
Suivi du comportement mécanique d'une conduite d'eau potable enterrée et instrumentée : analyse des premières mesures

Yañez-GODOY Humberto¹, DARWICH Ghina¹, ELACHACHI Sidi Mohammed¹, CHESNEAU Olivier², FELIERS Cedric³

¹ Université de Bordeaux, I2M, UMR CNRS 5295, Département Génie Civil et Environnemental, France
adresse

² Syndicat des Eaux D'Ile de France, Paris

³ Veolia Eau D'Ile de France, Paris

humberto.yanez-godoy@u-bordeaux.fr

RÉSUMÉ. L'instrumentation des ouvrages étendus enterrés permet d'accéder à une meilleure compréhension des mécanismes qui contrôlent le comportement de ces ouvrages et des mécanismes qui peuvent affecter leur durabilité et mener à leur détérioration. Dans cette communication, est présenté le suivi d'un nouveau tronçon installé et instrumenté d'une conduite enterrée d'eau potable, en béton armé à âme en tôle. Ce suivi est assuré grâce à des capteurs géotextiles qui fournissent des profils de déformation tout au long du tronçon instrumenté. Des premiers résultats de l'analyse des données obtenues à partir des mesures ponctuelles effectuées sur le site sont donnés.

ABSTRACT. The instrumentation of extended buried structures provides access to a better understanding of the mechanisms that control the behavior of these structures and the mechanisms that can affect their durability and lead to their deterioration. In this paper, the follow-up of a new installed and instrumented section of a buried reinforced concrete pressure pipe is presented. This monitoring is provided by optical fiber sensors embedded in geotextile that provide strain profiles throughout the instrumented pipe section. First results of the analysis of the data obtained from spot measurements carried out on the site are given.

MOTS-CLÉS : tuyaux pression en béton armé à âme en tôle, interaction sol-structure, mesure distribuée Brillouin, incertitudes, aide à la décision, variabilité spatiale.

KEY WORDS: reinforced concrete pressure pipes, soil-structure interaction, Brillouin distributed optical fiber sensors, uncertainties, decision-making support, spatial variability.

1. Introduction

Le renouvellement des canalisations d'eau potable est nécessaire du fait de leur vieillissement « naturel » qui conduit à l'abaissement progressif de leur niveau de performance. Le suivi lors de la mise en œuvre du chantier ainsi que lors de l'exploitation de nouvelles parties d'un linéaire à renouveler, est un aspect important en vue de constituer un dossier expérimental de l'ouvrage afin d'acquérir une meilleure connaissance du comportement mécanique et des mécanismes en jeu pour le système sol-conduite. L'acquisition des données au travers de l'instrumentation des canalisations renouvelées apporte d'une part, une information qui n'est pas contenue dans les bases de données ou d'exploitation et d'autre part, permet de valider et de qualifier des modèles mécaniques (numériques) adoptés pour étudier le comportement à court et long terme de la conduite. Un tronçon d'une nouvelle conduite enterrée d'adduction d'eau potable (en béton armé à âme en tôle) a été instrumenté en région francilienne. La solution retenue pour acquérir de l'information sur le système sol-conduite associe un capteur géotextile à fibres optiques (bande capteur) sur un linéaire d'environ 70 m. La bande capteur permet la mesure d'un paramètre principal pour le suivi de l'ouvrage : la déformation du sol. La finalité étant d'accéder à une meilleure connaissance du système sol-conduite, cette communication se concentre premièrement sur la mise en œuvre de l'instrumentation, ensuite elle présente les premiers résultats de l'analyse des données obtenues à partir des mesures ponctuelles effectuées sur le site.

