour la mesure des efforts de contact entre le pantographe et la ligne de contact

Du fait de leur isolation galvanique intrinsèque, les fibres optiques, et en particulier celles à réseaux de Bragg, apparaissent comme des candidates idéales pour effectuer des mesures au potentiel du fil de contact à 25 kV.

Ainsi, en considérant chacune des bandes de carbone constituant l'archet du pantographe CX25 du TGV comme une barre en flexion 3 points, il est possible, en mesurant la déformation de chacune des bandes, d'en déduire des efforts de contact, et la position du point d'application du fil.

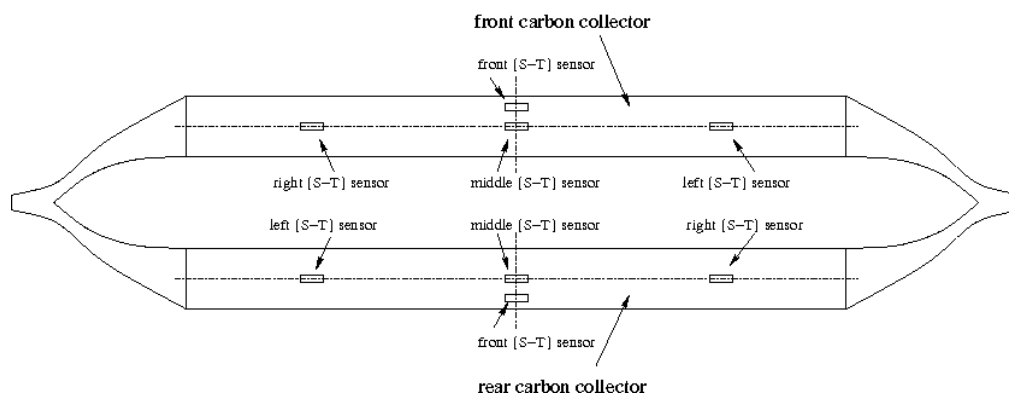


Figure 1: Position des Capteurs à Fibres Optiques à réseaux de Bragg mis en place sur l'archet du pantographe CX25 du TGV – Projet SMITS

Chacune des bandes de l'archet est ainsi équipée de 2 lignes de 2 capteurs {S-T} de déformations {S} et de température {T}, soit un total de 4 lignes de mesure.

La mesure consiste à interroger simultanément et à grande cadence chacune de ces lignes, de façon à suivre au cours du temps chacune des longueurs d'onde λ_B des réseaux de Bragg.

Ordres de grandeur et système de mesure – Intégration dans la boucle de mesure de la SNCF-AEF

Compte tenu de la rigidité des bandes de l'archet, et des efforts de contact entre celui-ci et la ligne de contact (typiquement, de l'ordre de 100 N, cette valeur dépendant de la vitesse du train, et d'autant plus grande qu'il roule vite), les déformations subies par celui-ci sont très faibles (de l'ordre de 100 $\mu\text{m}/\text{m}$), ce qui requiert de mettre en place un système de mesure très résolvant.

Dans cette optique, le CEA LIST a mis au point un système de mesure à base de laser en anneau [4, 5, 6], capable de réaliser des mesures à une cadence de 500 Hz avec une précision spectrale meilleure que le picomètre, permettant de résoudre des efforts verticaux dans la limite de 1 N, ou encore d'observer des variations de température plus petites que 0,1°C.

La position du fil de contact sur la bande de carbone, la force verticale de contact, et la température mesurées par chacun des capteurs et calculées en temps réel par le système de mesure du CEA LIST à partir des mesures de longueurs d'onde des réseaux de Bragg, ont été

fournies en temps réel sur sorties analogiques 0-10 V au système de référence de la SNCF-AEF pour des mesures comparatives.

Quelques résultats obtenus lors des essais en ligne à bord d'un TGV Duplex entre Paris et Vendôme

Les essais se sont réalisés à bord d'un TGV Duplex entre Paris et Vendôme pendant une semaine complète courant mars 2005. Un pantographe CX25 a de fait été instrumenté, le cheminement des câbles optiques se faisant depuis le toit de la motrice jusque dans la voiture de tête où était installé le laboratoire de mesures (figures 2 et 3).



