SOLETANCHE BACHY

LA LETTRE D'INFORMATION

ÉDITO

Vous découvrirez, dans cette nouvelle lettre, le lot T3A du Grand Paris Express dont plusieurs ouvrages sont désormais commencés : puits de l'île de Monsieur et de la ZAC SAEM, gare d'Issy.

Dans le chapitre « Notre expertise », vous trouverez un article, présenté récemment lors des JNGG, sur les micropieux ISU (Injection de Serrage Unitaire) développés par Soletanche Bachy. Le mode de mise en œuvre de l'injection, sans attendre la prise d'un coulis de gaine, permet de réduire le temps global de réalisation du micropieu, en conservant des caractéristiques équivalentes à un micropieu de type IGU.

Très cordialement,

Daniel Viargues - Président de Soletanche Bachy France

À LA UNE

LE LOT T3A DE LA LIGNE 15 DU GRAND PARIS EXPRESS DÉMARRE À SON TOUR

Le printemps 2018 marque le début des travaux sur le lot T3A du Grand Paris Express. Ce tronçon qui s'étend sur 4,2 km entre Sèvres et la gare Fort d'Issy Vanves Clamart constitue l'extrémité Ouest de la ligne. Après les phases d'études, de préparation et d'installation, les équipes Soletanche Bachy sont entrées en production sur plusieurs sites.

Puits de l'île de Monsieur

L'ouvrage de lancement du tunnelier est un puits situé dans le parc classé de l'île de Monsieur, en bord de Seine, sur la commune de Sèvres. Il est constitué d'une paroi périmétrale (épaisseur 1200 mm, profondeur 55 m), fichée dans la Craie, qui forme 3 lobes butonnés à leurs jonctions par deux parois moulées de refend. Deux outillages KS et 50 personnes sont à l'œuvre en 3 postes, depuis début avril, pour excaver les 10 000 m² de paroi circulaire. Une attention toute particulière est apportée à la mise en place des joints à grande profondeur, avec renvoi d'angle, pour garantir leur décoffrage à la benne hydraulique.

Les travaux de parois moulées vont s'étirer jusqu'à la fin du mois de juin, où seront réalisés les quatre panneaux de fermeture en Y, au raccordement entre les parois périmétrales et les refends. Ces panneaux qui concentrent les efforts sont réalisés en épaisseur 1800 mm et accueilleront des cages de 80 t nécessitant l'emploi d'une grue de manutention de 300 t. Après exécution des puits et des drains, suivront le terrassement et les structures internes de l'ouvrage, et enfin l'assemblage du tunnelier en 2019.

Puits de la ZAC SAEM

L'ouvrage annexe situé dans la ZAC SAEM à Boulogne servira de puits de ventilation et de secours au tunnel. Il reprend le puits d'essai réalisé en 2015 par Soletanche Bachy, et comprend des locaux techniques en parois moulées, ainsi qu'un rameau de connexion au tunnel, excavé en méthode conventionnelle à l'abri d'un traitement de terrain par injection.

Une équipe d'une vingtaine de personnes est mobilisée en deux postes, avec un atelier KS depuis la fin avril, pour réaliser la paroi moulée des locaux techniques. Les 21 panneaux excavés dans les alluvions de la Seine représentent 2 700 m² d'excavation. Malgré l'exiguïté de l'emprise, un gros travail d'organisation permet de bétonner tous les jours, ce qui devrait permettre d'achever ces travaux début juin.

L'activité se poursuivra cet été avec 200 micropieux de fond de fouille mis en œuvre depuis la surface en arase basse, puis les 10 km de forage du fond injecté. Ces travaux permettront, d'une part de limiter les débits de pompage malgré la fiche courte de la paroi et les terrains très perméables, et d'autre part d'ancrer le radier de l'ouvrage pour faire face aux sous-pressions.

Les travaux s'achèveront à l'automne par une campagne d'injection au coulis micro-ciment pour étancher les craies altérées, au sein desquelles les équipes SB Tunnels excaveront le rameau.

Gare d'Issy

La gare d'Issy est composée de trois boîtes en parois moulées, disposées autour du carrefour très emprunté de la place Léon Blum, reliées entre elles par des couloirs de raccordement qui seront excavés après congélation des terrains.

Depuis la fin de l'hiver, un atelier de jet grouting est en activité pour conforter les piles d'un viaduc SNCF centenaire au droit de la boîte « Correspondance ». Les colonnes de 30 m de long et de 1,2 m de diamètre sont réalisées en jet simple Plus. Ces travaux occuperont une équipe jusqu'à la fin de l'été.

En parallèle, sur l'emprise principale, une seconde équipe a débuté depuis début avril les travaux de la boîte « Gare ». La future gare sera terrassée en taupe à l'abri d'une paroi moulée périmétrale de 10 000 m². Les 68 panneaux (profondeur 40 m, épaisseur 1200 mm) sont excavés avec un atelier KS dans un contexte assez difficile : au pied d'un immeuble R+10 et au milieu du carrefour. Les travaux sont donc très phasés et se déplacent au gré des mouvements d'emprises qui s'adaptent aux déviations de réseaux et de voiries. Les travaux de parois moulées de la gare vont mobiliser l'équipe jusqu'à l'automne, avant de basculer en 2019 sur la boîte « Correspondance ».

