

g é o t e c h n i q u e , f o r a g e e t f o n d a t i o n s

SOLSCOPE



CHANTIERS À CREUSER

« LA GUÉVILLE » VOIT LE JOUR
DANS LES YVELINES

page 84

SAINTE-ADRESSE EN NORMANDIE
ACCUEILLE LE SOUTÈNEMENT AD HOC

page 92

DOSSIER

SALON SOLSCOPE 2021

LE MEILLEUR ENDROIT SUR TERRE
POUR COMPRENDRE CE QUI SE PASSE
SOUS TERRE

PAGE 28



ACTUALITÉS

Lancement d'une formation
«Maîtrise de chantier»

page 22

Polar Pod, un projet
en Antarctique

Page 26

La fibre optique pour la surveillance des structures souterraines en béton

Les ouvrages de soutènement, dont les dimensions sont de plus en plus importantes, nécessitent une surveillance étroite de la part de leurs exploitants. Ceux-ci sont utilisés principalement pour construire des enceintes souterraines relativement étanches, mais également dans les cas de fortes contraintes environnementales. Ils sont en effet soumis à de nombreux risques naturels ou liés à l'activité humaine. Des mesures de température et de déformation sont donc régulièrement nécessaires, en de nombreuses zones, afin de contrôler la santé de ces ouvrages. Cet article porte sur le retour de mesures collectées en continu durant 5 jours sur des parois moulées instrumentées par fibres optiques.

Depuis ces 50 dernières années, les structures du génie civil ont vu leurs nombres et leurs dimensions augmenter, exigeant une réglementation très stricte du point de vue de leur surveillance. Compte tenu de la profondeur des éléments de soutènement, tels que les parois moulées et les pieux en cours de construction, ainsi que des questions de développement durable et de préservation des ressources, l'intégrité de ces éléments est une préoccupation essentielle en géotechnique. Elle permet de réduire les dommages probables pendant les périodes de construction et de service.

Pour répondre aux exigences réglementaires de surveillance, Cementys, entreprise française spécialisée dans l'auscultation et le suivi du comportement des infrastructures et des ouvrages, propose la technologie très innovante des capteurs à fibres optiques répartis (CFOR). Elle regroupe plusieurs techniques de mesure et constitue un outil majeur des stratégies de surveillance de la santé des constructions du génie civil.



Photographie de l'équipement d'une paroi moulée.

Dans les méthodes d'auscultation conventionnelles, un grand nombre de capteurs ponctuels, tels que des jauges de contrainte ou des sondes de température, sont installés pour mesurer les profils de contrainte et de température de la structure pendant le bétonnage ou le durcissement. Ces méthodes présentent deux limitations majeures : tout d'abord, elles sont ponctuelles (limitée à l'emplacement et au nombre des capteurs), là où la fibre et donc les CFOR sont continus : ensuite, pour réaliser des mesures en profondeur et sur une distance importante, le déploiement des capteurs conventionnels est coûteux et parfois même impossible là où les CFOR sont moins limités.

PRINCIPE DES CAPTEURS À FIBRE OPTIQUE RÉPARTIS

D'une manière générale, dans le cas des CFOR, la fibre constitue sur toute sa longueur l'élément sensible du capteur, ce qui permet de réaliser des mesures réparties d'un bout à l'autre de celle-ci, qui seront par la suite appliquées à la détection et à la localisation. Concernant le système en tant que tel, une impulsion laser infrarouge est lancée depuis une extrémité de la fibre optique grâce à un interrogateur optique. Une petite fraction de cette impulsion est renvoyée, ou rétrodiffusée successivement tout au long du parcours de l'impulsion. (Figure 1).



Figure 1 : configuration standard d'un système de capteur à fibre optique.

À un instant donné, l'information rétrodiffusée depuis un point donné de la fibre est collectée à l'extrémité de la fibre, et est analysée par l'interrogateur optique. La fibre optique est le seul élément sensible où les variations de la propagation guidée de la lumière sont exploitées. Il n'y a pas de signal électrique qui la traverse.

Trois types de rétrodiffusions de la lumière se créent lors de la propagation de l'impulsion dans la fibre. Les caractéristiques de chacune d'entre elles peuvent être exploitées pour effectuer différentes mesures. (Figure 2).

Les capteurs de température répartis (DTS – *Distributed Temperature Sensing*) sont des fibres optiques qui fournissent des mesures de température tout au long du parcours de l'impulsion laser, et à tout moment. Elle est basée sur le phénomène de diffusion Raman qui se produit à l'intérieur de la fibre. La mesure du signal rétrodiffusé Brillouin quant à lui (DTSS – *Distributed Temperature and Strain Sensing*), nous

renseigne simultanément sur les variations en température et en déformation. Enfin, les capteurs acoustiques répartis (DAS – *Distributed Acoustic Sensing*) fournissent des mesures acoustiques et de température en se basant sur le phénomène de diffusion Rayleigh. Toutes ces mesures peuvent être réalisées sur une seule et même fibre optique, ce qui ne fait qu'accroître l'intérêt de l'utilisation de cette technologie dans le suivi de la pérennité des infrastructures du génie civil.

