

---

# Suivi du comportement thermo-mécanique d'une voie ferroviaire sur dalles en béton

Xavier Chapeleau<sup>1</sup>, Alexandre Brisson<sup>2</sup>, Louis-Marie Cottineau<sup>1</sup>,  
Thierry Sedran<sup>1</sup>, Séverine Kolodziejki<sup>2</sup>, Caroline Masson<sup>3</sup>,  
Joël Cailliau<sup>4</sup>

1. LUNAM Université, IFSTTAR, Route de Bouaye, 44340 Bouguenais, France  
{xavier.chapeleau, louis-marie.cottineau, thierry.sedran}@ifsttar.fr
2. CEF – Railway Testing Center, rue Fresnel, 59494 Petite-Forêt, France  
{alexandre.brisson, severine.kolodziejki}@c-e-f.fr
3. ALSTOM transport, rue Albert Dhalenne, 93482 Saint-Ouen, France  
caroline.masson@transport.alstom.com
4. RAILTECH International, ZI du Bas Pré, 59590 Raismes, France

---

**RÉSUMÉ.** En 2013, une structure de voie ferroviaire innovante a été construite en France. Il s'agit d'une voie sur dalles en béton (appelée voie New Ballastless Track) qui a été mise en service en décembre 2013. Plusieurs sections de cette voie ont été instrumentées. Les données collectées quotidiennement sont traitées et comparées aux résultats de simulations numériques par éléments finis. L'analyse des résultats a ainsi permis de valider le modèle numérique qui a servi à la conception de la voie expérimentale. Une des particularités de ce modèle est de prendre en compte les effets de gradients thermiques de la dalle de voie sur le comportement mécanique de la structure NBT. Dans cet article, nous présentons l'instrumentation qui a été utilisée pour mettre en évidence ces gradients thermiques et suivre leurs effets sur le comportement mécanique de la structure NBT.

**ABSTRACT.** At the beginning of 2013, a new ballastless track structure (designed and tested in laboratory) based on concrete slabs was built in France. Since December 2013, several trains circulate every day and a monitoring of some sections of the structure is performed continuously. Data collected are compared to the results of finite element simulations used to design the structure in order to verify that the experimental structure can be operated safely. In this paper, a focus is made on the mechanical behavior of the track slabs with thermal gradients.

**MOTS-CLÉS :** instrumentation, voie ferroviaire sur dalles béton, gradient thermique.

**KEYWORDS:** instrumentation, ballastless track structure, thermal gradient.

---

DOI:10.3166/I2M.15.1-2.37-51 © Lavoisier 2016

## 1. Introduction

Aujourd'hui, en Europe, la majorité des lignes ferroviaires à grande vitesse sont des voies ballastées. Cependant, avec l'augmentation du trafic et des vitesses des trains, ce type de voie nécessite des opérations de maintenance de plus en plus fréquentes. Par conséquent, cela conduit à augmenter les coûts de maintenance et les coûts d'exploitation. Pour les réduire, les voies ferroviaires sur dalles béton constituent des alternatives intéressantes aux voies ballastées. En effet, elles nécessitent peu d'entretien (pas de bourrage du ballast par exemple) ce qui garantit une grande disponibilité des voies avec des coûts de maintenance et d'exploitation faibles. De plus, dans le cas de la solution NBT, les dalles sont construites très rapidement puisque les dalles béton sont coulées sur place de façon automatisée par une machine à coffrage glissant. C'est pourquoi, elles font, aujourd'hui, l'objet d'un intérêt croissant.

Un état de l'art (Alstom, 2007) réalisé en 2007 a montré qu'il n'existait pas de solution « française » de voie ferroviaire sur dalles béton reconnue à l'international. Ce marché est effectivement dominé par des solutions étrangères (Esveld, 2001) soit en dalles préfabriquées (système japonais J-Slab ou allemand Max Bögl) soit en dalles coulées en place (système allemand Rheda). Dans ce contexte, une nouvelle structure a été conçue dans le cadre d'un projet FUI (n° 072 906 053). Le cahier des charges de cette nouvelle structure imposait notamment de garantir une durée de vie théorique de 100 ans et d'offrir une grande disponibilité pour le trafic mixte (LGV : 360 km/h et fret : 25 T/essieu). La solution devait en plus accepter des dévers et être utilisable en ligne courante et avec appareils de voie tout en ayant une emprise au sol réduite. Par ailleurs, excepté la maintenance des équipements de voie (similaire à celle des voies ballastées), la structure ne devait pas nécessiter de maintenance corrective et en cas de dommage structurel localisé, la réparation devait être possible et rapide.

