

Évaluation du procédé géotechnique 3TER

Nom du procédé	Pieu foré tarière creuse injecté à Events Rotatifs appelé 3TER
Demandeur	Keller-Fondations Spéciales 2 rue Denis Papin CS 69224 DUTTLENHEIM - 67129 MOLSHEIM CEDEX

L'évaluation du procédé géotechnique 3TER a été approuvée de manière consensuelle par les membres de la commission technique EPG dont la composition est précisée dans le référentiel relatif à l'évaluation des procédés géotechniques.

Les conclusions sont détaillées en page 2.

Cette évaluation est jointe ci-après, d'une durée de validité jusqu'au 31/01/2029.

L'évaluation repose sur :

- la demande de l'entreprise Keller Fondations Spéciales sollicitant la Commission EPG pour un renouvellement du cahier des charges 3TER avec l'engagement que la mise en œuvre du procédé 3TER n'a pas été identifiée comme une source de potentiels désordres ;
- la liste des chantiers réalisés par Keller Fondations Spéciales sur ces deux dernières années mettant en œuvre le procédé 3TER ;
- l'analyse des performances du procédé géotechnique 3TER dans le cadre d'une mission réalisée par les deux instructeurs missionnés de la commission EPG. Les conclusions de cette mission sont consignées dans un rapport d'analyse qui est présenté en annexe ;
- le référentiel pour l'évaluation des procédés géotechniques (Guide dans sa version 1 en date de Février 2019 et Fascicule 2 et ses annexes en date de Septembre 2025).
- la jurisprudence, au moment de l'évaluation, de la famille à laquelle le procédé géotechnique est rattaché ;

Avis de la commission technique EPG

Sous réserve d'appliquer les recommandations ci-dessous, la commission technique EPG :

- estime que : le procédé géotechnique 3 TER mis en œuvre par la société Keller Fondations Spéciales et décrit par le cahier des charges du procédé géotechnique version 5 du 22/01/2026 est apte à satisfaire les exigences de fiabilité et de robustesse requises par le référentiel retenu ;
- donne un avis favorable à la prolongation de l'évaluation du procédé.

La présente évaluation est établie jusqu'au 31/01/2029.

Le 30/01/2026.

Le Président de la commission technique EPG



Loïc LEURENT - CEREMA

Le Vice - Président de la commission
technique EPG

F. SZYMKEWICZ
Directeur adj. labo SRO
Université Gustave Eiffel



Fabien SZYMKEWICZ - UGE

Présentation du procédé

Le procédé 3TER (tarière creuse type 3 à Events Rotatifs) fait partie de la famille des pieux forés à la tarière creuse et injectés au tube plongeur (anciennement type 3) du groupe 1 piloté et contrôlé selon le référentiel EPG.

Le procédé 3TER se distingue par l'utilisation d'un tube de bétonnage télescopique continu sur toute la hauteur de la tarière, positionné dans l'âme de celle-ci. Ce tube, coulissant grâce à des vérins situés en tête au niveau de la table de rotation, devient lors du bétonnage un véritable tube plongeur télescopable d'au moins 0,80 m, dont la base reste immergée dans le béton frais. Ce système, associé aux vérins, fiabilise la sortie du tube et réduit les risques de non-conformité en plan et en verticalité, grâce à une rigidification de la tarière. Les paramètres de forage et de bétonnage, y compris la position du tube, sont suivis en temps réel sur écran et imprimés, permettant d'adapter la méthodologie aux terrains rencontrés. Le positionnement du tube est vérifiable à chaque étape grâce à la visualisation de la course des vérins. Enfin, seules des foreuses hautes performances à couples de rotation élevés sont utilisées, ce qui améliore la qualité du forage, notamment dans les sols compacts et le rocher, tout en limitant le risque de surforage.

Référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique 3TER

Le référentiel retenu pour l'évaluation du procédé comprend :

- [1]. Les Eurocodes
- [2]. La norme NF P94-262 Fondations profondes,
- [3]. La norme NF EN 1536,
- [4]. Le fascicule 68 : Cahier des Clauses Techniques Générales - Travaux de Génie Civil / Exécution des Travaux Géotechniques des ouvrages de Génie Civil,
- [5]. La norme NF DTU 13.2. Fondations Profondes,
- [6]. La norme NF EN 206/CN Béton - Spécification, performance, production et conformité,
- [7]. Le Cahier technique n° 38 de l'AFPS.

Les référentiels pour l'évaluation des procédés géotechniques¹ :

- [8]. Fascicule 1 : Organisation des commissions et de la procédure EPG version 13/06/24.
- [9]. Fascicule 2 : Contenu détaillé d'une EPG et base de données associées du 23/09/25
- [10]. L'annexe 1 au Fascicule 2 - Fondation profondes coulées en place du 23/09/25.

Les jurisprudences, au moment de l'évaluation, de la famille à laquelle le procédé géotechnique est rattaché

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 et bétonnage avec les moyens dédiés ont été démontrées, si nécessaire par un essai de faisabilité en début de chantier.

Recommandations spécifiques au procédé

1. Note à l'intention du maître d'œuvre et des contrôleurs

Le recours à un procédé de type 3TER 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.

¹ <https://piles.cerema.fr/demarche-pour-une-evaluation-membres-de-la-a2047.html>

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

Les corrélations entre paramètres géotechniques qui peuvent être utilisées, et qui, par nature, ne peuvent pas être considérées comme *a priori* exactes, sont à justifier dans le cadre de la mission G3 sur la base d'informations complémentaires à la mission G2.

2. Exécution

La réalisation des pieux 3TER suit les recommandations de la norme d'exécution des pieux forés NF EN 1536. Des compléments sont indiqués dans le cahier des charges.

3. Cas d'utilisation en conditions de sols sensibles :

Dans le cas de conditions de sols sensibles l'essai de faisabilité en début de chantier est obligatoire. Sont classés comme sensibles, les sols suivants :

- terrains très mous $C_u < 15$ kPa, ou
- sables très lâches (voir définition tableau B.2.1 de la norme NF P 94-262), ou
- limons et argiles, très mous, de résistance en pointe $q_c < 0,6$ MPa ou pression limite nette $< 0,25$ MPa, ou
- conditions de site avec nappe artésienne.

4. Cas d'utilisation pour des ponts.

Dans le cas où l'annexe Q de la norme NF P 94- 262 (concernant les ponts) est rendue obligatoire par le marché, elle reste la référence pour l'ensemble de ses clauses avec une dérogation possible pour le taux de travail du béton (à valider par le Maître d'œuvre en fonction du projet).

Instructeurs du dossier :

L'instruction de cette EPG a été suivie par :

- Gilles VALDEYRON (Cerema – Membre de la CT- EPG) : Rapporteur /Instructeur
- Nathalie BORIE (APAVE – Membre de la CT- EPG) : Instructrice

Ces instructeurs ont été désignés par la commission EPG.

Conditions particulières

Keller Fondations Spéciales devra informer la commission EPG de tout incident ou désordre provoqué par la mise en œuvre du procédé géotechnique 3TER et de toute modification apportée au procédé durant cette période de validité.

Annexe 1 – Rapport d'analyse du procédé

1. Documents produits par le demandeur Keller Fondations Spéciales :

Les documents examinés dans le cadre de la mission sont les suivants :

- le cahier des charges du procédé géotechnique 3TER version 5 du 31/10/2025 et ses annexes ;
- le dossier d'essais – Documents confidentiels contenant l'analyse de l'ensemble des essais de chargements réalisés ;
- le rapport NDC EXE 220 33 181383A – Document confidentiel – contenant l'analyse, les résultats et les PV des essais (essais de résistance du béton, dégarnissage, essais d'intégrité par impédance et sonique) ;
- Rapport d'analyse des essais dans la craie (NTE CC 250001 Ind A) – Document confidentiel ;
- La liste des références des pieux 3TER depuis 2022 ;
- La présentation du chantier objet de la visite : Marignan Starlette (ST6 B) à STRASBOURG (67) ;
- L'attestation d'assurance SMA BTP

2. Présentation du procédé

Le procédé 3TER fait partie de la famille des pieux forés à la tarière creuse et injectés au tube plongeur.