Autres ouvrages

Les travaux fluviaux vont pouvoir débuter en juin sur la gare Pont de Sèvres. Le partenaire, qui vient d'embarquer sa grue de battage sur un ponton flottant, va démarrer les travaux de l'estacade qui permettra de construire un quai provisoire et de gagner des terrains sur la Seine.

En parallèle, débuteront durant l'été des opérations de micropieux et de berlinoises qui font suite à la fermeture de la RD1 et à 6 mois de travaux de déviation de réseaux.

A l'autre extrémité de la ligne, le groupement a pris possession des emprises sur l'ouvrage annexe du Parc Henri Barbusse à Issy-les-Moulineaux. Les équipes SBF et SBFS vont pouvoir débuter les travaux de parois lutéciennes et de parois clouées durant l'été. Ces soutènements provisoires réalisés dans la pente des coteaux d'Issy permettront d'aménager une plate-forme pour réaliser les parois moulées du puits. Ce puits de 9 m de diamètre sera le seul ouvrage excavé à l'Hydrofraise®, à 60 m de profondeur.

Tunnel Vivier-Merle

Le quartier de la Part-Dieu à Lyon est le second quartier d'affaires de France.

Dans les prochaines années, un très grand nombre d'opérations d'envergure est prévu, afin de
- rendre le quartier plus attractif (rénovation, piétonnisation),
- intégrer le nombre croissant des usagers (développement de la gare, agrandissement du centre commercial),
- continuer à développer de nouveaux projets (démolitions d'immeubles existants, création de la tour To-Lyon, du Parking Béraudier).

Tous ces projets sont coordonnés par la SPL Lyon Part-Dieu. Le démarrage des opérations dans la zone consiste à rénover et allonger de 118 m (220 m en comptant la rampe d'accès) le tunnel Vivier-Merle.

Cet allongement, outre l'avantage de piétonniser davantage la zone, comprend une paroi commune au projet To-Lyon et un accès au futur parking Béraudier.

Le groupement constitué d'Eiffage et Soletanche Bachy France, a remporté le projet à l'aide d'une solution variante. Pour la partie allongement du tunnel, la solution de base consistait à réaliser une tranchée couverte en parois moulées avec étanchéité entre parois réalisée à l'aide d'un béton immergé (jusqu'à 3 m de hauteur).

La solution variante consiste à réaliser
- sur une petite moitié du linéaire (à réaliser en priorité), des parois moulées profondes fichées à 28 m dans le substratum semi-étanche, la molasse lyonnaise,
- sur l'autre moitié (dont la rampe d'accès), un fond injecté.

Rouen – Réhabilitation du collecteur du boulevard des Belges

Soletanche Bachy agence France Nord a remporté, en groupement avec Sade, le marché de réhabilitation du collecteur du boulevard des Belges dans le centre-ville de Rouen.
Ce projet s'inscrit dans le cadre de l'aménagement de la ligne T4 : Arc Nord Sud du futur Bus à Haut Niveau de Service (BHNS). La métropole Rouen Normandie a en effet pour projet de réhabiliter les ouvrages d'assainissement unitaire du boulevard des Belges, de la place Cauchoise, du boulevard de la Marne et du boulevard de l'Yser à Rouen, ainsi que de créer des regards déportés.

Le marché a pour objet la réhabilitation de ce collecteur sur une longueur de 523 m : injections de confortement sur tout le linéaire, et création de 10 regards de visite déportés.

Ces travaux seront menés entre le mois de juillet et le mois de novembre 2018, le Cabinet Merlin en assurant la maîtrise d'œuvre.

CDG Express – lot 17H

Dans le cadre du projet Charles de Gaulle (CDG) Express, l'Agence France Nord revient sur l'aéroport CDG pour prolonger une tranchée couverte réalisée en 1991 par Soletanche pour l'interconnexion TGV.

Le présent projet, le « lot 17H », concerne la réalisation d'une tranchée couverte de 300 m de long en paroi moulée qui traversera la piste 4 de l'aéroport. Les travaux se dérouleront pendant la période de fermeture de la piste, entre le 8 juillet et le 5 octobre 2018. Le projet, très contraint au niveau du planning, commence par la réalisation des accès et la démolition de la piste. Puis, les parois moulées sont mises en œuvre avec 4 ateliers (dont un atelier avec flèche courte), en 3 postes, entre le 23 juillet et le 20 août 2018. Suivront le coulage de la dalle supérieure et la reconstruction du corps de chaussée aéronautique de la piste.

Soletanche Bachy a été désigné sous-traitant du groupement qui a remporté le marché global pour le compte d'Aéroports de Paris, en charge de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre. Dans ce cadre, Soletanche Bachy mettra en œuvre 2 bennes hydrauliques KS.

Le projet total comprend 9 500 m^3 de parois moulées d'un mètre d'épaisseur, entre 13 et 17 m de profondeur.

Les travaux commenceront le 9 juillet 2018 avec la mobilisation du matériel, et se termineront le 24 août 2018 avec la démobilisation.

