

Évaluation du Procédé Géotechnique – EPG

Nom du procédé	Pieu foré tarière creuse injecté au tube plongeur téléscopable FRANKISTAR Pieux forés à la tarière creuse continue équipée d'un tube plongeur télescopique, à contrainte de béton améliorée
Demandeur	Franki Fondation 9/11, rue Gustave Eiffel 91350 Grigny

L'évaluation du procédé géotechnique FRANKISTAR 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.

L'évaluation repose sur :

- l'engagement que la mise en œuvre du procédé FRANKISTAR n'a pas été identifiée comme une source potentielle de désordres ;
- l'analyse des performances du procédé géotechnique FRANKISTAR 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 ;
- la jurisprudence, au moment de l'évaluation, de la famille à laquelle le procédé géotechnique est rattaché ;
- l'approbation consensuelle par les membres de la commission CT-EPG en date du 25/03/2025, du cahier des charges et des conclusions du rapport.

Avis de la commission technique EPG

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

- estime que : le procédé géotechnique FRANKISTAR mis en œuvre par la société FRANKI FONDATION et décrit par le cahier des charges du procédé géotechnique révision 1.3 du 12/05/2025 est apte à satisfaire les exigences de fiabilité et de robustesse requis par le référentiel retenu ;
- donne un avis favorable à la prolongation de l'évaluation du procédé.

La présente évaluation est établie jusqu'au 31/08/2026.

Le 12/05/2025.

Le Président de la commission technique
EPG



Loïc LEURENT - CEREMA

Le Vice - Président de la commission
technique EPG



Fabien SZYMKIEWICZ – UGE

EPG : Commission d'Évaluations des Procédés Géotechniques

Pré se ntation du procédé

Le procédé FRANKISTAR fait partie de la famille des pieux forés injectés au tube plongeur. Il est développé par FRANKI FONDATION à partir d'une tarière continue à axe creux modifiée et améliorée. Les spécificités du procédé par rapport aux techniques de pieux à la tarière creuse tels que définis §A3.1 de la norme NF P94-262/A1 sont les suivants :

- Le bétonnage est réalisé au moyen d'un tube de télescopable d'une longueur minimale de 100 cm, assurant une injection du béton selon la méthode du tube plongeur. Ce tube télescopable est déployé sous la pression du béton dans l'âme creuse. Après la phase de bétonnage, le foreur est informé de l'ouverture complète du tube télescopable.;
- 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. Ces paramètres sont enregistrés pour chacun des pieux;
- Des engins de forage à couple élevé avec le cas échéant un système de vérinage de la tarière lors du forage sont utilisés, assurant ainsi une pénétration de la tarière avec un nombre de rotations de la tarière minimal et adapté au sol traversé ;
- Lors de la remontée de l'outil, un système automatisé d'enlèvement des terres présent entre les pales de la tarière assure un bétonnage en continu des pieux et limite également les rotations de la tarière lors cette phase.

Référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique FRANKISTAR

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]. Le CR de la réunion du 21 mars 2024 de la Commission Générale des EPG.
- [9]. Fascicule 1 : Organisation des commissions et de la procédure EPG version 13/06/24.
- [10]. Guide pour la réalisation des cahiers des charges soumis à une EPG, version 1 de février 2019).

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.

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

Recommandations spécifiques au procédé

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

Le recours à un procédé de type FRANKISTAR 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 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).

2. Exécution

La réalisation des pieux FRANKISTAR 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 net < 0.25 MPa,
- 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 :

- Olivier David (Fondouest – Membre de la CT- EPG) : Instructeur
 - Fabien Szymkiewicz (Université Gustave Eiffel – Membre de la CT- EPG) : Instructeur/Rapporteur
- Ces instructeurs ont été désignés par la commission EPG.

