

Suivi automatisé des piles du pont de Fleury-Mérogis lors des opérations de poussage

■ Frédéric DADOUN et Didier DUPUIS - François LEBLANC et Sylvain SABINI

Les 103 m du tablier du pont construit par Eiffage TP ont été poussés en 3 fois à une vitesse de 7 à 8 cm/mn au dessus de la RN104 à Fleury-Mérogis. Pendant toute la durée de la poussée, l'effort horizontal exercé sur chaque pile est surveillé. Une solution par théodolite automatisé n'étant pas envisageable, DYNAOPT GEODESIE INDUSTRIELLE a proposé et mis au point une solution de surveillance au moyen de clinomètres à electrolevel présentant l'avantage de rester à demeure sur la pile et de séparer la rotation d'ensemble de la semelle de la déformation propre du fût. Les données ont montré une rotation des têtes de fût en "dents de scie" qui correspond à la montée en intensité de la force du frottement et à la relaxation au moment du retour des pistons des vérins. La réflexion commune menée par l'ensemble des intervenants (chantier, bureau d'études, spécialistes instrumentation) a permis de faire de l'instrumentation mise en oeuvre un outil d'optimisation de la méthode de poussée, de prévention des risques et d'apport d'informations utiles pour les projets à venir.

■ mots clés

Pont poussé, surveillance, clinomètre, electrolevel

L'ouvrage

Dans le cadre du plan d'amélioration des liaisons intercommunales en Ile de France, une nouvelle route est actuellement en cours de construction entre le vieux bourg de Fleury-Mérogis (91) et la zone industrielle des Ciroliers.

Le franchissement de la Francilienne s'effectue grâce à un ouvrage d'une longueur totale de 350 mètres, comprenant un pont de 103 mètres de long et des rampes d'accès nécessitant la mise en œuvre de 12 000 m³ de remblais. EIF-FAGETP a été déclaré adjudicataire du marché de construction de l'ensemble début Juillet 2003.

Le pont est constitué par une dalle en béton précontraint de 1,20 m de haut et de 9,50 m de large, reposant sur 7 appuis fondés superficiellement. Le profil en élévation du tablier est un arc de cercle de 1200 mètres de rayon, avec des pentes en extrémités respectivement de 6 et de -2,5 %.



Figure 1 : ouvrage vue du dessus

D'un point de vue architectural, le choix de la forme des piles a fait l'objet d'une attention particulière: elles pré-

sentent une section ovoïdale et sont traversées en leur centre par une ouverture circulaire de 3,00 m de dia-

■ ■ ■ mètre destinée à alléger leur aspect, tandis que leur parement est ouvragé. La réalisation des trois piles situées au voisinage de la Francilienne a nécessité le blindage des fouilles à l'aide de palplanches.

La méthode de construction

Une des contraintes du projet est de limiter au strict minimum les interruptions de circulation sur la Francilienne. Aussi, la méthode de construction par poussage s'est-elle imposée naturellement, d'autant plus que la géométrie du tablier s'y prêtait directement sans aménagements particuliers.

Le tablier est construit en 3 tronçons successifs de 39, 25 et 40 mètres coulés sur une aire de préfabrication située à l'emplacement de la rampe sud. Une fois un tronçon achevé, l'ensemble du tablier est poussé au dessus des travées, libérant ainsi les coffrages pour la construction du tronçon suivant.

L'aire de préfabrication est essentiellement constituée par deux longrines en béton armé présentant une section en forme de T renversé. Chaque longrine est recouverte d'une tôle métallique destinée à permettre le glissement de la feuille de contre-plaqué sur laquelle est coulé le béton du tablier.

Le déplacement du tablier est assuré par deux dispositifs de poussage qui

prennent chacun appui sur une longrine par l'intermédiaire d'un sabot métallique et développent un effort de poussage unitaire de 320 tf. Le poussage s'effectue par translations élémentaires de 25 cm, qui correspondent à la course des vérins. Le temps moyen nécessaire au poussage d'un tronçon est d'environ 13 heures.

Pour permettre au tablier de résister aux efforts de flexion sous poids propre en cours de poussage, on met en tension une première série de câbles de précontrainte qui demeure en place en phase de service. La continuité de ces câbles au droit de deux tronçons est réalisée au moyen de coupleurs.