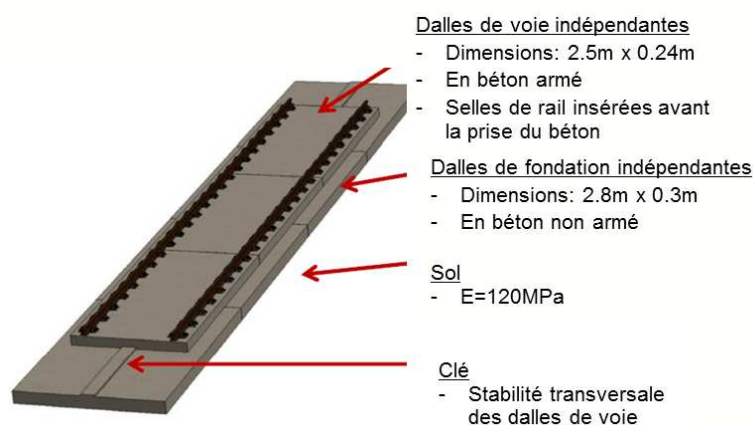


Figure 1. Schéma de principe de la voie ferroviaire sur dalles en béton conçue dans le cadre du projet FUI NBT

A partir des savoir-faire et compétences des différents partenaires du projet (ALSTOM, Railtech, Vossloh Cogifer, RFF, CEF et l'IFSTTAR) et en s'appuyant sur des études paramétriques par éléments finis (prenant en compte le comportement à la fatigue du béton et le couplage entre les chargements mécaniques et les gradients thermiques), la solution qui a été retenue est celle présentée sur la figure 1. Elle est constituée de 2 couches de dalles béton : des dalles de voie indépendantes en béton armé (2,5 m x 0,24 m) et des dalles de fondation indépendantes et non armées (2,8 m x 0,30 m). En partie supérieure des dalles de fondation, une clé assure la stabilité transversale des dalles de voie. Les deux types de dalles sont fabriqués par coffrage glissant et les systèmes d'attache maintenant les rails sont insérés automatiquement dans la dalle de béton fraîchement coulée selon une méthode conçue par Alstom: Appitrack (cf. Figure 3).

## 2. Description du comportement mécanique de la structure sous l'effet de gradient thermique

Le comportement mécanique de la structure dépend des conditions météorologiques. En effet, comme le montre la figure 2, les courbures des dalles de voie sont liées aux gradients thermiques qui y apparaissent. Deux types de gradients thermiques peuvent se produire :

- un gradient positif ; lorsque la température de la surface supérieure de la dalle de voie est supérieure à la température de la surface inférieure de la dalle de voie ;
- un gradient négatif ; lorsque la température de la surface supérieure de la dalle de voie est inférieure à la température de la surface inférieure de la dalle de voie.

Pour un gradient thermique négatif, la surface de la dalle de voie se rétracte en surface provoquant le soulèvement de ses extrémités. Pour un gradient thermique positif, la surface de la dalle se dilate et ses extrémités sont alors posées sur la dalle de fondation.

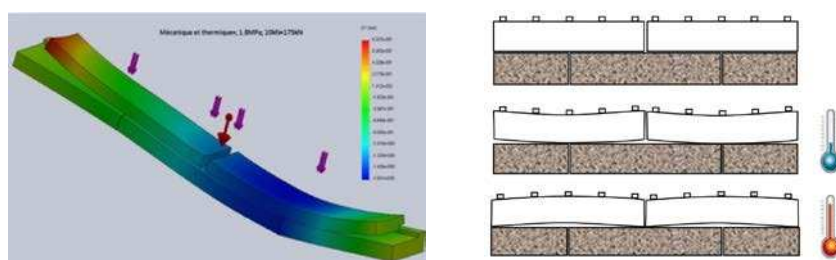


Figure 2. Simulation numérique du comportement thermo-mécanique de la structure et représentation des courbures des dalles de voie pour des gradients thermiques positifs et négatifs

Selon la valeur du gradient thermique, les courbures de la dalle de voies changent perpétuellement au gré des variations météorologiques. Les conditions de contact entre les deux couches de dalles évoluent donc également. Cela a un impact important sur le dimensionnement de la structure. Lors de sa modélisation, ce phénomène a été pris en compte afin de garantir une durée de vie d'au moins 100 ans. Afin de valider la modélisation du comportement thermo-mécanique de la structure, une maquette à échelle 1 (longueur : 10 m) a été construite en laboratoire et soumise à un essai de fatigue sous plusieurs chargements mécaniques avec différents gradients thermiques. Les résultats de l'essai (Sedran *et al.*, 2014 ; Corbisez *et al.*, 2014) sont en bon accord avec les simulations numériques et ont permis de valider la conception.



*Figure 3. Voie expérimentale NBT. Photo du haut : la machine à coffrage glissant (à gauche sur la photo) et la machine Appitrack d'insertion des selles (à droite sur la photo). Photos du bas : la voie NBT en service*

Suite à cet essai, une portion d'une voie ferroviaire exploitée par la SNCF a été reconstruite en 2013 avec la structure sur dalles béton conçue dans le cadre du projet NBT. Longue d'un kilomètre, elle dispose de deux voies de circulation sur lesquelles roulent 4 trains (TER) par jour depuis le début de 2014 (figure 3). Lors de sa construction par coffrage glissant (figure 3), plusieurs sections de la structure

NBT (appareil de voie, voie courante, zone de transition) ont été instrumentées d'une part pour vérifier le comportement mécanique de la structure en conditions réelles de trafic et, d'autre part, pour essayer de détecter des défauts ou anomalies de construction. Ainsi, plus de 130 capteurs (thermocouples, capteurs de déplacement, de déformation, etc.) ont été déployés pour surveiller en continu la voie expérimentale NBT.