Conditions particulières

FRANKI FONDATION devra informer la commission EPG de tout incident ou désordre provoqué par la mise en œuvre du procédé géotechnique « FRANKISTAR » 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 Entreprise FRANKI FONDATION :

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 FRANKISTAR version 1.3 du 12 mai 2025,
- les PV d'essais et la synthèse des essais réalisés sur de nombreux sites ;
- La synthèse des chantiers réalisés depuis 2023,
- Les attestations d'assurances et de travaux.

Les attestations d'assurance concluent sur l'absence de sinistre.

2. Présentation du procédé :

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

Il est développé par FRANKI FONDATION 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 de 100 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 déployé sous la pression du béton dans l'âme creuse de la tarière.
- A la fin du bétonnage, l'ouverture complète du télescope peut être contrôlée au moyen d'un témoin lumineux dans la cabine, se basant sur la mesure d'un capteur magnétique placé en haut du 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. Ces paramètres sont enregistrés pour chacun des pieux.
- Des engins de forage à couple élevé avec le cas échéant un système de vérinage de la tarière lors du forage sont utilisés, assurant ainsi une pénétration de la tarière avec un nombre de rotations de la tarière minimal et adapté au sol traversé ;
- Lors de la remontée de l'outil, un système automatisé d'enlèvement des terres présent entre les pales de la tarière assure un bétonnage en continu des pieux et limite également les rotations de la tarière lors cette phase.
- 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.

Il est important de noter que l'entreprise est dans une phase d'équipement de son parc 'machines' : tous les ateliers ne disposent pas encore du capteur positionné en partie haute du tube plongeur (voir § 6 ci-après)

3. Référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique FRANKISTAR

Le référentiel retenu pour l'évaluation du procédé comprend :

- Les Eurocodes,
- la norme NF P 94-262 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 ;
- Fascicule 68 : Cahier des Clauses Techniques Générales - Travaux de génie Civil / Exécution des travaux Géotechniques des ouvrages de Génie Civil,
- NF DTU 13.2. Fondations Profondes,
- NF EN 206/CN Béton - Spécification, performance, production et conformité,
- le Fascicule 1 : Organisation des commissions et de la procédure EPG, version du 13/06/24.

EPG : Commission d'Évaluations des Procédés Géotechniques

- le référentiel pour l'évaluation des procédés géotechniques (version 1 en date du 27/02/2019),
- le CR de la réunion du 21 mars 2024 de la Commission Générale des EPG.

4. Spécificités du procédé FRANKISTAR :

Le procédé FRANKISTAR déroge à la norme de justification des fondations profondes NF P 94-262, pour le calcul de la résistance du béton (voir § 5 ci-après).

Cette dérogation s'accompagne de l'adoption d'un certain nombre de règles internes et de contrôles complémentaires (voir notamment § 6 ci-après).

Le procédé déroge également sur à la norme en ce qui concerne la résistance géotechnique (voir § 7 ci-après).

5. Résistance du béton :

Trois paramètres du calcul sont modifiés :

- $C_{\max} = 40$ MPa,
- $k_1 = 1,05$, et
- $k_2 = 1,0$.

Ces valeurs sont justifiées par :

- le processus de bétonnage propre à l'entreprise,
- 4 essais de chargement ayant été menés jusqu'à des contraintes en têtes supérieures à 20 MPa
- Des campagnes d'essais pour différentes conditions de sols et nappes comprenant des essais soniques toute hauteur et des carottages.

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 quasi identiques aux diamètres théoriques des pieux,
- une augmentation graduelle de la résistance intrinsèque des pieux, avec l'augmentation du béton livré,

6. Système qualité interne spécifique au procédé FRANKISTAR

Pour garantir l'obtention de ces performances améliorées sur les différents chantiers réalisés sous procédé FRANKISTAR, FRANKI FONDATION 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 réalisation systématique d'essais de compression simple sur éprouvettes à 7 jours et 28 jours
- la capitalisation de leurs résultats sur les essais de maintien de stabilité des bétons frais,
- dans le cas de pieux traversant des terrains sortant du domaine d'expérience de l'entreprise, 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.