Figure 2: à droite, pantographe CX25 d'un TGV Duplex équipé de lignes de Capteurs à Fibres Optiques à réseaux de Bragg – Projet SMITS



Figure 3: à gauche : moniteur de contrôle et système de mesure de la SNCF-AEF – à droite : système de mesure du CEA LIST (partie optoélectronique seule) – Projet SMITS

Le système de mesure du CEA LIST (figure 4) était quant à lui configuré de telle façon à ce que la partie optoélectronique de mesure des longueurs d'onde agisse en tant que "boite

noire", les longueurs d'onde étant envoyées par réseau Ethernet depuis ce système vers un PC de supervision dont le rôle était à la fois d'afficher en temps réel et sous forme graphique les valeurs calculées, mais aussi de générer les grandeurs physiques pour le système de mesure de la SNCF-AEF.

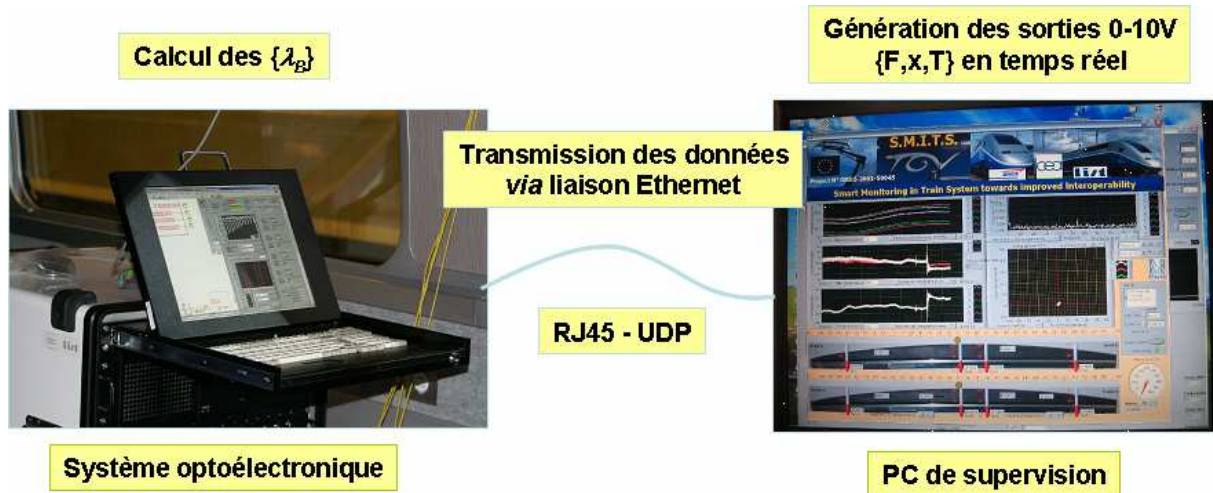


Figure 4: Système de mesure mis au point par le CEA LIST pour le contrôle de la position x du fil de contact, des températures T dans les bandes, et de la force de contact F du pantographe – Projet SMITS

Ces essais ont permis d'obtenir, parmi les résultats les plus démonstratifs, des mesures de température très précises, permettant par exemple d'obtenir les valeurs des gradients au sein des bandes de contact, confirmant leur valeur importante pouvant atteindre 160 °C/m (figure 5).

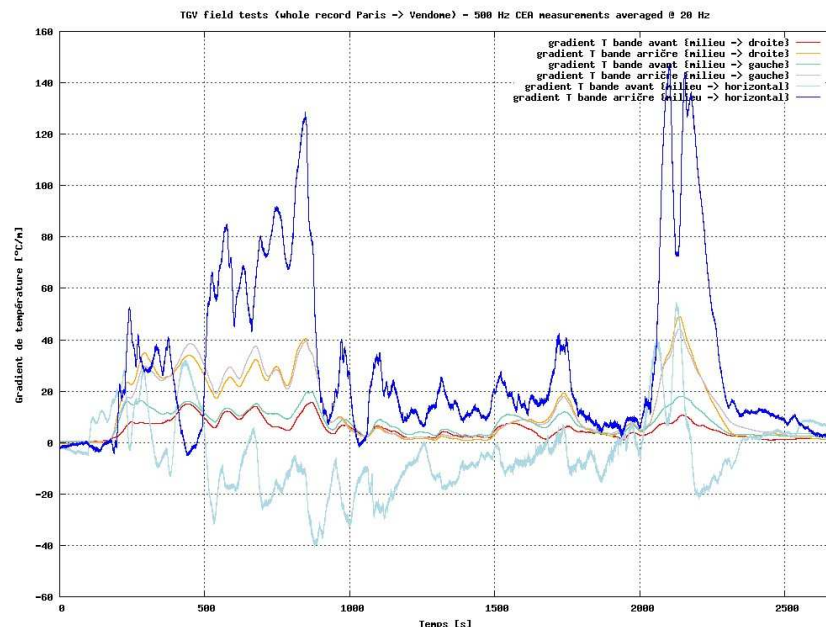


Figure 5: Résultats des mesures de gradients de température au sein des bandes de frottement du pantographe CX25 équipant un TGV Duplex pendant un trajet Paris-Vendôme – Projet SMITS

Les mesures des efforts de contact mettent en évidence le zigzag du fil sur la bande de contact dont la fréquence correspond aux intervalles entre pylônes le long du trajet (figure 6).