La suite de cet article s'intéresse plus particulièrement à l'instrumentation qui a été utilisée pour suivre le comportement thermo-mécanique des dalles de voies (c'est-à-dire leur courbure). L'instrumentation y est tout d'abord décrite, puis les mesures obtenues pendant environ un an de surveillance (de fin 2013 à fin 2014) sont présentées et discutées.

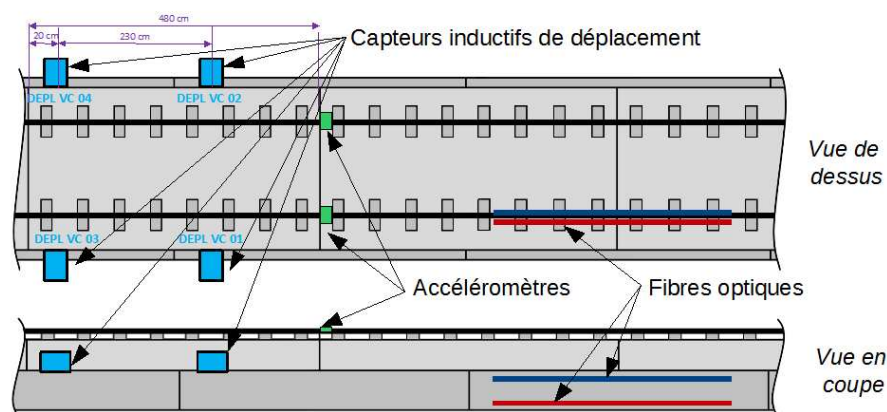


Figure 4. Plan d'instrumentation

### 3. Instrumentation d'une section de la voie ferroviaire sur dalles béton pour la mise en évidence des effets gradients thermiques sur le comportement mécanique de la structure

#### 3.1. Description de l'instrumentation

L'objectif de l'instrumentation était de valider les hypothèses de gradients thermiques prises lors du dimensionnement et de vérifier la corrélation entre les gradients thermiques et les courbures des dalles de voie. Pour cela, plusieurs types de capteurs ont été utilisés. Pour mesurer les gradients thermiques sous le rail et dans l'axe longitudinal de la structure, des thermocouples ont été placés à différentes profondeurs dans les dalles de voie et de fondation. Pour mesurer les déplacements relatifs entre les dalles de voie et les dalles de fondation, des capteurs de déplacement linéaire ont été positionnés à l'extrémité et au milieu d'une dalle de voie (figure 4). Cette instrumentation a été réalisée par le Centre d'essai ferroviaire.

En complément, l'IFSTTAR a installé deux accéléromètres sous les rails à l'extrémité d'une dalle de voie. Contrairement aux capteurs de déplacement, les accéléromètres permettent de mesurer la déflexion de l'ensemble de la structure (lorsque les dalles de fondation et de voie sont entièrement en contact) au passage d'un train. Enfin, des fibres optiques ont également été incorporées dans les parties inférieure et supérieure de la dalle de fondation pour obtenir des mesures réparties de déformation.

### 3.2. Acquisition des données

Les acquisitions des signaux provenant des accéléromètres, des capteurs de déplacement et des thermocouples sont effectuées automatiquement avec 3 systèmes de mesures indépendants. Les mesures de température et de déplacements sont enregistrées en continu (une mesure toutes les 15 minutes). Depuis le début de 2014, les données sont envoyées à chaque jour sur un serveur web afin d'y être stockées et analysées. Les mesures des accéléromètres sont collectées via un système de mesure piloté par un nano ordinateur. Il s'agit de la carte Pégase (développé par l'IFSTTAR) qui permet notamment la datation des données acquises à quelques  $\mu$ s (Le Cam *et al.*, 2008). L'acquisition de ces données se fait sur seuil ; c'est-à-dire à chaque passage d'un train.

En ce qui concerne l'interrogation des fibres optiques, un système de mesure répartie de déformations est utilisé. Il s'agit d'un appareil commercial dont le principe de mesure repose sur l'exploitation du signal optique « Rayleigh » qui est rétrodiffusé le long d'une fibre optique (Chapeleau *et al.*, 2013). Ce type d'équipement permet d'obtenir un profil de déformation avec une résolution spatiale de quelques millimètres. Il s'agit d'une mesure relative : deux mesures du signal optique « Rayleigh » sont nécessaires, la première servant de référence. Le système de mesure permet donc d'obtenir la variation des déformations entre les deux mesures du signal optique « Rayleigh ». Avec une portée de mesure de 70 m, cette technologie de mesure répartie par fibre optique est particulièrement intéressante pour instrumenter des structures d'assez grandes dimensions du génie civil.

Elle a déjà été testée avec succès pour la détection de dommages dans les composites stratifiés (Güemes *et al.*, 2010), pour la détection de fissures dans le béton (Henault *et al.*, 2010) et pour les mesures de déformations de pales d'éolienne (Kaplan *et al.*, 2011). Toutefois, elle ne permet pas (jusqu'à présent) de faire des mesures dynamiques car le temps d'acquisition des signaux optiques est de plusieurs secondes. Néanmoins, en considérant que le comportement thermo-mécanique d'une structure comme celle de la voie ferroviaire sur dalle béton évolue de manière quasi-statique en l'absence de passage de train, il est possible d'utiliser cette technologie de mesure répartie de déformations en faisant plusieurs mesures par jour. Cette opération est réalisée périodiquement (deux ou trois fois par an) afin de détecter des évolutions significatives du comportement thermo-mécanique de la structure qui pourraient résulter de l'apparition de fissures dans la dalle de fondation de la voie

ferroviaire entre deux campagnes de mesures successives (suivi d'une dalle de fondation uniquement).

