

Evaluation du procédé géotechnique SOLTECH PERFORMANCE ®

Nom du procédé	PROCEDE SOLTECH PERFORMANCE Pieux forés à la tarière creuse continue équipée d'un tube plongeur télescopique, à contrainte de béton améliorée
Demandeur	SOLTECHNIC PIEUX 138 avenue d'aquitaine 33520 BRUGES

L'évaluation du renouvellement du procédé géotechnique SOLTECHNIC PIEUX a été conduite par l'Université Gustave Eiffel et le Cerema et approuvée de manière consensuelle par une commission dont le rôle et la composition sont précisés dans le référentiel relatif à l'évaluation des procédés géotechniques.

Les conclusions sont détaillées en page 2.

L'évaluation repose sur :

- la demande de l'entreprise SOLTECHNIC PIEUX sollicitant l'Université Gustave Eiffel et le Cerema pour l'instruction du cahier des charges « Procédé SOLTECHNIC PERFORMANCE ® » avec l'engagement que la mise en œuvre du procédé n'a pas été identifiée comme une source de potentiels désordres ;
- l'analyse des performances du procédé géotechnique SOLTECHNIC PERFORMANCE ® dans le cadre d'une mission réalisée par l'Université Gustave Eiffel et le Cerema avec l'appui d'un expert. Les conclusions de cette mission sont consignées dans un rapport d'analyse qui est présenté en annexe 1 ;
- le référentiel pour l'évaluation des procédés géotechniques (version 1 en date du 27/02/2019) ;
- le compte rendu de décision EPG- réunion 18

Fontenay-sous-Bois, le 24/02/2024.
Fabien Szymkiewicz

Cécile Maurel

Université Eiffel /GERS/SRO

Cerema Direction Territoriale Ile-de-France
Département Infrastructures Risques
Matériaux



1. Présentation du procédé

Le procédé SOLTECH PERFORMANCE ® fait partie de la famille des pieux forés injectés au tube plongeur.

Il est développé par SOLTECHNIC PIEUX à partir d'une tarière continue à axe creux modifiée et améliorée. Les spécificités du procédé par rapport à la technique de pieux à la tarière creuse (classe 2) telle que définies §A3.1 de la norme NF P94-262/A1 sont les suivantes :

- Le bétonnage est réalisé au moyen d'un tube plongeur télescopable d'une longueur minimale de 80 cm, assurant une injection du béton sous faible pression, au tube plongeur. La base du tube plongeur reste constamment immergée dans le béton ouvrable qui vient d'être mis en place. Ce tube télescopable est actionné gravitairement et sous l'effet de la pression du béton.
- Durant tout le bétonnage et la remontée de l'outil, l'ouverture complète du télescope est contrôlée et enregistrée au moyen d'un dispositif spécifique ;
- A l'issue du bétonnage, la sortie adaptée du télescope durant toute l'opération de bétonnage est contrôlée par l'opérateur, permettant le cas échéant de prévoir des actions correctrices en cas de non-respect des conditions de bétonnage au tube plongeur.
- Les paramètres de forage et bétonnage sont visualisés en continu par le foreur, permettant le cas échéant d'adapter la méthodologie de forage aux terrains rencontrés.
- Des engins de forage munis d'un système de vérinage de la tarière « pull down » assurent ainsi une pénétration de la tarière avec un nombre de rotations minimal et adapté au sol traversé,
- Des procédures internes et contrôles intérieurs complémentaires à la réglementation en vigueur sont également prévus au plan d'assurance qualité de l'entreprise détaillé en annexe du présent avis §4.

Le dispositif de tube plongeur employé pour ce procédé est classé **groupe 1- passif**, selon la nomenclature EPG retenue par la commission EPG – R18 de décembre 2022.

2. Référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique SOLTECH PERFORMANCE ®

Le référentiel retenu pour l'évaluation du procédé comprend :

- l'Eurocode 7 partie 1 avec son annexe nationale française ;
- l'Eurocode 7 partie 2 ;
- la norme NF P 94-262 et son amendement pour l'application nationale de l'Eurocode 7 à la justification des fondations profondes;
- la norme européenne d'exécution NF EN 1536 ;
- Cahier Technique 38- Avril 2017 - Guide pour la conception et le dimensionnement des fondations profondes sous actions sismiques des bâtiments à risque normal – AFPS ;
- le référentiel pour l'évaluation des procédés géotechniques (version 1 en date du 27/02/2019) ;
- le compte rendu de décision EPG- réunion 18.

3. Documents

Les documents examinés dans le cadre de la mission confiée à l'Université Gustave Eiffel et au Cerema sont les suivants :

- le cahier des charges du procédé géotechnique SOLTECH PERFORMANCE ® version C de février 2024,
- les PV d'essais et la synthèse des divers essais (essais de résistance du béton, extraction de pieux, essais d'intégrité par impédance et sonique) réalisés sur 5 sites ;

- l'avis des experts mandatés par SOLTECHNIC PIEUX :
 - o Note INFRANEO – affaire IN22 03525 RAP01 du 09/12/2022
 - o Note SOCOTEC - analyse résistance béton du 11/12/2023

4. Historique

D'un point de vue historique :

- cinq chantiers test ont été entrepris depuis 2021 pour mettre au point le procédé et analyser ses performances,
- 295 pieux d'ouvrages : du diamètre 42 cm au 82 cm et de 5 à 26.5 m de profondeur, ont été mis en œuvre sur des ouvrages existants,
- le procédé SOLTECH PERFORMANCE ® est encadré par une enquête de technique nouvelle (ETN), depuis Janvier 2023.

A ce jour, le procédé SOLTECH PERFORMANCE ® ne présente aucun retour de sinistralité.

5. Domaine d'emploi

Le domaine d'application concerne les pieux porteurs ou de soutènement, de tous types d'ouvrages (bâtiments, ouvrages d'art, tours, mâts, cheminées et silos) en situation de calcul sismique ou non, aussi bien public que privé.

Le procédé peut être employé dans tous types de terrains dans lesquels les conditions adaptées de forage avec les moyens dédiés ont été démontrées, si nécessaire par un essai de faisabilité en début de chantier.

Dans le cas des sols dits sensibles aux sens de la norme NF EN 1536 (terrains très mous, conditions de site avec nappe artésienne, ...) la qualité du bétonnage et l'intégrité des pieux doivent être vérifiés par des essais d'intégrité après réalisation.

6. Note à l'intention du maitre d'œuvre et des contrôleurs

Le recours à un procédé de type « SOLTECH PERFORMANCE ® » est généralement à considérer sur les projets de pieux comme une adaptation technique à la solution de pieux retenue par le marché.

Il convient alors de s'assurer que la synthèse géotechnique prévue en phase conception, mission G2 au sens de la NF P94-500 (ou similaire), est adaptée à ce procédé.

L'emploi de ce procédé est soumis l'appréciation du maitre d'ouvrage sur conseils de son maitre d'œuvre, et généralement du géotechnicien qui ne dépend pas du maitre d'œuvre et du bureau de contrôle. Ce conseil intervient idéalement lors de la phase Assistance pour la passation des Contrats de Travaux (phase ACT).

7. Avis

L'Université Gustave Eiffel et le Cerema sur la base des différents documents examinés, du rapport d'analyse présenté en annexe 1 et de la présentation du procédé géotechnique devant la commission dédiée réunie à l'Université Gustave Eiffel le 20 septembre 2023, estiment que le procédé géotechnique SOLTECH PERFORMANCE ® mis en œuvre par la société SOLTECHNIC PIEUX et décrit par le cahier des charges version C en date de Février 2024 est apte à satisfaire les exigences de fiabilité et de robustesse requis par le référentiel retenu.

8. Validité et conditions particulières

La présente évaluation est valable jusqu'au 23/02/2026.

SOLTECHNIC PIEUX devra informer l'UGE ou le Cerema de tout incident ou désordre provoqué par la mise en œuvre du procédé géotechnique SOLTECH PERFORMANCE ® et de toute modification apportée au procédé durant cette période de validité.