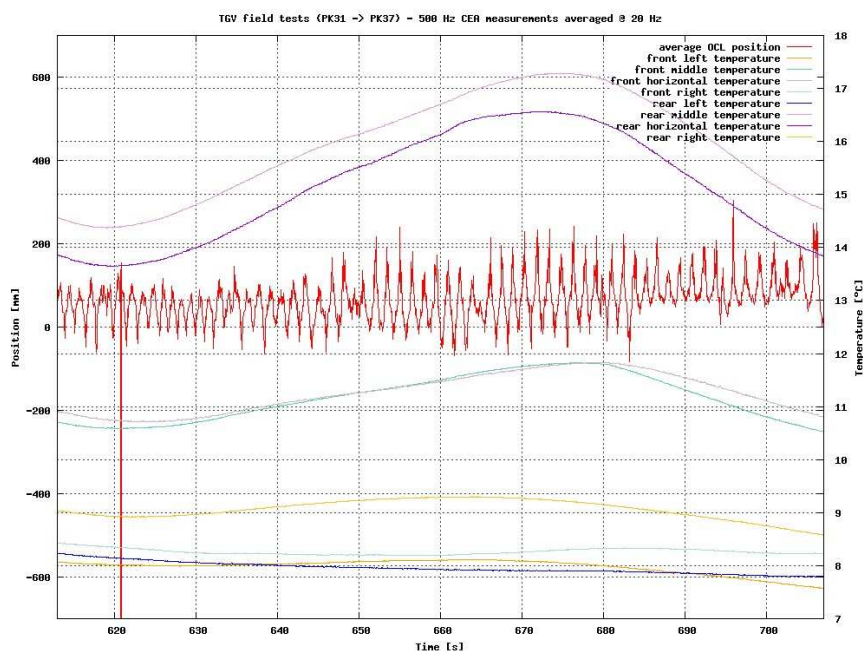


Figure 6: Résultats des mesures de la position de la ligne de contact sur les bandes de frottement du pantographe CX25 équipant un TGV Duplex pendant un trajet Paris-Vendôme – Projet SMITS

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble du personnel de la SNCF-AEF pour leur support à la préparation et à la réalisation des essais durant toute la durée du projet SMITS et pendant la réalisation des essais TGV, en particulier M. Yves Lebeau, M. Sylvain Gabot, M. Lionel Maudry et M. Gérard Auditeau, ainsi que l'Union Européenne pour le soutien financier apporté au projet.

Références bibliographiques

1. Ferdinand Pierre et Maurin Laurent, "Surveillance par fibre optique à 300 km/h – Les réseaux de Bragg donnent leur pleine mesure", CEA Technologies n° 78, novembre 2005, <http://www.cea-technologies.com/article/article.php?article=479>
2. Maurin Laurent, Ferdinand Pierre, Laffont Guillaume, Roussel Nicolas, Bousoir Jonathan et Auger Laureline, "High speed real-time contact measurements between a smart train pantograph with embedded Fibre Bragg Grating sensors and its Overhead Contact Line", 6th International Workshop on Structural Health Monitoring, Sept. 11-13, 2007, Stanford University, CA USA
3. Ferdinand Pierre, "Capteurs à fibres optiques à réseaux de Bragg", Techniques de l'Ingénieur, Volume "Mesures et Contrôle", fascicule R 6 735, décembre 1999

4. Laffont Guillaume, Roussel Nicolas, Maurin Laurent, Boussoir Jonathan, Clogenson Brendan, Auger Laureline, Magne Sylvain et Ferdinand Pierre, "*Wavelength tunable fiber ring laser for high-speed interrogation of fiber Bragg grating sensors*", 17th International Conference on Fibre Optical Sensors, May 23-27, 2005, Bruges, Belgium
5. Martinez Christophe, Magne Sylvain et Ferdinand Pierre, "*Dispositif d'analyse de spectre optique*", brevet WO 03/083417, 3 avril 2002
6. Martinez Christophe, Magne Sylvain et Ferdinand Pierre, "*Dispositif de filtrage optique*", brevet WO 03/083527, 3 avril 2002