## 4. Résultats et discussions

### 4.1. Mesures des gradients thermiques

La voie expérimentale NBT est soumise chaque jour aux variations météorologiques (température, ensoleillement). Ces variations induisent des gradients thermiques pouvant être assez importants dans la dalle de voie. Pour les mesurer, un « tuteur » de thermocouples a été inséré dans la structure. Les thermocouples sont espacés de 50 mm. La figure 5 présente les mesures de températures obtenues au cours d'une journée. Elles mettent clairement en évidence que la voie NBT subit quotidiennement des cycles thermiques alternant des gradients thermiques négatifs et positifs. Un relevé sur plusieurs mois montre que leurs amplitudes varient avec les saisons. C'est du début du printemps jusqu'à la mi-automne qu'ils sont les plus importants. Pendant cette période ils varient dans une plage comprise entre  $-0,3\text{ °C/cm}$  et  $+0,7\text{ °C/cm}$  (tableau 1). On vérifie ainsi que les valeurs de gradients sont bien comprises dans les limites ( $-0,4\text{ °C/cm}$  et  $+0,8\text{ °C/cm}$ ) prises en compte pour le dimensionnement de la structure de la dalle de voie NBT.

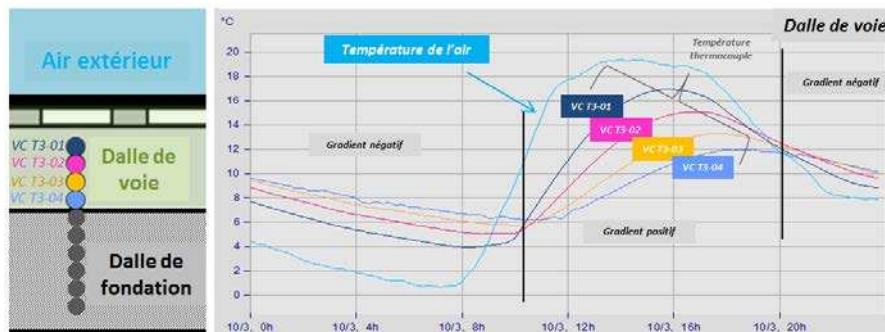


Figure 5. Variations des gradients thermiques au cours d'une journée

Le tableau 1 indique également les valeurs maximales des gradients thermiques positifs et négatifs mesurées dans la dalle de fondation. Ils varient entre  $-0,15\text{ °C/cm}$  à  $+0,25\text{ °C/cm}$ . Lors de la conception de la structure NBT, il avait été supposé que les gradients thermiques étaient nuls dans la dalle de fondation. Les mesures montrent que cette hypothèse ne se vérifie pas complètement. Néanmoins, les gradients thermiques dans la dalle de fondation représentent moins de un tiers des gradients thermiques de la dalle de voie. La courbure est donc nettement plus forte

dans la dalle de voie que dans celle de la dalle de fondation. De plus il a été vérifié numériquement que l'hypothèse d'un gradient nul pouvait être conservée et ne modifiait pas le dimensionnement.

*Tableau 1. Valeurs maximales des gradients thermiques positifs et négatifs obtenues entre les mois de décembre 2013 et décembre 2014.*

	Gradient thermique positif	Gradient thermique négatif
Dalle de voie	+ 0.7°C/cm	- 0.3°C/cm
Dalle de fondation	+0.25°C/cm	-0.15°C/cm

Par ailleurs, nous avons également observé que les gradients thermiques n'étaient pas uniformes sur la largeur de la dalle de voie. En effet, les gradients thermiques sont systématiquement 3 fois plus faibles en bord de dalle qu'en centre de dalle. Cela conduit vraisemblablement à des formes de courbure de dalle (en 3D) un peu plus complexes que celles présentées (en 1D) sur la figure 2.

## **4.2. Mesures des déplacements**

### *4.2.1. Résultats obtenus avec les capteurs de déplacements*

Afin de suivre les courbures des dalles de voie dues aux gradients thermiques, des mesures de déplacements relatifs entre une dalle de voie et une dalle de fondation ont été réalisées sous le passage d'un train. La figure 6 présente ces mesures (pour les 2 capteurs de déplacement situés sur le côté et à l'extrémité d'une dalle de fondation) en fonction des gradients thermiques obtenus à partir des mesures des thermocouples. On peut constater que lorsque la valeur du gradient thermique est positive les déplacements relatifs entre les dalles de voie et de fondation sont quasi-nuls et qu'à l'inverse ils sont importants lorsque la valeur du gradient thermique est négative. Ceci est conforme à l'interprétation physique de l'effet d'un gradient thermique sur la courbure de la dalle de voie décrite précédemment. Pour les gradients thermiques positifs, les extrémités de la dalle de voie reposent sur la dalle de fondation, d'où des valeurs de déplacements quasi nulles. À l'inverse, les valeurs déplacements sont significatives pour les gradients thermiques négatifs car les extrémités de la dalle de voie sont « décollées » de la dalle de fondation et sont rapprochées par le passage du train.