Conditions spécifiques pour le prochain renouvellement :

L'UGE - Cerema conseillent à SOLTECHNIC PIEUX de poursuivre sa démarche de capitalisation de résultats sur ce procédé.

Il sera notamment demandé de présenter et analyser :

- un minimum de 20 essais d'intégrité par transparence sonique (cf NF P 94-160- 1) effectués sur toute la hauteur de pieux effectués selon le procédé SOLTECH PERFORMANCE ®. Les essais devront être documentés.
- Une dizaine d'essais de maintien de stabilité des bétons (cf XP P 18-468 et XP P 18-475) réalisés tout au long de la période de validité du cahier des charges.

Annexe 1 – Rapport d'analyse du procédé géotechnique SOLTECH PERFORMANCE ®

1. Spécificités du procédé SOLTECH PERFORMANCE ®

Le procédé SOLTECH PERFORMANCE ® déroge à la norme de justification des fondations profondes NF P 94-262, pour le calcul de la résistance du béton (voir § 2 ci-après).

Cette dérogation s'accompagne de l'adoption d'un certain nombre de règles internes et de contrôles complémentaires (voir notamment § 3 ci-après).

2. Résistance du béton

Deux paramètres du calcul sont modifiés :

- $k_1=1,05$, et
- la valeur de k_2 est réduite de 10 % par rapport aux valeurs normatives définies dans la clause 6.4.1 (6) de la NF P 94-262, sans être inférieure à 1,0.

Ces valeurs sont justifiées par :

- le système qualité interne mis en place par l'entreprise, avec notamment la réalisation systématique de contrôle d'intégrité des pieux dans les sols dits « sensibles » (voir § 3 ci-dessous),
- et 5 campagnes d'essais pour différentes conditions de sols et nappes regroupant :
 - o la réalisation de 37 essais d'intégrité (essais d'impédance et essais soniques) réalisés sur des pieux sous procédé **SOLTECH PERFORMANCE ®**
 - o le carottage toute hauteur de 12 pieux de diamètre 52 à 72 cm, réalisés dans diverses natures de sol, sous nappe et hors nappe.
 - o Des essais sur béton durci sur 84 carottes prélevées in situ sur des pieux **SOLTECH PERFORMANCE ®**, comparés à des essais sur 43 éprouvettes témoins,
 - o l'analyse visuelle de 6 pieux déterrés.

Les résultats des essais montrent :

- une absence de défaut de bétonnage ou singularité pour les différents pieux testés par les différentes méthodes d'essais d'intégrité et/ou par carottage,
- une interface pieu/sol relativement régulière, exempte de défauts manifestes et inclusions,
- des diamètres de pieux déterrés systématiquement identiques ou légèrement supérieurs aux diamètres théoriques des pieux,
- une comparaison statistique selon la norme NF EN 13791/CN entre les valeurs de résistance à la compression R_c sur carottes de béton et les valeurs de résistance R_c des bétons livrés, démontrant l'obtention d'un facteur de réduction de la résistance intrinsèque $k_1.k_2$ inférieur à 1,05.
- une augmentation graduelle de la résistance intrinsèque des pieux, avec l'augmentation du béton livré,
- une absence d'effets notables sur le coefficient de réduction $k_1.k_2$, avec l'augmentation des classes de résistance de bétons testés comprises entre C30/37 à C40/50.

3. Système qualité interne spécifique au procédé SOLTECH PERFORMANCE ®

Pour garantir l'obtention de ces performances améliorées sur les différents chantiers réalisés sous procédé **SOLTECH PERFORMANCE ®**, SOLTECHNIC PIEUX a étoffé son système de qualité interne avec notamment :

- la désignation d'un référent béton au sein de son service,

- le recours à des bétons présentant des classes de consistance et de maintien rhéologique encadrés,
- la réalisation systématique et journalière d'essais de contrôle de rhéologie et d'essais visuels de ressuage sur béton frais complémentaires aux recommandations en vigueur,
- la capitalisation de leurs résultats sur les essais de maintien de stabilité des bétons frais,
- la réalisation systématique d'un pieu de convenance au démarrage de ses projets, validant notamment la méthodologie de forage et de bétonnage qui sera employée sur le projet.

