

## Evaluation du procédé géotechnique

### STARSOL

<b>Nom du procédé</b>	<b>Pieu foré tarière creuse injecté au tube plongeur appelé STARSOL</b>
<b>Demandeur</b>	<b>Soletanche Bachy Fondations Spéciales</b> 21 rue du Jura 94150 Rungis

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

L'évaluation repose sur :

- la demande de l'entreprise Soletanche Bachy Fondations Spéciales sollicitant l'Université Gustave Eiffel et le Cerema pour un renouvellement du cahier des charges STARSOL avec l'engagement que la mise en œuvre du procédé STARSOL n'a pas été identifiée comme une source de potentiel de désordres ;
- la liste des chantiers réalisés par Soletanche Bachy Fondations Spéciales sur ces trois dernières années mettant en œuvre le procédé STARSOL ;
- l'analyse des performances du procédé géotechnique STARSOL dans le cadre d'une mission réalisée par l'Université Gustave Eiffel et le Cerema. 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 provisoire en date du 27/02/2019 et le CR de la réunion du 21 mars 2024 de la Commission Générale des EPG) ;

Marne La Vallée, le 1<sup>er</sup> juillet 2024.

Fabien Szymkiewicz

Univ. Gustave Eiffel



Loïc Leurent

Cerema Hauts de France



## 1. Présentation du procédé

Le procédé STARSOL fait partie de la famille des pieux forés injectés au tube plongeur.

Il est développé par Soletanche Bachy Fondations Spéciales à partir d'une tarière continue à axe creux modifiée et améliorée (selon des brevets SOLETANCHE) tout ou en partie grâce aux principes fondamentaux suivants : le bétonnage est réalisé au moyen d'un tube de bétonnage continu sur la totalité de la hauteur de la tarière, positionné dans l'âme de celle-ci. Le tube plongeur est raccordé en tête au col de cygne de bétonnage lui-même raccordé aux flexibles 4" ou 5" et au dispositif de pompage du béton. Ce tube de bétonnage, continu, est coulissant grâce aux vérins situés en tête au niveau de la table de rotation, et devient pendant le bétonnage un véritable tube plongeur télescopable sur une longueur de 1.0 m ± 0,2 m, dont la base reste constamment immergée dans le béton ouvrable qui vient d'être mis en place.

Son positionnement par rapport à la base de la tarière est vérifiable à tous les stades de l'exécution grâce à la visualisation de la course des vérins situés au niveau de la tête de rotation.

Un enregistrement continu des paramètres en temps réel sous la forme de courbe est aussi mis en œuvre, avec double affichage à la fois sur un écran devant l'opérateur et en impression papier

## 2. Référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique STARSOL

Le référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique STARSOL 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 et le CR de la réunion du 21 mars 2024 de la Commission Générale des EPG) ;

## 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 STARSOL Edition n°9 du 01/07/2024.
- la synthèse des divers essais (essais de chargement de pieux, essais de résistance du béton, etc.),
- la synthèse des chantiers réalisés depuis 2021,
- les attestations d'assurances et de travaux.

## 4. Avis

L'Université Gustave Eiffel et le Cerema sur la base des différents documents examinés, du rapport d'analyse présenté en annexe 1 estiment que le procédé géotechnique STARSOL décrit par le cahier des charges Edition n°9 en date du 1<sup>er</sup> février 2024 est apte à satisfaire les exigences de fiabilité et de robustesse requis par le référentiel retenu.

Le domaine d'application concerne tous les ouvrages de construction (bâtiments, ouvrages d'art, tours, mâts, cheminées et silos) en zone sismique ou non.

## 5. Validité

La présente évaluation est valable jusqu'au 31/07/2027. Soletanche Bachy Fondations Spéciales devra informer l'Université Gustave Eiffel ou le Cerema de tout incident ou

désordre provoqué par la mise en œuvre du procédé géotechnique STARSOL et de toute modification apportée au procédé durant cette période de validité.

## Annexe 1 – Rapport d'analyse du procédé géotechnique STARSOL

### 1. Spécificités du procédé STARSOL

Le procédé STARSOL déroge aux normes de conception sur deux points essentiels :

- la résistance du béton,
- la résistance géotechnique.

### 2. Résistance du béton

Trois paramètres du calcul sont modifiés :  $C_{\max}=40$  MPa,  $k_1=1.05$  et  $k_2=1$ .

Ces valeurs sont justifiées par l'expérience propre de l'entreprise et par l'écrasement de 32 carottes prélevées in situ sur des pieux STARSOL.

L'analyse des données d'essais montre que la valeur  $f_{ck}^*$  déduite de la relation habituellement utilisée  $f_{ck}^*=\inf(C_{\max}, f_{c28})/(k_1.k_2)$  est toujours dépassée.

Par ailleurs, au moins trois essais de chargement ont été conduits jusqu'à atteindre des contraintes dans le béton supérieures à 25 MPa, ce qui démontre toute la fiabilité du procédé.

### 3. Résistance géotechnique

Les règles sont modifiées par rapport à la norme NF P 94-262. Elles reposent sur 67 essais de chargement en vraie grandeur réalisés sur des pieux STARSOL. Certains essais ont été menés en traction.

L'interprétation de ces essais est basée sur les principes décrits par Baguelin et al. (2012) et Burlon et al. (2014) et conduit à des règles permettant de garantir un niveau de fiabilité et de robustesse des pieux mis en œuvre au moins équivalent à celui garanti par la norme NF P 94-262.

Les frottements axiaux unitaires considérés pour la méthode pressiométrique ainsi que ceux considérés pour la méthode pénétrométrique sont supérieurs à ceux de la norme NF P 94-262 : ils dépassent également les limites des seuils définis dans celle-ci. De même, les facteurs de pointe relatifs aux méthodes pressiométriques et pénétrométriques sont supérieurs à ceux de la norme NF P 94-262.

Cependant, les valeurs retenues assurent que les résistances limites calculées restent inférieures ou égales aux résistances limites du procédé. En particulier, le pourcentage de mise en défaut est bien inférieur aux 15 % de la norme NF P 94-262.

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

Le procédé Starsol 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 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 :  
Fabien Szymkiewicz et Gilles Valdeyron  
Univ. Gustave Eiffel Cerema