La figure 6 présente, les déplacements relatifs (la respiration) du bord des dalles de voie par rapport aux dalles de fondation, calculés pour différents gradients thermiques avec l'hypothèse retenue lors du dimensionnement d'un gradient uniforme dans la dalle de voie et nul dans la dalle de fondation. Sont également présentés sur la figure 6 les déplacements mesurés sur 2 coins d'une dalle de voie. On constate que la modélisation représente bien le phénomène physique de



respiration des coins de dalles de voie en fonction du gradient thermique : contact pour des gradients positifs et décollement pour des gradients négatifs. Par contre on constate que l'hypothèse d'un gradient homogène dans la dalle de voie conduit à sous-estimer l'amplitude de la respiration quand les gradients deviennent négatifs. Ainsi à  $-0,25\text{ °C/cm}$ , les valeurs de déplacements mesurées sont presque trois fois plus élevées que celles obtenues par les simulations numériques. Cette différence peut sembler élevée en termes de respiration, mais ce sont les contraintes (et donc les déformations) maximales dans les dalles de voie qui dimensionnent la structure. Or on constate que les valeurs de déformations mesurées in-situ dans les dalles de voies et de fondation au passage d'un train sont cohérentes avec celles prédites par la modélisation avec gradients homogènes. Un calcul avec prise en compte de la répartition hétérogène des gradients telle qu'observée in situ confirme que l'on obtient des niveaux de déformations maximales très proches. En conclusion, le modèle simplifié de gradient thermique homogène dans les dalles de voie et de gradient nul dans les dalles de fondation a permis de dimensionner de façon fiable la structure NBT à la vue des gradients observés in situ pendant un an.

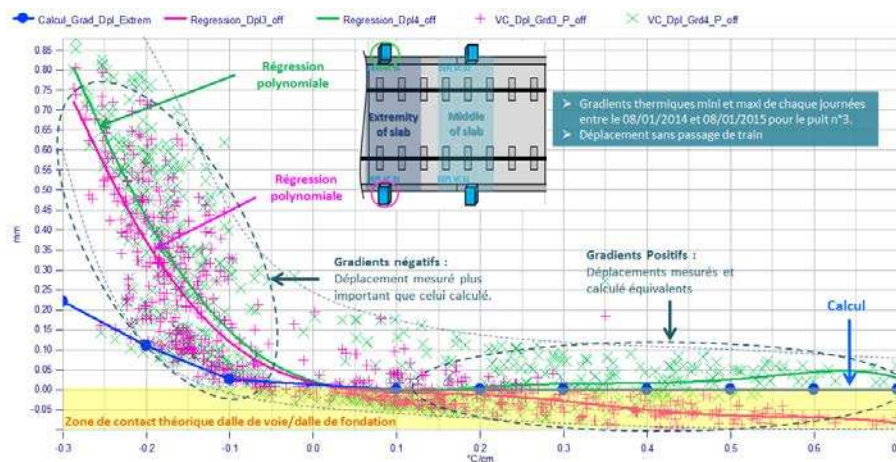


Figure 6. Mesures des déplacements relatifs entre la dalle de voie et la dalle de fondation en fonction des gradients thermiques moyens mesurés dans la dalle de voie

#### 4.2.2. Résultats obtenus avec les capteurs d'accélération

La figure 7 présente les déplacements d'une dalle de voie obtenus à partir des mesures des accéléromètres relevées pendant un mois aux passages de trains (4 par jour à 6h30, 8h30, 16h50 et 18h55). Ils ont été calculés par une double intégration temporelle du signal délivré par les accéléromètres. Les résultats ainsi obtenus sont similaires à ceux obtenus avec les capteurs de déplacement présentés précédemment. Comme attendu, les déplacements sont plus importants lorsque le gradient

thermique est négatif. Cette situation se produit en général le matin au passage des trains de 6h30 et 8h30. Pour ceux de l'après-midi, le gradient thermique dans la dalle de voie est généralement positif. Les extrémités de la dalle de voie reposent alors sur les dalles de fondation. Sur la figure 7, on peut observer que les valeurs de déplacements mesurées par les accéléromètres ne sont pas nulles mais qu'elles restent constantes à environ 0,2 mm dès que le gradient thermique est supérieur à  $+0,1 \text{ °C/cm}$ . Cette valeur de 0,2 mm correspond à la déflexion de l'ensemble de la structure (dalle de voie + dalle de fondation) au passage d'un train de 56T (4 essieux, poids par essieu : 14T). Cette déflexion totale de la structure ne peut pas être mesurée par les capteurs de déplacements décrits dans la section 3.1 puisqu'ils sont fixés sur une dalle de fondation. Par ailleurs, le seuil de  $0,1 \text{ °C/cm}$  semble indiquer que les dalles de voie sont probablement pré-courbées vers le haut à cause du séchage du béton et qu'un gradient positif est nécessaire pour remettre les dalles à plat.