Secteur Massena Ilot M10 VP

A la mi-avril 2018, le groupement Chantiers Modernes / Soletanche Bachy France / Botte Fondations / Matière a été désigné adjudicataire du dernier marché de couverture des voies SNCF, dans le XIIIe arrondissement de Paris. Ce marché sera réalisé pour le compte de la SEMAPA, avec SNCF Réseaux agissant en qualité de maître d'œuvre et de maître d'ouvrage délégué.

Les travaux de fondation consistent en deux files de barrettes en parois moulées (2.80 m x 1.20 m), ancrées pour une partie dans le calcaire grossier, et pour une autre dans les sables du Sparnacien avec injection de la pointe.

Les travaux situés dans le faisceau ferroviaire nécessiteront la mobilisation d'une Hydrofraise® compacte HC05 pendant plus de la moitié de l'année 2019.

La file F située à proximité de voies en service et d'une trémie ferroviaire en mauvais état est particulièrement sensible : une dalle en béton armé, fondée sur micropieux, devra être réalisée au préalable pour éviter de solliciter le piédroit de l'ouvrage avec l'Hydrofraise®.

Le groupement est dès à présent mobilisé pour mener à bien ce chantier qui devrait s'achever pour les fondations à la fin de l'année 2019, et pour l'ensemble des travaux à l'été 2023.

Tunnel de Meudon

Dans le cadre de l'amélioration des conditions d'évacuation concernant les usagers du tunnel de Meudon sur la ligne C du RER, Soletanche Bachy France, Bessac et Chantiers Modernes Construction se sont associés pour réaliser un tunnel de 1700 m de longueur et deux rameaux de connexion à l'ouvrage SNCF.

En phase préparatoire du projet, SBF est en charge des travaux suivants :
- **Réalisation des fondations de la dalle portée et de la grue à tour**
SBF a confié à SB Fondations Spéciales la réalisation de 4 pieux de grue, ainsi que d'une centaine d'inclusions. Ces inclusions sont sécantes et assurent la descente de charge d'une dalle portée de part et d'autre du futur tunnel, permettant ainsi d'obtenir une zone de travail autorisant des surcharges importantes (livraison des éléments du tunnelier, voussoirs ...) dans une emprise exiguë.

Les inclusions ont démarré le 9 avril et ont été achevées le 24 avril 2018.

- **Réalisation d'une paroi clouée définitive**
SBF démarrera ensuite une paroi clouée définitive pour la tête de tunnel. Dimensionnée pour une durée de 100 ans, la paroi permet de redresser un talus existant sur une hauteur de 8 m, afin de dégager la zone de lancement du tunnelier.
La paroi représente une surface d'environ 225 m² et sera retenue par quelques 1600 m de clous autoforants (ou en fibre de verre dans l'axe du tunnelier).

Les premiers clous devraient être réalisés à la mi-juin. La durée des travaux est d'environ 6 semaines.

- **Injection**
Deux réseaux sensibles proches ne doivent pas tasser sous le passage du tunnelier. Des forages seront mis en œuvre sous ces derniers, afin de conforter le terrain situé entre le tunnel et les réseaux. Cette opération devrait se dérouler après la paroi clouée, pendant une durée de 4 semaines.

Lisieux

Les travaux concernent le remplacement de l'actuel passage souterrain de la gare de Lisieux. En effet, celui-ci est régulièrement inondé et difficile d'utilisation pour les personnes à mobilité réduite. Le projet prévoit donc la construction d'une passerelle d'une longueur d'environ 82 m.

Celle-ci sera fondée sur les quatre quais de la gare par des semelles sur micropieux de type III (12 à 20 m de profondeur) et sera munie d'ascenseurs nécessitant la réalisation d'un soutènement en paroi microberlinoise pour les fosses. La SNCF a choisi le groupement Soletanche Bachy France / Baudin Châteauneuf (mandataire) / Berthold.

La maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre sont assurées par la SNCF.
Le chantier est réparti en quatre tranches :
- Tranche 1 (quai 1) = 15 mars au 12 avril, de jour
- Tranche 2 (quai 4) = 14 au 29 mai, de jour
- Tranche 3 (quai 2) = 11 au 29 juin, de jour
- Tranche 4 (quai 3) = 1er au 25 octobre, de nuit

A ce jour, les tranches 1 et 2 sont terminées.

D'un point de vue plus technique, les micropieux (112 unités) sont de type III, auto-forés en arase basse.

Des essais préalables ont été effectués afin d'optimiser le dimensionnement des micropieux. La technique ISU a également été testée dans ce cadre et a montré des résultats équivalents à l'IGU.

Créteil l'Echat interconnexion

Le chantier d'interconnexion Ligne 8 – Ligne 15 du métro parisien a pour vocation d'améliorer les capacités d'accueil de la gare de Créteil l'Echat. Une augmentation du flux de voyageurs est en effet prévisible lors de la mise en service de la ligne 15 Sud, dont les équipes du T2A réalisent actuellement la gare.