Le premier tronçon du tablier est prolongé par une poutre métallique de 14 mètres de long, appelée avant-bec, dont le but est de prendre appui sur la pile suivante, afin de limiter les efforts de porte-à-faux dans le tablier.

La mise en place par poussage d'un tablier en béton précontraint n'est possible que parce qu'il existe des dispositifs de glissement présentant un coefficient de frottement suffisamment faible pour ne pas compromettre la stabilité des piles au cours de l'opération. Dans la pratique, on utilise des blocs d'appui provisoires recouverts d'une tôle en acier inoxydable et comportant un embecquetage à chaque

extrémité. Des plaques de néoprène-téflon placées entre l'intrados du tablier et la tôle inox accompagnent le tablier dans son déplacement, en glissant avec un coefficient de frottement téflon sur inox compris entre 2 et 5 %. Lorsqu'une plaque échappe à l'appui, elle est récupérée pour y être introduite par l'embecquetage arrière, et ainsi de suite tout au long de l'opération de poussage.

L'objectif du suivi des déplacements des piles

On contrôle la force globale de poussage en limitant la valeur de la pression aux vérins en fonction du nombre de tronçons à pousser.

Cette précaution nécessaire est loin d'être suffisante, car elle ne permet pas de détecter si une pile ou une culée particulière subit un effort horizontal dépassant de façon importante la valeur admissible. Dans le contexte de cet ouvrage, où la forme élégie des piles réduit de façon sensible leur résistance aux efforts horizontaux, il importe de pouvoir s'assurer de façon fiable qu'elles ne seront jamais sollicitées au delà de la limite autorisée.

D'où l'idée de surveiller de façon continue les piles durant le poussage ; cela se fait en suivant leur déformation, plutôt qu'en tentant de mesurer directement l'effort de frottement appliqué par le tablier à la pile, ce qui serait particulièrement délicat.

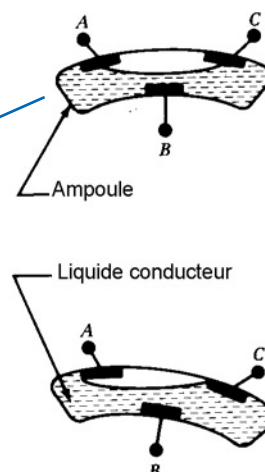
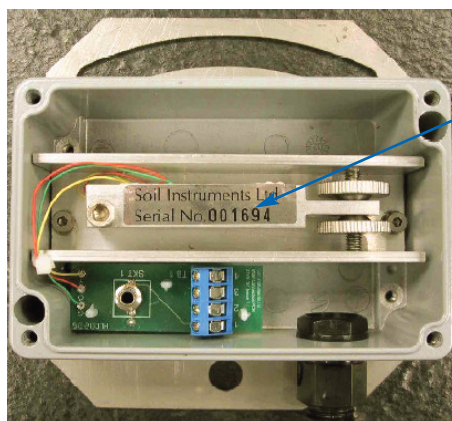
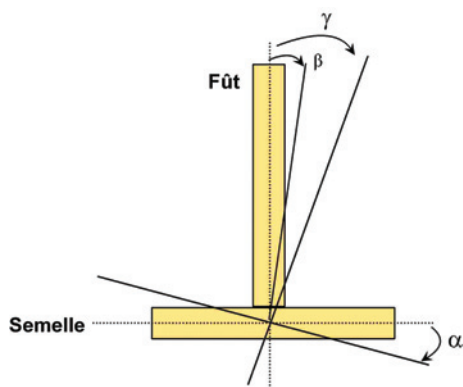
On vérifie donc que les piles ne sont pas sollicitées au-delà de la limite admissible, en s'assurant que les déplacements observés restent inférieurs à une valeur limite fournie par le Bureau d'Etudes.

Les limites d'une approche classique

Le suivi en continu de l'évolution des coordonnées (x, y, z) d'un ensemble de cibles constitue aujourd'hui, grâce à l'utilisation généralisée de théodolites motorisés, un problème classique habituellement simple à résoudre.



Figure 2 : Dispositif de glissement avec dispositif de guidage



Principe et mise en place des clinomètres à electrolevel

Ainsi, cette solution est fréquemment retenue pour la surveillance de glissements de terrain ou le monitoring de grands ouvrages d'art lors des épreuves de chargement.