2. Description du site

Le tronçon renouvelé du réseau d'eau potable d'une longueur de 90 m est situé sur la commune de Saint-Denis. Il s'agit d'une conduite à pression à âme en tôle à double revêtement en béton armé (système Bonna, du type conduite rigide) d'un diamètre intérieur de 800 mm posée en tranchée ouverte. Ce type de conduite a des parois rigides qui résistent à la plupart des charges imposées sans pouvoir bénéficier de l'apport de la butée du sol, dans la mesure où la déformation sous charge est faible. La profondeur du réseau varie entre 2,15 m (sur la partie nord) et 2,51 m (sur la partie sud). La succession géologique à cet emplacement sous les remblais est constituée d'alluvions et des masses et marnes du gypse, largement représentées dans la proche banlieue nord de la capitale et la région naturelle du Parisis. Le site se trouve en zone d'aléa faible vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement des argiles mais avec des zones d'aléa moyen à proximité.

3. Données du système sol-conduite

Les conduites en béton renforcé sont constituées d'une âme en tôle positionnée entre deux couches de béton. Le béton ne joue pas seulement un rôle de passivateur sur l'âme en tôle mais sert également de renforcement à la flexion. Le revêtement externe en béton est renforcé de spires en acier. La Figure 1 présente un schéma de la paroi de la conduite utilisée sur le site, type ATM (âme-tôle moulé) à joints SL (joints soudés). Les deux sondages et essais réalisés sur le site ont mis en évidence un terrain qui recoupe successivement sous la structure de chaussée : des remblais constitués de sables plus ou moins graveleux et de marnes argileuses graveleuses ; des alluvions caractérisées par des sables et des argiles reconnues jusqu'à la profondeur d'arrêt volontaire des sondages entre 3,0 m et 4,0 m de profondeur. Les sondages mettent en évidence des valeurs de résistance dynamique apparente de pointe (Rd) comprises entre 2 MPa et 6 MPa entre 2,5 m et 4 m. D'autre part, les résultats des essais réalisés sur des échantillons ont permis d'identifier les paramètres $c' = 8$ MPa et $\varphi' = 25^\circ$ (à court terme) et $c' = 0$ MPa et $\varphi' = 25^\circ$ (à long terme), qui pourront être retenus au sein des alluvions sablo-argileuses. Dans le nouveau remblai, on constate la présence d'une couche de grave ciment entre environ 0,9 m et 1,1 m de profondeur.

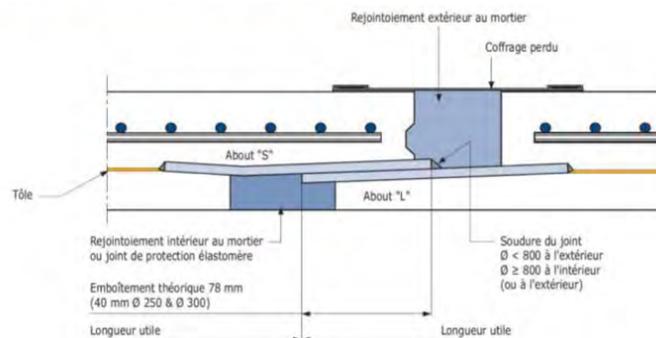


Figure 1. Détails de la paroi et du joint de la conduite en béton de type ATM à joints SL.

4. Mesures de déformation

Le système utilisé pour les mesures est constitué par : un capteur géotextile composite sur lequel sont liés en usine des câbles avec des fibres optiques, des câbles optiques de liaison, une connectique spécifique, une instrumentation et sa suite logicielle. Le capteur géotextile est composé de 2 bandes géotextiles. Chaque bande porte 4 câbles optiques, dont 2 câbles, couleurs jaune et orange, permettent de mesurer les déformations dans le sens de la fibre. Ces câbles jaune et orange constituent deux boucles de mesure, l'une principale et l'autre redondante. Deux bandes sont installés sous la conduite, dans le lit de pose, et deux bandes dans le remblai au-dessus de la conduite. Les fibres optiques mesurent la déformation du sol grâce à l'excellent frottement entre la structure géotextile et le sol et à la liaison de la fibre optique sur le textile. La technologie de mesure par fibre optique utilisée est la mesure répartie ou distribuée Brillouin ([GAL 12], [ITE 15]). Elle présente les avantages de scruter les variations de déformation en tout point d'une fibre optique et de couvrir de très grandes distances (plusieurs kilomètres) avec une bonne résolution spatiale. La mesure de référence a été effectuée en septembre 2016 avant le compactage de la partie supérieure du remblai de la tranchée. La ligne optique a été modifiée suite à une coupure des câbles et on a dû refaire une nouvelle mesure de référence en octobre 2016. Cette mesure a été réalisée quand la partie supérieure du remblai était déjà compactée. Les campagnes de mesures ont une durée d'environ 20 minutes. Trois mesures ont été effectuées en 2016-2017. D'autres campagnes des mesures de déformation sont prévues en 2018 et 2019.