Ce chantier, sous maîtrise d'œuvre RATP, est réalisé par un groupement d'entreprises, composé de Chantiers Modernes, Soletanche Bachy France et Soletanche Bachy Fondations Spéciales. Il se compose de trois zones d'intervention. Il s'est agissait dans un premier temps de réaliser, sous hauteur limitée et dans un espace confiné, une série de 25 micropieux type II autoforés d'une vingtaine de mètres de profondeur, afin de permettre un élargissement du couloir d'accès au métro. Grâce aux performances d'une foreuse compacte et silencieuse (car électrique), ainsi qu'à la bonne tenue du chantier par les équipes, ces micropieux, initialement prévus de nuit, ont pu être réalisés en partie de jour, facilitant ainsi la production.

Les équipes de Soletanche Bachy France réalisent actuellement, de nuit, les 10 micropieux situés le long des voies et profonds d'une vingtaine de mètres qui permettront à terme la création d'un nouveau quai.

Enfin, la dernière intervention aura lieu en août 2018 ; elle consistera à réaliser 38 micropieux de 15 à 30 m de longueur, afin de venir ancrer au terrain un ouvrage permettant le passage des voyageurs sous les voies du métro. Cet ouvrage, composé d'une partie coulée en place et d'une partie préfabriquée, sera mis en place lors d'un long week-end de coupure à la mi-août 2018, préalablement à l'intervention des équipes de Soletanche Bachy France.

Tunnel de Bastia

Le tunnel sous le vieux port de Bastia a été réalisé dans les années 80 et nécessite aujourd'hui une rénovation d'envergure, notamment sur un joint de caisson.

Afin d'intervenir sur ce joint, un terrassement sous-marin est réalisé au droit des quais existants du vieux port. Soletanche Bachy intervient, afin de conforter ces quais à l'aide de la technique du jet grouting.

Côté Est de la souille (terrassement sous-marin), le quai appelé môle génois est conforté par des colonnes de jet, dont l'ensemble forme un mur poids : 105 colonnes sont ainsi à réaliser entre 12 et 15 m de profondeur.

Ces colonnes sont réalisées à l'aide d'une foreuse longue course qui permet un gain de temps non négligeable.

Côté Ouest de la souille, le quai repose sur des piles. Ces dernières sont à reprendre en sous-œuvre par des colonnes de jet armées et ancrées dans un substratum calcaire.

Une phase de remplissage avant intervention est prévue, car des affouillements ont été repérés sous les piles.

NOTRE EXPERTISE

Une nouvelle méthode d'injection de micropieu : l'injection de serrage unitaire

Paul VIDIL1, Aurélien PRUGNAUD1, Nicolas UTTER1, Patrick BERTHELOT2
1 SOLETANCHE BACHY, Rueil-Malmaison, France
2 BUREAU VERITAS, Aix en Provence, France/PBE CONSEILS, Sanary sur mer, France

RÉSUMÉ – La norme NF P94-262 définit quatre types de micropieux. Parmi ceux-ci, les micropieux type III sont ceux qui donnent les résultats d'essais les plus variables, en termes de frottement axial. Le présent article traite d'un nouveau type de micropieu, sous Injection de Serrage Unitaire (ISU), visant d'une part à améliorer la qualité d'exécution des micropieux injectés, et d'autre part à rendre plus efficace leur réalisation.

ABSTRACT – The French code NF P94-262 defines 4 micropiles types; one of them, the post grouting single-stage micropile (type III), varies widely when it comes to trial tests. The hereby article deals with a new micropile type, under single-stage immediate post grouting (ISU), in order to increase the grouting quality and to make more effective the micropiles completion.

1. Introduction

La Norme d'Application Nationale de l'Eurocode 7 pour les fondations profondes, NF P94-262, définit quatre types de micropieux dans son annexe A : les micropieux type I et II, les micropieux injectés mode IGU (type III, alias MIGU) et mode IRS (type IV, alias MIRS). Or, les micropieux type III sont en réalité ceux qui donnent les résultats les plus variables en termes de résistance de frottement axial, car ils sont fortement tributaires du temps d'attente entre le remplissage du coulis de gaine et l'injection d'un deuxième coulis sous pression dans le forage.

Le présent article traite d'un nouveau type de micropieu, sous Injection de Serrage Unitaire, dit micropieu ISU, qui est l'aboutissement d'une démarche visant d'une part à améliorer la qualité d'exécution des micropieux injectés, et d'autre part à rendre plus efficace leur réalisation.
Ce procédé fait l'objet d'un Cahier des Charges Particulier, conformément à l'article 9 du premier chapitre de la norme NF P94-262. De plus, le système ISU a fait l'objet d'un dépôt de brevet.

2. Présentation générale du procédé

La particularité du système d'injection, en lieu et place du tube à manchettes utilisé pour les micropieux de types III et IV, est une virole en tête de forage, venant chapeauter l'armature et permettant l'injection du micropieu. (cf. fig. 1).
L'amélioration de la qualité d'exécution se fait en supprimant le temps d'attente entre le remplissage du coulis de gaine et l'injection du deuxième coulis sous pression dans le forage. Cela permet de s'affranchir du risque d'une prise excessive de la gaine, ne permettant plus sa traversée radiale par le coulis injecté ensuite sous pression, et a contrario d'une prise insuffisante de la gaine, permettant des fuites de coulis vers la surface