Cependant, après examen des contraintes spécifiques au site, il s'est avéré que cette solution ne pouvait être adoptée, du fait du manque de recul possible pour l'appareil et de l'absence d'une emprise protégée.

Le recours à une solution originale

Plutôt que de chercher à caractériser la déformation d'une pile par le déplacement de sa tête, on s'intéresse à des variations angulaires, dont les valeurs limites autorisées sont également fournies par le Bureau d'Etudes.

Cette solution, proposée par DYNAOPT GEODESIE INDUSTRIELLE, et mise au point en collaboration avec EIFFAGETP, présente plusieurs avantages :

- on peut utiliser comme moyen de mesure des clinomètres installés à demeure sur les piles avant que celles-ci ne soient sollicitées par le tablier,
- en plaçant deux capteurs distincts, un sur la semelle, l'autre en tête de pile, on sépare clairement la rotation d'ensemble de la semelle de la déformation propre du fût, ce qui peut être utile lors de l'interprétation des mesures observées.

La technologie de mesure retenue

Les clinomètres utilisés sont du type electrolevel, dont le principe de fonctionnement est le suivant. Une ampoule, à laquelle sont connectées trois électrodes, est partiellement remplie d'un liquide conducteur. Lorsque l'ampoule bascule, les surfaces de contact des électrodes A et C avec le liquide conducteur varient : l'une décroît pendant que l'autre croît ; la troisième, qui est la référence, reste en contact sur toute sa surface, quelle que soit l'inclinaison. Aux différences de surfaces de contact des électrodes A et C, correspondent des différences de résistances entre chacune de ces électrodes et l'électrode de référence, qui

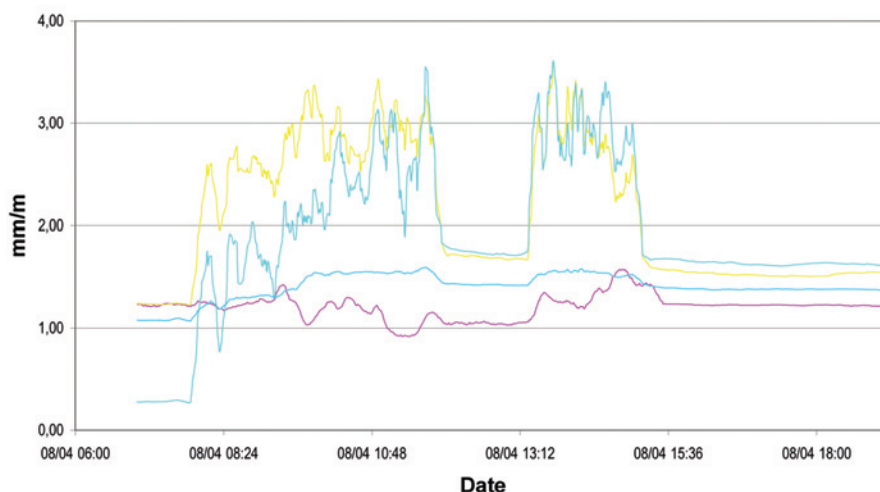
sont mesurées grâce à un pont de Wheatstone⁽¹⁾.

La mise en œuvre pratique du suivi

La conversion des variations de résistance en variations d'angle, ainsi que l'enregistrement des mesures s'effectue de façon continue à l'aide d'une station d'acquisition DYNACAD. On visualise en temps réel les valeurs des angles de rotation des fondations, ainsi que celles des rotations des têtes de fût par rapport à leur base, grâce à un logiciel prévu à cet effet. En cas de dépassement des valeurs admissibles ■■■

(1) Le pont de wheatstone permet de mesurer une résistance variable en alimentant un circuit de quatre résistances dont trois sont connues.

Rotation des piles



■ ■ ■ des rotations fournies par le Bureau d'Études pour chaque pile, une alarme se déclenche (clignotant et sirène) et l'opérateur aux commandes des vérins de poussage interrompt immédiatement la manœuvre.

Le système reste en place durant toute la durée du chantier, ce qui permet d'observer le retour élastique des piles, lorsque les efforts de frottement se dissipent avec le temps.

Le système mis en place permet de détecter des rotations de 0,2 milliradian.