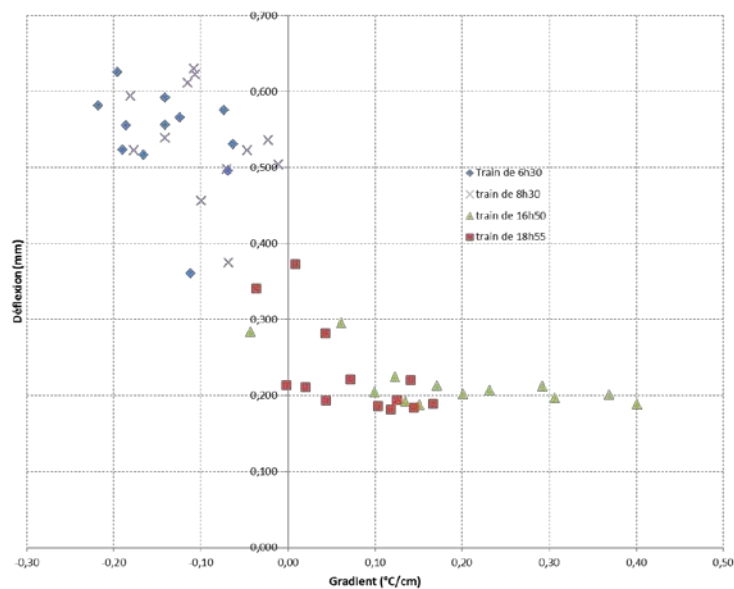


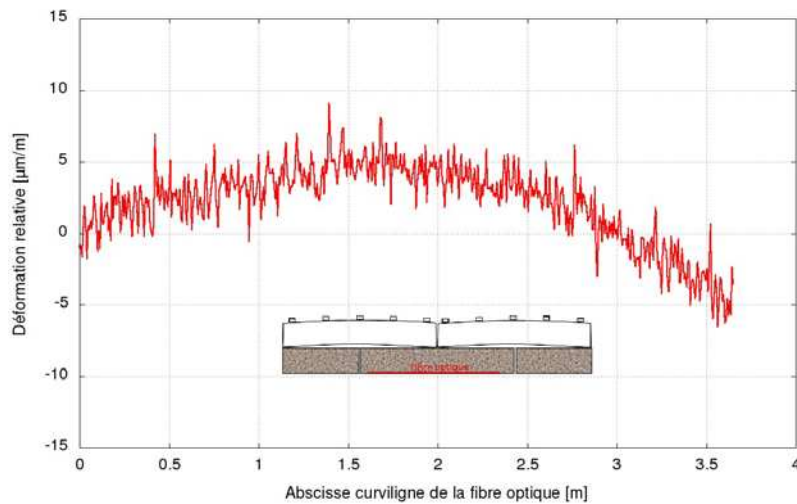
Figure 7. Déplacements obtenus à partir des mesures des accéléromètres en fonction des gradients thermiques moyens mesurés

#### 4.3. Mesures réparties de déformations dans la dalle de fondation

##### 4.3.1. Gradient thermique dans la dalle de voie : mesures des déformations relatives dans la dalle de fondation

Comme expliqué précédemment, les gradients thermiques dans les dalles de voie modifient leur courbure. Les conditions de contact entre les dalles de voie et de

fondation évoluent en fonction des gradients thermiques. Cela se traduit par une variation du niveau de déformation subie par la dalle de fondation. Afin de mettre en évidence cet effet, une mesure répartie de déformations a été réalisée à l'aide d'un capteur à fibre optique de type « Rayleigh » positionné en partie basse de la dalle de fondation. Cette technique nécessite de faire deux mesures du signal « Rayleigh » pour obtenir un profil de déformations. Une mesure a été effectuée le matin et l'autre l'après-midi sous le seul poids propre de la dalle de voie. La mesure du matin étant prise comme référence, le profil de déformations correspond donc à une mesure relative, c'est-à-dire à la différence de déformation dans la dalle de fondation entre l'après-midi et le matin. La figure 8 présente le profil de déformations ainsi obtenu après l'évolution de la courbure due à l'inversion du gradient thermique dans la dalle de voie. Malgré le bruit de mesure, on peut nettement voir que le profil de déformation a une forme bombée, correspondant à un chargement mécanique de la dalle de fondation. Pour schématiser, lorsque le gradient devient positif, les points d'appui de la dalle de voie se déplacent à ses extrémités, mettant en traction par flexion le centre de la base de la dalle de fondation. C'est ce que montre le profil de déformation de la figure 8. Cette mesure confirme qu'une inversion de gradient thermique peut induire des changements significatifs de la courbure de la dalle de voie qui se répercutent également sur la dalle de fondation. Toutefois, les variations de niveaux de déformations atteints dans la dalle de fondation à cause de l'inversion du gradient thermique sont assez faibles. Elles sont de l'ordre de quelques micromètres par mètre.



*Figure 8. Déformation relative dans la dalle de fondation due à l'inversion du gradient thermique dans la dalle de voie*

Les déformations induites par l'inversion du gradient thermique peuvent à première vue sembler négligeables. Pourtant, la prise en compte des effets des gradients thermiques sur le comportement mécanique de la structure NBT était indispensable lors de son dimensionnement pour obtenir une structure pouvant opérer en toute sécurité.