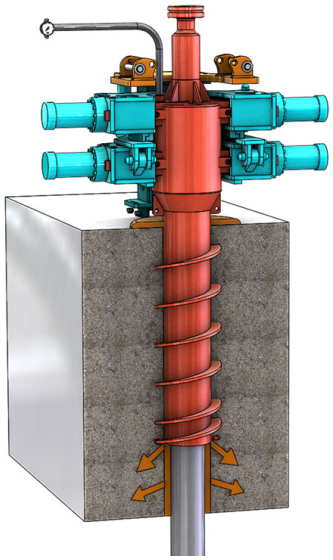

Figure 1. Principe général

L'efficacité se traduit par un gain global de temps.
Le procédé permet ainsi d'optimiser chacune des phases nécessaires à la réalisation complète d'un micropieu :
1) durant le forage, par le recours au Hi'Drill® ;
2) pendant l'équipement, avec la méthode autoforée ;
3) et lors de l'injection, avec le système ISU.

3. Différentiant technique

Le concept de micropieu autoforé Hi'Drill® avec Injection de Serrage Unitaire est détaillé ci-dessous :
· la méthode de forage est « Hi'Drill® » ; c'est-à-dire qu'en plus de l'action traditionnelle de la tête sur les tiges de forages en translation et rotation, la pénétration dans le terrain peut être améliorée par l'entraînement des tiges de forage en vibration axiale, à une fréquence comprise entre 50 Hz et 200 Hz.
· la méthode de mise en place de l'armature est « autoforée » ; l'outil de forage est perdu et les tubes ont pour fonction définitive l'armature du forage.
Or un micropieu dont le forage a été fait en Hi'Drill®, ou un micropieu qui a été fait à l'outil perdu se calcule usuellement en appliquant la norme NF 94-262. Le caractère innovant est clairement l'Injection de Serrage Unitaire ; les procédés «Hi'Drill®» et «autoforé» ont été ajoutés pour maximiser l'efficacité lors de la réalisation du micropieu.
Il arrive néanmoins que le Hi'Drill® ne permette pas d'apporter un gain d'efficacité significatif dans la réalisation des micropieux ; il est alors remplacé par une autre méthode de forage plus adaptée. Cela concerne certains projets spécifiques, suivant
· les caractéristiques des sols rencontrés : par exemple dans un terrain homogène et/ou facile à forer,
· et/ou le type d'ouvrage à réaliser : par exemple des micropieux courts où le temps de forage impacte peu le temps total de réalisation,
· et/ou la configuration du site : par exemple du fait d'une inadéquation des dimensions ou de la cinématique des foreuses Hi'Drill®,
· et/ou d'autres contraintes particulières.

4. Aspect normatif

Dans l'article 9 du premier chapitre de la norme d'application nationale de l'Eurocode 7 pour les fondations profondes, NF P94-262, il est indiqué :

(9) Des procédés de fondations profondes non décrits dans le présent document, soit en termes d'exécution, soit en termes de matériaux constitutifs, pourront être utilisés à condition qu'ils aient fait l'objet d'un cahier des charges particulier comprenant les spécifications d'exécution bien précises, ainsi que les valeurs adéquates des paramètres de capacité portante et de résistance des matériaux. Ces valeurs devront être basées sur des justifications expérimentales. Notamment, en ce qui concerne la capacité portante, les valeurs des paramètres doivent être déduites d'un ensemble d'essais de chargement de pieux réalisés dans des contextes géotechniques comparables couvrant ceux prévalant pour le projet.

Le procédé de micropieux autoforés Hi'Drill® ISU rentre donc tout à fait dans la catégorie de ces procédés non décrits dans la norme NF P94-262.

5. Mise en œuvre

Les tubes d'armatures du micropieu sont utilisés comme tiges de forage, avec, à leur extrémité, un outil de forage débordant, de diamètre correspondant à celui du forage et adapté au terrain (couronne, pleine face, tricône, trilame ou autre).

La circulation du fluide de forage (air, eau, mousse, boue, coulis ou autre) se fait au travers des tiges de forage jusqu'à l'ouverture au niveau de l'outil de forage, puis remonte via l'espace annulaire entre les parois du forage et les tiges. Cette circulation permet l'évacuation des déblais générés par le forage. Le fluide utilisé peut également permettre, si nécessaire, de stabiliser les parois du forage et de maintenir le niveau hydrostatique.

L'avancement du forage jusqu'à la profondeur requise est permis par l'action de la tête de la foreuse sur les tiges de forage.

Au fur et à mesure de l'avancement du forage, des tiges de forage sont raboutées par vissage entre le train de tige déjà en place dans le forage et la tête de la foreuse. La longueur des tiges est déterminée en fonction de la longueur totale du forage et des limitations imposées par la foreuse ou par la configuration du site.

En cours de forage, le système d'acquisition de données de type Sirius® permet de visualiser les valeurs des paramètres de forage (circulation du fluide, translation, rotation, vibration).

La profondeur requise atteinte, il est procédé à la substitution de fluide de forage par le coulis de scellement avec un E/C variant de 0.42 à 0.55 (soit un C/E variant de 1.8 à 2.4). Ce coulis suit la même circulation que le fluide de forage au travers des tiges de forage jusqu'à l'ouverture au niveau de l'outil de forage, puis il remonte via l'espace annulaire entre les parois du forage et les tiges. L'opération est terminée lorsque le coulis de scellement s'est substitué au fluide de forage, et a complètement rempli le forage jusqu'à la surface, jusqu'à déborder.