5. Analyse des données

Les mesures des déformations du sol sont montrées en Figure 2 pour la bande capteur placée sous la conduite, côté route, pour le câble optique couleur orange (FRO). Les mesures effectuées en décembre 2016 montrent des déformations relatives faibles par rapport à la mesure de référence ($\pm 2000 \mu\text{déformations}$, soit $\pm 0,2\%$). On observe aussi des déformations locales plus fortes. En juin 2017, l'ordre de grandeur des déformations est plus important et les déformations locales par rapport à la mesure de référence sont encore plus fortes ($\pm 10000 \mu\text{déformations}$, soit $\pm 1\%$). La mesure d'août 2017, montre une déformation relative stable depuis la 2^{ème} mesure de juin 2017.

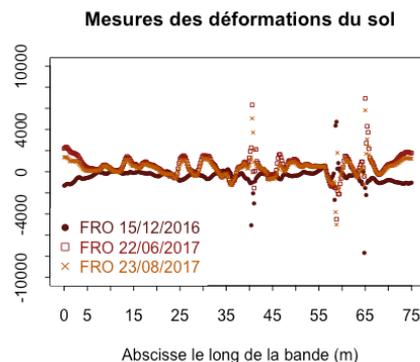


Figure 2. Mesures des microdéformations du sol par la bande capteur placée au fond de la tranchée, fond route, câble orange (FRO).

Un outil intéressant qui permet de caractériser la structure spatiale d'une série est le variogramme [IRI 86]. Il notifie la covariance entre les points de mesure et permet d'analyser comment se détériore l'information acquise en un point lorsqu'on s'en éloigne. Le variogramme d'une variable Z pour un décalage h entre deux points voisins x est obtenu par :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \times E[(Z(x+h) - Z(x))^2] \quad [1]$$

La Figure 3a illustre le variogramme des mesures de la série FRO du 22/06/2017. Deux longueurs de corrélation différentes (portées du variogramme) peuvent être observées sur le variogramme : $lc_1 = 4,4 \text{ m}$ et $lc_2 = 28,6 \text{ m}$. Le palier de variance pour chacune des deux distances est respectivement de : $var_1 = 6.917e5$ et $var_2 = 1.098e6$. La première portée représente environ 70% de la longueur de la buse. Cette valeur semble être proche de la valeur observée pour une conduite enterrée d'assainissement présenté en [BRE 02], où le variogramme longitudinal obtenu à partir des mesures de la résistance pénétrométrique du sol donnait une valeur de 3 m. Des champs aléatoires de la série FRO 22/06/2017 sont générés par la méthode de la transformée de Fourier rapide (FFT) [YAN 72]. Une distribution normale est adoptée pour la génération de ces champs. Le signal pour la série FRO est obtenu comme suit :

$$FRO(Z) = F^{-1}(F(I(x) | \mu, \sigma)) \quad [2]$$

Où F^{-1} est la fonction de répartition normale inverse de la série ; $F(I(x) | \mu, \sigma)$ est la fonction de répartition d'un processus stochastique, $I(x)$, de moyenne 0 et de variance var_1 ou var_2 (valeur définie en fonction de la longueur de corrélation utilisée et identifiée en Figure 3a) généré par la méthode FFT. Le champ normal $I(x)$ généré associe une fonction de corrélation exponentiel simple, $\rho(\tau)$ définie comme :