#### 4.3.2. Chargement statique de la voie NBT : mesures des déformations dans la dalle de fondation

Afin de mieux se rendre compte de l'importance des gradients thermiques dans la dalle de voie, il est intéressant de comparer les déformations qu'ils induisent à celles dues à un chargement mécanique statique de la structure. Les figures 10 et 11 présentent les profils de déformations obtenus dans la dalle de fondation lors d'un essai de chargement statique par un véhicule de maintenance de 50T. L'essieu avant de ce véhicule a été positionné à cheval entre deux dalles de voie (figures 9). À noter que la mesure de référence a été faite juste quelques minutes avant le chargement et étant donné que la durée de l'essai a été très court (5 min), on peut considérer qu'il n'y a pas eu d'évolution significative du gradient thermique dans la dalle de voie pendant l'essai.

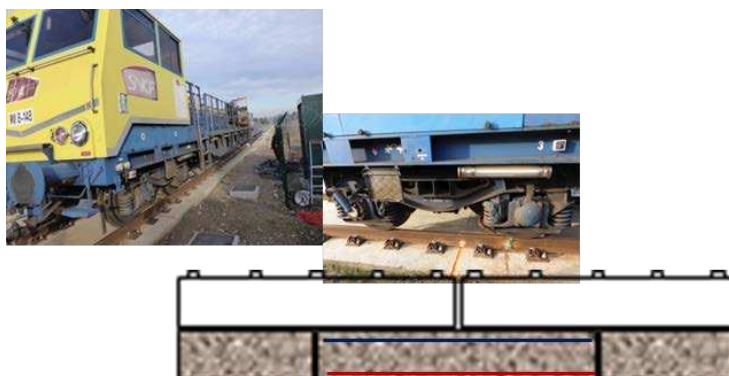


Figure 9. Positionnement du véhicule de maintenance (50T) lors de l'essai de chargement statique de la de la structure NBT

La figure 10 montre les profils de déformations obtenus avec et sans chargement avec une fibre optique positionnée dans la partie supérieure de la dalle de fondation. Sans le véhicule de maintenance, les déformations sont nulles avant et après le chargement, ce qui permet de valider l'hypothèse que le gradient thermique dans la dalle de voie n'évolue pas pendant l'essai. Dans ce cas, la déformation mesurée lors de l'essai de chargement est uniquement due au poids du véhicule de maintenance placé au-dessus de la dalle de fondation. Le profil de déformation est constitué de deux creux correspondant aux deux essieux du bogie du véhicule de maintenance.

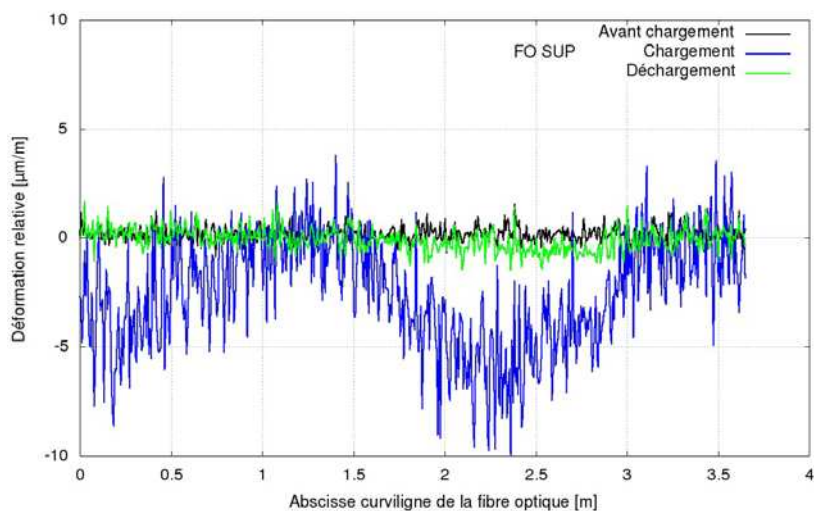


Figure 10. Profils de déformation obtenus avec la fibre optique positionnée en partie haute (FO SUP) de la dalle de fondation lors de l'essai de chargement statique de la structure NBT

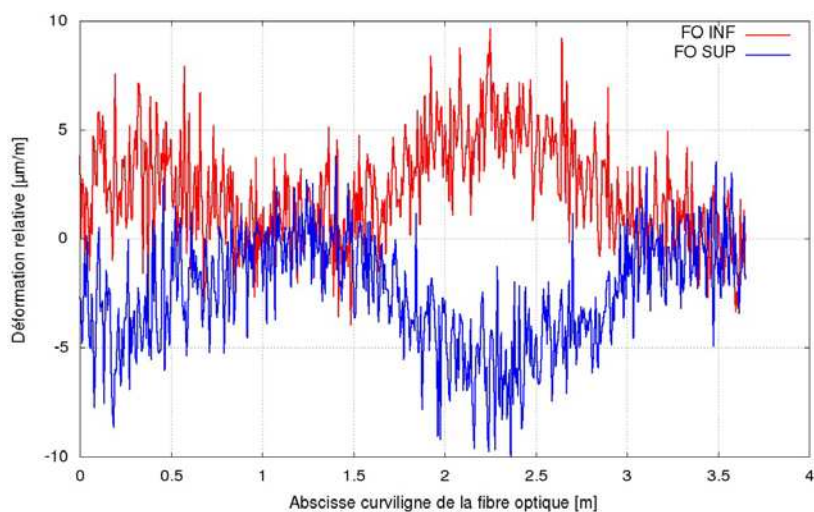


Figure 11. Profils de déformation obtenus avec les fibres optiques positionnées en partie haute (FO SUP) et basse (FO INF) de la dalle de fondation lors de l'essai de chargement statique de la structure NBT

La figure 11 montre que, comme attendu, la partie supérieure de la dalle de fondation est en compression et que la partie inférieure est en traction. Il est intéressant de noter que les niveaux de déformation atteints sont d'environ  $5 \mu\text{m/m}$  pour un chargement avec un véhicule de 50T. Ils sont quasiment équivalents à ceux générés par l'inversion du gradient thermique dans la dalle de voie. Cette constatation permet de mieux se rendre compte de l'importance des effets des gradients thermiques sur le comportement de la structure NBT.