La tête de la foreuse est ensuite déconnectée du train de tige de forage. Le train de tige est laissé en place dans le forage et prend alors sa fonction définitive de tube d'armature du micropieu.

Juste après l'opération précédente, et avant le début de la prise du coulis, le système de virole d'injection est mis en place entre les guillotines de la foreuse avec les moyens adaptés de levage disponibles sur site (par exemple : mini pelle, treuil).

Figure 2. Virole à moitié vissée

Le système est alors raccordé à la tête de rotation via le train de tige.

Une fois les guillotines ouvertes, le système vient coiffer le micropieu (sauf dans le cas d'arase basse supérieure à 1 m), et est entrainé en rotation (cf. fig. 2) jusqu'à s'ancrer dans le terrain sur une profondeur de 1 m minimum, afin d'éviter la résurgence du coulis lors de l'injection.

La conduite d'injection (cf. fig. 3) est ensuite raccordée à la tête de ce système, ce dernier étant toujours liaisonné à la tête de rotation, afin d'empêcher sa remontée du fait des sous-pressions liées à l'injection.

Figure 3. Injection en tête

L'injection au coulis E/C de 0.42 à 0.55 (soit un C/E de 1.8 à 2.4) est poursuivie jusqu'à l'obtention d'au moins l'un des deux critères suivant :

- pression d'arrêt : 1 MPa,
- volume d'arrêt : max (1,5 fois le volume théorique de la partie scellée définie par le calcul ; 0,5 fois le volume théorique du micropieu).

Une fois l'un des deux critères d'arrêt atteint, le micropieu ISU est terminé, la conduite d'injection peut être enlevée et le système dévissé du terrain et de la foreuse afin de réaliser le micropieu suivant.

Le délai entre la fin de la réalisation du coulis de scellement et le début de l'ISU doit rester inférieur à une heure.

L'exécution consécutive de deux micropieux voisins, avant prise du coulis, n'est possible que si la distance entre axes est théoriquement au moins égale à 1,5 fois la somme des diamètres des deux micropieux. Afin de limiter les risques de communication, il est néanmoins conseillé de les espacer davantage.

Toute remontée de fluide de forage ou de coulis dans un micropieu voisin doit immédiatement être signalée. Les deux micropieux concernés par cet incident doivent être vérifiés, voire reforés ou remplacés, et les dispositions d'exécution des micropieux suivants modifiées en conséquence.

6. Dispositions constructives

Outre les prescriptions générales relatives à l'exécution des micropieux, les dispositions particulières suivantes sont appliquées :

- Les tubes d'armatures faisant office de tige de forage lors de la réalisation ont une épaisseur minimale de 10 mm.
- L'enrobage des tubes d'armatures hors écarteurs est égal à 20 mm au moins.
- L'ISU via le système de virole d'injection ne nécessite pas que les tubes soient équipés de pastilles ou qu'un tube à manchettes soit mis en place.
- Le frottement en partie supérieure pourra être réduit par enduisage, gainage, graissage, tubage ou toute autre méthode appropriée, sous réserve de validation par un essai.

7. Essais réalisés

Différents essais de traction de ce procédé ISU ont été réalisés dans plusieurs types de terrains, sur 3 chantiers différents, et ont été comparés à des essais menés sur les mêmes sites, sur des micropieux traditionnels de type III.

A ce jour des essais ont ainsi été menés avec le système Hi'Drill® ISU dans les terrains suivants :

- type de sol « sable grave » (dénomination géologique « alluvions anciennes »),
- type de sol « craie » (dénomination géologique « craie »),
- type de sol « marne » et « calcaire-marneux » (dénomination géologique« calcaire » et « marnes et caillasses »).

Ces essais de micropieux à la rupture ont ainsi été réalisés pour comparer d'une part des micropieux type III « classiques » forés, puis équipés de tubes à pastilles sur la hauteur scellée, et d'autre part des micropieux autoforés Hi'Drill® ISU.

Dans ces 4 terrains testés, il est possible de déterminer les valeurs de q_s à partir des abaques présentes dans la norme NF P 94-262 pour des micropieux de type III. Les résultats sont les suivants :

Tableau 1. Résultats des abaques

Terrain	p_l (MPa)	a	b	c	f_{sol} (MPa)	Micropieux type III $\alpha_{pieu-sol}$	q_s (MPa)	$q_{s;max}$ (MPa)
alluvions	2.5	0.01	0.06	1.2	0.08	2.9	0.23	0.38
craie	3	0.007	0.07	1.3	0.09	2.4	0.21	0.32
calcaire	4.0	0.008	0.08	3	0.11	2.4	0.27	0.32
marnes et caillasses	2.0	0.008	0.08	3	0.10	2.4	0.23	0.32

Ci-dessous se trouvent les résultats des 10 essais à la rupture.