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 de bétonnage télescopique continu sur la totalité de la hauteur de la tarière, positionné dans l'âme de celle-ci.
- les événements de bétonnage sont rotatifs pour améliorer le bétonnage.
- Ce tube de bétonnage, continu, est couissant 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 minimale de 0,80 m dont la base reste constamment immergée dans le béton ouvrable qui vient d'être mis en place.
- Ce système de tube continu avec vérin au niveau de la table de rotation fiabilise la sortie du tube et réduit les risques de hors tolérance en plan et en verticalité par une rigidification de la tarière continue.
- Les paramètres de forage et de bétonnage y compris position du tube de bétonnage, sous la forme de courbe sont aussi mises en œuvre, avec double affichage à la fois sur un écran devant l'opérateur en temps réels et en impression papier, permettant le cas échéant d'adapter la méthodologie de forage aux terrains rencontrés. 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.
- Le matériel de foreuses utilisées sont uniquement des foreuses de hautes performances avec des couples de rotation très élevées. La qualité d'exécution du forage en est ainsi grandement améliorée surtout dans les sols très compacts et le rocher en limitant notamment le risque de surforage.
- Des procédures internes et contrôles intérieurs complémentaires à la réglementation en vigueur sont également prévus au plan d'assurance qualité de l'entreprise.

Selon la nomenclature EPG – jurisprudence n°8 - le dispositif de tube plongeur employé pour ce procédé est classé en **groupe 1 piloté et contrôlé selon le référentiel EPG**

3. Spécificité du procédé 3TER

Le procédé 3TER déroge à la norme de justification des fondations profondes NF P94-262, pour le calcul de la résistance du béton (voir § 4 ci-après) ainsi que pour la résistance géotechnique (voir § 5 ci-après).

4. Résistance du béton

Trois paramètres du calcul sont modifiés par rapport à la norme NF P 94-262 : $C_{\max} = 40$ MPa, $k_1=1,05$ et $k_2=1,0$. Ces valeurs sont justifiées par l'expérience propre de l'entreprise et par l'écrasement de 78 carottes prélevées in situ sur des pieux 3TER. L'analyse des données d'essais montre que la valeur f_{ck}^* déduite de la relation habituellement utilisée $f_{ck}^* = \inf(C_{\max}, f_{c28}) / (k_1 \cdot k_2)$ est toujours dépassée. Par ailleurs, deux essais de chargement ont été conduits jusqu'à atteindre des contraintes dans le béton supérieures à 18 MPa pour une valeur f_{c28} comprise entre 30 et 40 MPa ce qui démontre la fiabilité du procédé.

5. Résistance géotechnique

Les règles sont modifiées par rapport à la norme NF P94-262 dans les sables, graviers, argiles et limons, craies et marnes. Elles reposent sur 32 essais de chargement en vraie grandeur réalisés sur 15 sites. Parmi eux, 4 essais de chargement instrumentés (répartis sur 2 sites) ont été réalisés dans la craie, permettant ainsi de respecter les dispositions minimales requises par le référentiel EPG en termes de types d'essais et du nombre de mesures.

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 P94-262.

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. En particulier, le pourcentage de mise en défaut des pieux testés et réalisés avec le procédé 3TER est inférieur au 15 % de la norme NF P 94-262.

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

Le procédé 3TER 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 35 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 minimum des pieux exécutés en place.