## 5. Conclusions

L'instrumentation d'une voie ferroviaire sur dalles béton a permis de suivre en continu et en conditions opérationnelles (trafic, variations météorologiques, etc.) son comportement thermo-mécanique. Différents types de capteurs ont été utilisés pour obtenir des mesures de déformations, de déplacements et de température. À partir des données collectées pendant environ un an, la modélisation de la structure a pu être vérifiée et validée :

- les bords de dalles de voie respirent comme attendu par rapport aux dalles de fondation en fonction des gradients thermiques observés ;
- les gradients thermiques mesurés dans les dalles de voie sont compris dans les limites de conception prises en compte lors du dimensionnement de la structure de la voie NBT par contre ils ne sont pas homogènes comme supposé initialement (valeurs plus basses en bordures de dalles) ;
- les gradients thermiques dans les dalles de fondation ne sont pas nuls comme supposé mais restent faibles ;

Par ailleurs, il est important de souligner que cet article ne présente qu'une partie de l'instrumentation de la voie NBT, celle qui concerne le suivi des effets des gradients thermiques sur la courbure des dalles de voies. De nombreuses autres mesures (non présentées dans cet article) ont également été réalisées. La comparaison entre les mesures des déformations in situ, la simulation mécanique faite lors du dimensionnement de la structure NBT et la simulation mécanique faite en prenant en compte la répartition des gradients thermiques réellement observée in situ confirment que les hypothèses simplificatrices prises lors du dimensionnement de la structure NBT, à savoir un gradient thermique homogène dans les dalles de voie compris entre  $-0,4 \text{ °C/cm}$  et  $+ 0,8 \text{ °C/cm}$  et un gradient nul dans les dalles de fondation, sont satisfaisantes.

En conclusion, l'expérimentation décrite dans le présent article confirme la pertinence de la démarche adoptée pour dimensionner la solution NBT destinée à un trafic mixte fret/TGV.

### Remerciements

*Les auteurs tiennent à remercier vivement le ministère français de l'Industrie pour son soutien financier dans le programme de FUI (n° du projet 072906053 ; acronyme : NBT New Ballastless Track). Leurs remerciements vont également aux partenaires industriels du programme NBT : Railtech, Alstom, CEF, RFF, Vossloh pour la confiance et le soutien à leurs travaux de recherche.*

### Bibliographie

- Alstom (2007). *Etude bibliographique des voies sur dalles* (livrable du work package 0 du projet FUI n° 072906053 : New Ballastless Track). Rapport interne Alstom.
- Chapeleau X., Sedran T., Cottineau L.-M., Cailliau J., Taillade F., Gueguen I., Henault J.-M. (2013). Study of ballastless track structure monitoring by distributed optical fiber sensors on a real-scale mockup in laboratory. *Engineering Structures*, vol. 56, p. 1751-1757.
- Corbisez Q., Masson C., Pesqueux L., Sedran T., Cottineau L.-M., Barresi F., Cailliau J., Keseljevic C., Vanzenberg J.-M. (2014). A new ballastless trackform for lower maintenance, *2<sup>nd</sup> International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance 2014*, Ajaccio, France.
- Esveld C. (2001). *Modern Railway Track*. MRT-Productions, Zaltbommel.
- Güemes A, Fernández-López A., Soller B. (2010). Optical Fiber Distributed Sensing - Physical Principles and Applications, *Structural Health Monitoring*, vol. 9, n° 3, p. 233-245.
- Henault JM., Salin J., Moreau G., Delepine-Lesoille S., Bertand J., Taillade F., Quiertant M., Benzarti K. (2010). Qualification of a truly distributed fiber optic technique for strain and temperature measurements in concrete structures, *International workshop on ageing management of nuclear power plants and waste disposal structures 2010*, Toronto, Canada.
- Kaplan A, Klutte S., Gifford D., Heaney A. (2011). Distributed optical fiber sensing for wind blade strain monitoring and defect detection. *8th International Workshop on Structural Health Monitoring*, Stanford, États-Unis.
- Le Cam V., Lemarchand L., Cottineau L.-M., Bourquin F. (2008). Design of a generic smart and wireless sensors network – benefits of emerging technologies. *4th European Workshop on Structural Health Monitoring*. Cracovie, Pologne.
- Sedran T., Piau J.-M., Balay J.-M., Chapeleau X., Robertson I., Cailliau J., Barresi F., Keseljevic C., Vazenberg. J.-M. (2014). Development of a new concrete slabs track (NBT), *12<sup>th</sup> international symposium on concrete road*, Prague, Czech Republic.