Tableau 2. Résultats des essais

terrain d'ancrage	Résultats des essais N° Essai	Technique	Ls (m)	Qtl (MN)	diamètre forage (m)	qs (MPa)
alluvions anciennes	MPE3	IGU - type III	4.5	0.79	0.18	0.31
	MPE6	ISU	4.5	0.85	0.18	0.33
craie	MPE1	IGU - type III	5	1.20	0.25	0.30
	MPE2	IGU - type III	5	1.21	0.25	0.31
	MPE4	ISU	5	1.19	0.25	0.30
	MPE5	ISU	5	1.18	0.25	0.30
calcaire	MP 1	IGU - type III	4	1.07	0.15	0.57
	MP 2	ISU	4	1.07	0.15	0.57
marnes et caillasses	MPTYPE III	IGU - type III	6	1.08	0.25	0.23
	MP ISU	ISU	6	> 1.15	0.25	> 0.24

En dernière colonne est ajoutée le frottement latéral limite q_s déduit en divisant Q_{tl}, l'effort de traction à la rupture, par le périmètre théorique de forage et par la hauteur scellée. Il est sciemment fait abstraction des coefficients de sécurité d'une part sur les valeurs issues d'abaques et d'autres part sur les valeurs issues d'essais, afin de pouvoir étudier des choses comparables.

Comme ce calcul du q_s prend uniquement en compte la longueur scellée, cela implique qu'un dispositif efficace de chemisage de l'armature soit mis en place sur la partie libre. Malgré ce dispositif, il n'est pas rare, lors d'essais de micropieux avec armatures tubulaires, qu'il faille attendre les premiers paliers de chargement pour que la totalité des frottements parasites sur la longueur libre soit consommée (cf. fig. 4) ; d'où un tracé de courbe pression/déplacement initialement au-dessus du fuseau théorique correspondant aux diagrammes linéaires de tension (longueur libre Ll + longueur extérieure Le, et longueur libre Ll + longueur extérieure Le + moitié de la longueur scellée Ls). Cela ne prête néanmoins pas à conséquence sur l'interprétation finale et le calcul correspondant du q_s, car les paliers de chargement suivants « entrent » dans le fuseau.

Une autre manière d'illustrer la fin des frottements parasites sur la longueur libre est d'estimer l'évolution du point d'ancrage fictif dans le micropieu, au gré des paliers de chargement (cf. fig. 5).

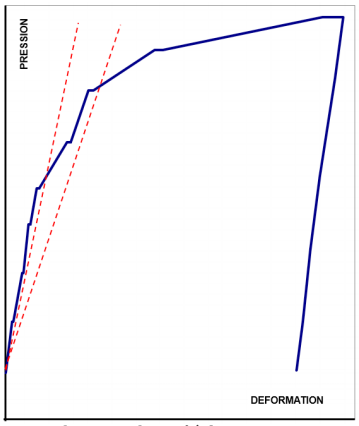

Figure 4. Courbe-type d'essai à la rupture sur armature tubulaire

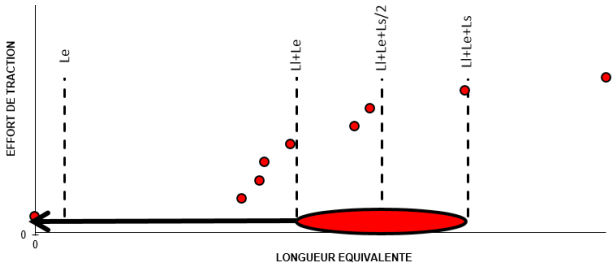

Figure 5. Exemple d'évolution du point d'ancrage fictif dans le micropieu

Sur le graphe en fig. 6 sont superposées, pour chaque terrain d'ancrage les frottements latéraux issus de la norme NF P 94-262 pour des micropieux de type III (q_s et $q_{s;max}$), et les q_s issus des essais (type III et ISU).

Les enseignements à tirer des 10 essais dans les alluvions anciennes, la craie, le calcaire, et les marnes et caillasses sont les suivants :

- les charges obtenues de fluage ou à la rupture sont comparables entre les micropieux type III et les micropieux ISU
- les valeurs de frottement latéral sont quasiment les mêmes entre des micropieux type III et des micropieux Hi'Drill® ISU,
- les frottements latéraux limites q_s obtenus sont

supérieurs aux valeurs de l'abaque, et peuvent être d'ailleurs supérieurs pour certains terrains aux valeurs de $q_{s;max}$ de la norme NF P 94-262.

Le procédé Hi'Drill® autoforé ISU est par conséquent équivalent en termes de frottement latéral à des micropieux injectés mode IGU (type III).
Il est donc possible, dans les terrains cités ci-dessus, de ranger la technique de mise en œuvre « Micropieu Hi'Drill® autoforé ISU », en classe 8 et en catégorie 19 (au sens de l'annexe A de la norme NF P94-262), comme les micropieux type III.

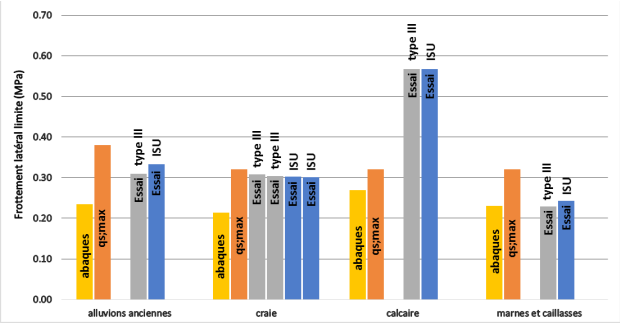

Figure 6. Frottements latéraux estimés et mesurés

D'autres essais vont être menés prochainement. Cela permettra au fur et à mesure de constituer une base d'essais avec ce procédé, dans le but à terme de définir des abaques associés à un nouveau jeu de coefficients de modèle.