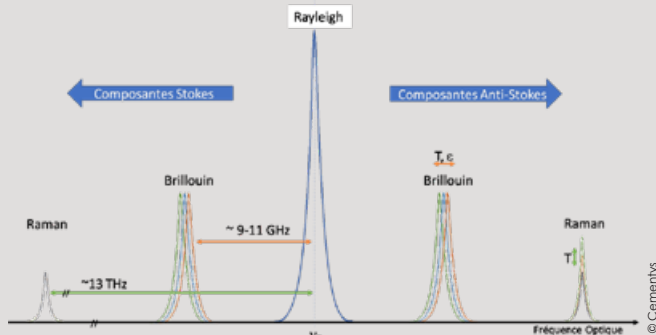


Figure 2 : spectre de rétrodiffusion dans une fibre optique en silice.

INSTALLATION DE L'INSTRUMENTATION PAR CAPTEURS À FIBRE OPTIQUE RÉPARTIS

Parmi les applications des capteurs à fibres optiques répartis pour la surveillance du processus de production des structures souterraines en béton, un essai sur le terrain a été réalisé sur le chantier d'une future gare ferroviaire d'Ile-de-France pen-

dant la construction d'une paroi moulée de près de 50 m de profondeur. L'évaluation de l'intégrité d'un des éléments de cage de la paroi est basée sur l'installation de boucles de câble à fibre optique (CFOR). Pour cela, le capteur *SensoLux TMA* de la société Cementys a été utilisé (figure 3). Réalisé autour d'une fibre optique standard utilisée dans le domaine des télécommunications, il profite de ses propriétés de transmission du signal et de sa grande sensibilité intrinsèque à la température (diffusion Raman) et aux déformations (diffusion Brillouin). Le capteur optique *SensoLux TMA* est immunisé contre les surtensions (foudres) ou autres perturbations électromagnétiques. Elle est constituée de 2 types de fibres à l'intérieur. 2 fibres multimodes (MM) et 2 fibres monomodes (SM) permettant les mesures Brillouin et Raman sur le même câble. De plus, les fibres sont collées à l'intérieur du revêtement, ce qui permet un bon transfert des déformations et de la température. ...

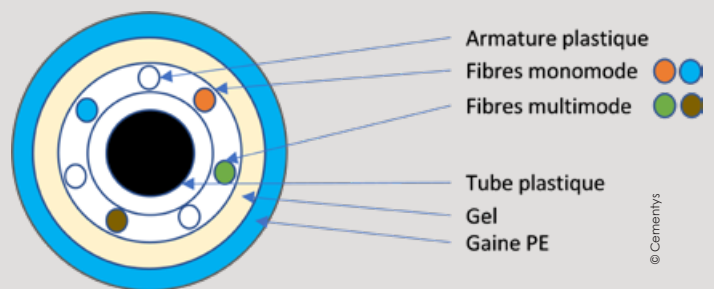


Figure 3 : coupe transversale du capteur de *SensoLux TMA* Cementys.

NGE FONDATIONS

La maîtrise du risque sol

NGE FONDATIONS accompagne ses clients sur tous les projets de fondations, confortements et travaux spéciaux.

Par la diversité de nos expertises et savoir-faire, nous concevons et réalisons votre projet en tant qu'entreprise partenaire.

Amélioration des sols

Fondations profondes

Soutènement

Injection des sols

Confortement

Travaux d'accès difficiles

Génie civil spécifique

Nous intervenons en milieu rural ou urbain, en environnement montagnard ou fluvial.

NGE FONDATIONS c'est :

- + DE **30** ans d'expérience
- 850** collaborateurs
- Un département **R&D Innovation** intégré
- 200** millions d'euros de CA
- Un parc Matériel de **80** millions d'euros (VR)

AVEC SES 19 IMPLANTATIONS, NGE FONDATIONS EST PRÉSENT PARTOUT EN FRANCE

ET RECRUTE !

www.nge-recrute.fr

Aix-en-Provence, Bayonne, Bordeaux, Caen, Clermont-Ferrand, Grenoble, Lille, Lyon, Moirans-en-Montagne, Nice, Paris (Brie-Corme-Robert, Nanterre), Poitiers, Rennes, Rodez, Strasbourg, Tarbes, Toulouse. Et sa filiale ROCS à La Réunion.