Dispositions spécifiques au forage :

L'adéquation de la méthodologie de forage des terrains est avantageusement obtenue par l'utilisation de matériel de forage disposant systématiquement d'un dispositif de vérinage de la tarière lors du forage (« pull down »). Ce dispositif offre ainsi la liberté au foreur d'adapter sa vitesse de rotation, son couple de rotation et sa force d'appui pour obtenir une pénétration suffisante des outils tout en minimisant la remontée de matériaux durant toute l'opération de forage.

Dispositions spécifiques au bétonnage :

Sur chantier, le respect des conditions de bétonnage au tube plongeur, pour chaque pieu, est contrôlé et enregistré par un matériel spécifique interne. Les points de contrôles minimaux sont :

- une ouverture du télescope et un bétonnage du pieu sous faible pression au plus tard après une remontée maximale de 25 cm de la tarière. Cette condition réduit le risque d'instabilités des parois et favorise l'effet de chasse assurant ainsi la remontée des éventuelles impuretés présentes en fond de forage,
- puis un déploiement progressif du télescope au début du bétonnage, de façon à obtenir, après une remontée de la tarière de 80 cm et ensuite durant tout le reste de l'opération de bétonnage, un niveau de base du tube plongeur situé systématiquement 80 cm sous le niveau du béton frais. Cette disposition assure ainsi la remontée du premier béton et des éventuelles impuretés jusqu'à la tête des pieux pour évacuation et arasement.

En cas de non-respect de l'une de ces deux conditions, le contrôle et l'enregistrement de la course du télescope permet automatiquement de mettre en place des actions correctrices comme le reforage du pieu ou la justification du pieu pour une condition de bétonnage classée à la tarière creuse de classe 2.

Cas des conditions de bétonnage sensibles :

En complément, SOLTECHNIC PIEUX s'astreint à la réalisation d'un nombre minimal d'essais d'intégrité de pieux, dans les sols ou conditions de sols dits sensibles pour le bétonnage des pieux selon la technique **SOLTECH PERFORMANCE** ® (et plus généralement les pieux réalisés à la tarière creuse).

Ces essais sont réalisés en cas de :

- traversée sur des épaisseurs significatives (> 2.0 mètres), des sols suivants :
 - o sables très lâches (voir définition tableau B.2.1 de la norme NF P 94-262), ou
 - o limons et argiles, très mous, de résistance en pointe $q_c < 0.6$ MPa ou pression limite net < 0.25 MPa.
- risque établi, de nappe faiblement artésienne au moment de la réalisation des pieux.

4. Utilisation pour les ponts d'ouvrage d'art

Le procédé **SOLTECH PERFORMANCE** ® répond aux exigences de la section 3.5.2.5 du fascicule 68 du CCTG relatif à l'emploi des tarières creuses pour les ponts d'ouvrage d'art.

Pour ces ouvrages à défaut de dispositions spécifiques indiquées au marché, l'annexe Q de la norme NF P 94-262 s'applique. Une valeur de C_{max} supérieure à 25 MPa et limitée à 30 MPa, peut toutefois être retenue en cas d'utilisation de béton de caractéristiques appropriées. Cette valeur doit être validée par le maître d'œuvre en charge de la conception après analyse des éventuels effets sur la souplesse des appuis.

En cas de dérogation, il est conseillé d'effectuer un suivi de maintien de stabilité du béton lors de la mise en œuvre suivant les normes cf XP P 18-468 et XP P 18-475.

Sauf prescriptions différentes, ces dispositions ne permettent pas de déroger au § Q.3.4.1.1 de la norme NF P94-262 relatif au diamètre minimaux des pieux exécutés en place.

Dossier instruit par :
Loïc LEURENT
Cerema