Les résultats obtenus

La figure 14 montre les enregistrements des valeurs des rotations de la semelle et de la tête de fût pour deux piles de l'ouvrage. On constate que les rotations des semelles (courbes inférieures) varient assez peu durant le poussage, tandis que les rotations des têtes de fût (courbes supérieures) présentent une allure en dents de scie, qui correspond essentiellement à la montée en intensité de la force de frottement lors d'une translation élémentaire, puis à la relaxation de cette dernière durant l'arrêt du poussage au moment du retour des pistons des vérins. Le palier visible sur les courbes de rotation des têtes de fût coïncide avec l'interruption de l'opération de poussage durant la pause du déjeuner.

Durant chacune des opérations de poussage correspondant à la sortie des 3 tronçons des coffrages, les valeurs observées des rotations sont toujours restées inférieures aux valeurs admissibles fournies par le Bureau d'Études.

Les enseignements

L'instrumentation des piles de l'ouvrage en cours de poussage a permis de réaliser l'opération de mise en place du tablier en toute sécurité, puisque à chaque instant on pouvait être assuré que chaque pile n'était soumise à aucun effort horizontal trop important. En particulier, tout incident, tel que plaque de glissement introduite néoprène contre inox, tablier en butée sur dispositif de

guidage,...,pouvant provoquer une augmentation brutale des efforts sans que cela ne se traduise forcément par une augmentation aux vérin de poussage, aurait pu être détecté grâce au monitoring.

Un dispositif en tout ou rien pourrait a priori s'avérer suffisant pour remplir strictement cette fonction. Néanmoins, pour un coût à peine supérieur, on dispose d'un ensemble de données, dont le traitement conduit à des informations techniques très utiles, notamment en ce qui concerne les valeurs et l'évolution des coefficients de frottement sur chaque pile.

Ces informations peuvent à leur tour être exploitées à deux niveaux :

- d'abord sur site, pour intervenir sur les piles où les frottements se révéleraient être plus élevés que la moyenne : nettoyage des plaques de glissement, graissage du téflon, ...
- ensuite, dans le cadre d'une démarche de capitalisation d'expériences, pour mieux appréhender, à partir de données expérimentales, le comportement réel des dispositifs de glissement.

Une dernière remarque

L'instrumentation d'un ouvrage en cours de construction est trop souvent perçue comme une obligation contractuelle stipulée par le Cahier des Charges, dont on appréhende mal la finalité, mais qu'il convient de remplir correctement, tout en cherchant bien sûr à en limiter le coût au strict minimum.

Avec cet état d'esprit, l'opération est alors souvent vécue comme une contrainte, suscitant un intérêt limité auprès des différents intervenants (Maître d'Œuvre, personnel chantier de l'entreprise, bureau d'études).

En revanche, si les objectifs visés par l'instrumentation sont clairement définis, quitte à ce que le problème soit reformulé par l'ensemble des intervenants, alors les données fournies par les mesures joueront pleinement leur rôle de moyen de contrôle de la sécurité des opérations et d'outil d'aide à la déci-

sion. La réussite d'un tel projet passe par une préparation rigoureuse faisant intervenir des ingénieurs et des experts de profils et de responsabilités complémentaires, qui, ensemble et en intégrant les contraintes des différentes spécialités, définissent et mettent au point les procédures et les moyens de suivi : ingénieurs d'études, ingénieurs méthodes, ingénieurs travaux, spécialistes instrumentation, ... ●

Les auteurs

Frédéric DADOUN & Didier DUPUIS,
Spécialistes Instrumentation, DYNAOPT
GEODESIE INDUSTRIELLE

François LEBLANC & Sylvain SABINI,
Ingénieurs Travaux, EIFFAGE TP

ABSTRACT

Key words: Pushed bridge, monitoring, tiltmeter, electrolevel

The 103 m long slab of the bridge built by Eiffage TP have been pushed in three steps at a speed of 7 to 8 cm/min over the RN104 at Fleury-Mérogis. While pushing, the horizontal force exerted on each pile has been monitored. As automated theodolite could not be used, DYNAOPT GEODESIE INDUSTRIELLE designed a monitoring solution using electrolevel tiltmeters with the advantage of being installed all time and identifying sole tilting and pile flexion. Data showed pile head tilting which corresponds to the rise in intensity of friction forces and to relieving at time of pistons jacks return. This instrumentation designed and developed by all the users including building team, design engineers, and instrumentation specialists was of interest to all allowing pushing method optimisation and risk limitation, while increasing data base knowledge on pushed bridge techniques.