Retrouvez-nous en ligne www.ngefondations.fr

••• En raison de la profondeur de la paroi moulée, la cage d'armature est constituée de 4 éléments, qui doivent être connectés en série pendant l'installation. (Figure 4).

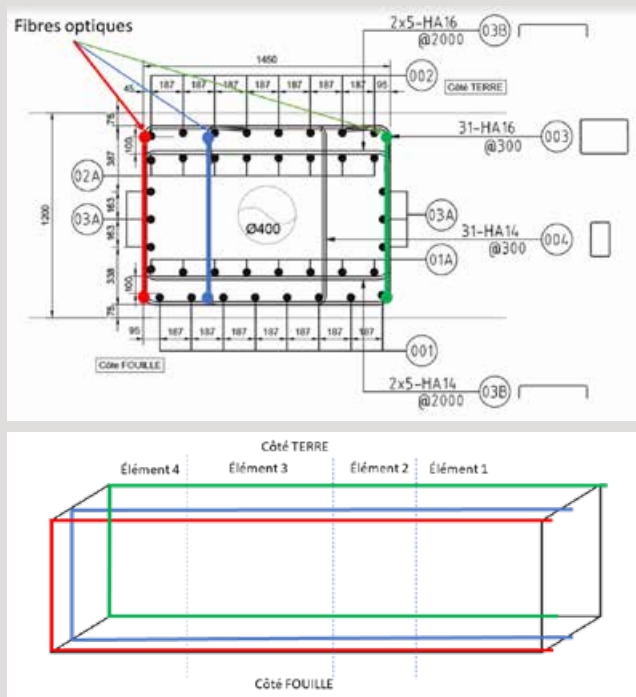


Figure 4 : plan d'installation de fibre optique.

Il était donc impossible de fixer préalablement le câble à l'armature de la cage. Le câble a alors été fixé aux barres d'armature des cages par des liens autobloquants et du ruban adhésif tous les mètres au moment de sa descente dans la fosse. Ensuite, les bobines de câble ont été déroulées d'un seul tenant depuis l'élément de cage ausculté le plus en profondeur jusqu'à la surface.

TEMPÉRATURE

Ce système de surveillance a permis de surveiller la fondation en temps réel durant 5 jours, et de collecter les variations de température pendant la phase de bétonnage avec une résolution spatiale métrique. Les variations de température en fonction du temps et de la distance (figure 5) nous renseignent sur les différentes sections de fibre utilisées.



Photographie de l'instrumentation d'une cage d'armature de paroi moulée.

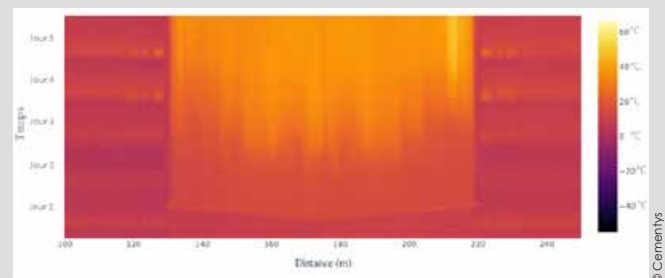


Figure 5 : spectrogramme de la température mesurée par capteur à fibre optique.

Les valeurs de température comprises entre 100 et 130 m et entre 220 et 250 m correspondent aux températures extérieures relevées par le CFOR DTS, tandis que les valeurs de température comprises entre 130 et 220 m correspondent aux températures mesurées dans la paroi moulée. Nous pouvons y observer l'augmentation de la température dans la paroi moulée de 10°C à 14,5°C lors de la phase de bétonnage au jour 1. À partir du jour 2, la température augmente sensiblement en fonction du temps de durcissement du béton jusqu'à atteindre une température maximale relevée de 37,14°C à la fin des mesures.

Le relevé de l'évolution de la température par capteurs à fibre optique répartis, sur la longueur totale de la paroi moulée, nous permet alors d'observer l'activation de la prise et du durcissement du béton à différents niveaux, visible par une augmentation prononcée de la température. Ces types de données peuvent nous renseigner par la suite sur la détection d'éventuels défauts de remplissage, puis l'évolution de la paroi en phase de travaux de terrassement et d'excavation de la future gare. ■

Miyassa Salhi, ingénieure optique

Emmanuel Mengue, ingénieur R&D géotechnique

Aymen Gargouri, ingénieur auscultation et géotechnique
CEMENTYS



Axel Duval
GROUPE POISSON

**Travaux de Génie Civil,
fondations et géothermie**



Ouvrages béton armé,
Reprise en sous-œuvre,
Travaux de maçonnerie.



Murettes guide,
Poutres de couronnement,
Murettes pour pieux sécants.

Raccordements géothermiques.

01 64 42 59 56

Z.I. Ampère - 54, rue de Maison-Rouge
77 220 Gretz-Armainvilliers

www.groupepoisson.com