EPG : Commission d'Évaluations des Procédés Géotechniques

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 concomitant au remplissage de l'axe de la tarière (sous 20kPa minimum) puis et un bétonnage du pieu sous faible pression, avec un niveau de base du tube plongeur situé systématiquement plus de 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 ces enchainements et/ou valeurs, le contrôle et l'enregistrement de la course du télescope permet automatiquement de mettre en place des actions correctrices comme le reforage du pieu.

En parallèle, il est aussi demandé, dans le cadre de cette EPG, de mettre en place les actions suivantes :

- 1) Equipement sous 18 mois (échéance 31/07/2026 soit une année en plus que l'échéance qui avait été fixée lors de la réunion du 13/03/2023 en présence du SOFFONS) de l'ensemble des outils d'un diamètre inférieur ou égal à 720 mm,
- 2) Une vérification de l'amorçage du bétonnage dès la remontée de la tarière sur la base des enregistrements de bétonnage. Si l'amorçage du bétonnage n'est pas effectif, le pieu est reforé,
- 3) Une analyse tous les six mois des anomalies rencontrées au point 2,
- 4) Une analyse systématique des données enregistrées par les capteurs « magnétiques » et présentée tous les 6 mois,
- 5) Un contrôle par impédance sur 15 % de la totalité des pieux du chantier réalisés en l'absence de capteurs magnétiques (avec un minimum de 5),
- 6) Une étude complémentaire (sur deux chantiers a minima, dont un chantier avec un ancrage dans des sables sous eau) permettant d'étoffer la base de données béton (avec 2*2 essais d'intégrités tout hauteur de type auscultation sonore couplés à 2 carottages de fond de pieu et 2 carottages tout hauteur et 2*10 résistances à la compression) et de conforter les résultats obtenus, sous 18 mois.
- 7) Un état d'avancement de l'équipement du matériel en système de contrôle tous les 6 mois.

L'application de ces 7 actions réunies permet de maintenir dans cette version du cahier des charges la valeur du $k_1 = 1,05$. Cette recommandation s'appuie sur l'expérience de l'entreprise, l'absence de sinistre, et les résultats conformes de l'étude statistique menée sur les résultats d'écrasements d'éprouvettes réalisées sur plusieurs chantiers.

Si ces actions ne sont pas suivies, alors le k_1 à appliquer est égal à 1,15, pour les chantiers réalisés sans contrôle et enregistrement de la sortie du télescope. Le point 2 reste une obligation indépendamment du choix du k_1 .

7. Résistance géotechnique :

Les règles sont modifiées par rapport à la norme NF P 94-262. Elles reposent sur 32 essais de chargement en vraie grandeur réalisés sur des pieux FRANKISTAR, ayant également permis de dériver plus de 100 valeurs de frottement.

Ces essais ont été réalisés dans les catégories conventionnelles de terrains suivantes (telles que définies dans l'annexe B de la norme NF P94-262) :

- sol de type « sable et graves »,
- sol de type « argiles et limons »
- sol de type « craie »,
- sol de type « marne et calcaire ».

La capacité portante est estimée de manière prudente selon des niveaux de fiabilité comparables à ceux de la norme NF P 94-262. Les mêmes conclusions s'appliquent à l'estimation de la résistance de

fluage et de la résistance de traction. En particulier, les résistances de fluage calculées restent estimées avec une confiance supérieure à celle de la norme NF P 94-262.

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 reste inférieur aux 15 % de la norme NF P 94-262.

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

Le procédé FRANKISTAR 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 40 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.

9. Durée et conditions de validité du présent avis

Si les actions citées au § 6 ne sont pas suivies, alors le k_1 à appliquer est égal à 1,15, pour les chantiers réalisés sans contrôle et enregistrement de la sortie du télescope. Le point 2 reste une obligation indépendamment du choix du k_1 .

Une réévaluation du procédé et de son cahier des charges devra être faite avant le 31/07/2026, pour application de la jurisprudence F08 et d'un k_1 différencié selon l'emploi du dispositif de contrôle.