$$\rho(\tau) = \exp(-2 | \tau | / \delta) \quad [3]$$

Où τ et δ sont respectivement la distance entre deux points voisins de la série et la longueur de corrélation lc_1 ou lc_2 . La Figure 3b et la Figure 3c présentent le variogramme moyen de 10e3 simulations, pour $lc_1 = 4,4$ m, superposé au variogramme des mesures. Deux valeurs de la variance sont considérées : la première est $var_1 = 6.917e5$ (valeur du premier palier) et la deuxième est la valeur moyenne des deux paliers identifiés en Figure 3a, à savoir $var_m = 8,949e5$. La Figure 3b d'une part, montre que le variogramme simulé suit la première portée du variogramme des mesures mais ne parvient pas au deuxième palier expérimental. La Figure 3c, d'autre part, permet d'observer que la portée du variogramme simulé s'écarte un peu à gauche de la première portée du variogramme de mesures mais en revanche son palier atteint le deuxième palier expérimental.

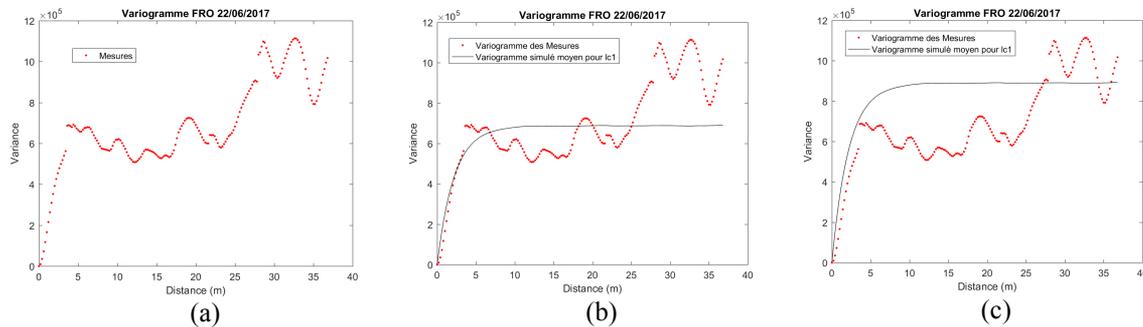


Figure 3. Variogramme des déformations du sol de la série Fond Route câble Orange (FRO) du 22/06/2017 : (a) expérimental ; (b) simulé, $lc_1 = 4,4$ m, $var_1 = 6,917e5$; (c) simulé, $lc_1 = 4,4$ m, $var_m = 8,949e5$.

6. Conclusion

L'instrumentation d'un nouveau tronçon installé d'une conduite enterrée d'eau potable, en béton armé à âme en tôle a permis d'obtenir des premiers résultats pour les profils de déformation. L'analyse des données obtenues a fourni des informations permettant de décrire la variabilité spatiale du sol suivant l'axe de la conduite. Ainsi, le suivi réalisé permettrait d'identifier des déterminants nécessaires pour évaluer une réponse plus réaliste de l'ouvrage sous certaines conditions de chargement et d'observer sa sensibilité aux tassements différentiels.

7. Bibliographie

- [BRE 02] BREYSSE D., ELACHACHI M., BOUKHOULDA H. « Modélisation des désordres dans les réseaux enterrés consécutifs à l'hétérogénéité des sols », *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur - JNGG2002*, Nancy 8-9 octobre, 2002.
- [GAL 12] GALINDEZ-JAMIOY C.A. ET LOPEZ-HIGUERA J.M. « Brillouin Distributed Fiber Sensors: An Overview and Applications », *Journal of Sensors*, vol. 2012, ID 204121, 17 pages.
- [IRI 86] IRIS J.-M. « Analyse et interprétation de la variabilité spatiale de la densité apparente dans trois matériaux ferrallitiques », *Science du Sol*, no. 3, Vol. 24, 1986, p. 245-256.
- [ITE 15] ITEN M. et al. "Benefits of Global Standards on the Use of Optical Fiber Sensing Systems for the Impact of Construction of New Utilities and Tunnels on Existing Utilities", *Conference Pipelines 2015*, Août 23-26, Baltimore, Maryland.
- [YAN 72] YANG J.-N. "Simulation of Random Envelope Processes", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 21, issue 1, 1972, p. 73-85.