8. Conclusions

L'objet de cette procédure est de décrire la méthodologie d'Injection de Serrage Unitaire (ISU) des micropieux. L'objectif de ce mode d'injection est de pouvoir injecter le coulis sous pression juste après réalisation du forage et équipement, sans attendre la prise du coulis de gaine.

Les essais réalisés jusqu'à présent permettent de conclure d'une part que le comportement sous charge d'essais est tout à fait équivalent entre un micropieu type III et un micropieu ISU, et d'autre part que les frottements latéraux obtenus sont supérieurs à ceux des abaques de la norme NF P 94-262.
Ce procédé pourrait être particulièrement intéressant pour les chantiers à forte contrainte horaire, notamment dans le cas de réalisation de micropieux pour la SNCF sous interruption du trafic.
Une évolution possible de ce nouveau procédé est de mettre en place la virole dans le sol préalablement à la réalisation du forage du micropieu ; cela pourrait ainsi constituer un tubage provisoire en tête dans des terrains particulièrement ouverts.

9. Références bibliographiques

Cahier des charges particulier. (2017). Micropieu autoforé Hi'Drill® avec Injection de Serrage Unitaire – Soletanche Bachy.
NF EN 14199. (2015). Exécution des travaux géotechniques spéciaux - Micropieux.
NF EN 1997-1. (2005). Eurocode 7 : Calcul géotechnique - Partie 1 : Règles générales.
NF P94-262. (2012). Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'Application Nationale de l'Eurocode 7 - Fondations profondes.

NOS IMPLANTATIONS

Retrouvez nos agences et nos filiales en france

AGENCES

			Tél.	Fax
NORD	Hubert GRUNEWALD	Rueil	01 47 76 56 10	01 40 90 02 97
· IdF service confortements	Guillaume DOUHERET	Rueil	01 47 76 56 10	01 40 90 02 97
· Antenne Est	Guillaume CATEL	Strasbourg	03 88 38 87 39	03 88 38 84 25
· Normandie	Stéphane GALY	Rueil	01 47 76 56 40	01 40 90 02 88
· Bretagne - Pays de la Loire	Mehdi BENHABBARI	Rueil	01 47 76 55 72	01 40 90 02 97
· Hauts-de-France	Guillaume CATEL	Lille	03 20 50 92 92	03 20 50 93 83
SUD	Tony CHIGNARD	Aix-en-Pce	04 42 99 03 50	04 42 21 25 64
· Rhône-Alpes	Laurent AUBERT	Lyon	04 78 31 51 71	04 72 02 79 91
· Côte d'Azur	Pierre-Yves MAURY	Sophia Antipolis	04 93 00 12 42	04 93 00 12 43
· Bordeaux	Axel TERLAUD	St Médard	05 56 05 25 25	05 56 05 77 13
· Toulouse	David COUSIN	Toulouse	05 61 35 84 55	05 62 79 13 20
LA RÉUNION	Tony DEL GIUDICE	Rueil	01 47 76 55 33	01 40 90 02 97

FILIALES

SOLETANCHE BACHY FONDATIONS SPECIALES				
· Siège				
Direction	Eric TOURNEMILLE	Wissous	01 56 70 42 00	01 56 34 03 88
	Antoine D'HALLUIN	Wissous	01 56 70 42 00	01 56 34 03 88
· Antennes				
Région parisienne & Normandie	Xavier BARTHE	Wissous	01 56 70 42 00	01 56 34 03 88
Est	Guillaume CATEL	Strasbourg	03 88 38 87 39	03 88 38 84 25
Nord - Luxembourg	Anthony RE	Lille	03 20 50 92 92	03 20 50 93 83
Ouest Bretagne	Frédéric TALOTTE	Nantes	02 40 92 26 36	02 40 92 26 30
Sud	Elric COMTE	Aix-en-Pce	04 42 99 03 50	04 42 21 54 93
Rhone Alpes	Regis LEBEAUD	Lyon	04 72 76 82 82	04 78 61 10 88
SB TUNNELS	Patrick ROLANDETTI	La Garde	04 94 21 70 42	04 94 21 71 55
BESSAC	Bernard THERON	Toulouse	05 61 37 63 63	05 61 09 26 29
BACHY FONDACO (Antilles - Guyane)	Frédéric KISSLING	Fort de France	05 96 71 44 01	05 96 72 42 41
BALINEAU	Hervé DUPLAINE	Pessac	05 57 89 16 78	05 56 07 34 78

www.soletanche-bachy.com

© 2018 Soletanche Bachy France - Les textes, photos et autres informations contenus dans ce document sont la propriété du groupe Soletanche Bachy France.
Toute reproduction, représentation ou autre usage sans le consentement préalable Soletanche Bachy France est illicite.