

## Évaluation du Procédé Géotechnique – EPG

<b>Nom du procédé</b>	<b>Pieux INSER HDP®</b>
<b>Demandeur</b>	<b>Keller-Fondations Spéciales 2 rue Denis Papin CS 69224 DUTTLENHEIM 67129 MOLSHEIM CEDEX</b>

L'évaluation du procédé géotechnique Pieu INSER HDP® 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 Pieu INSER HDP® n'a pas été identifiée comme une source potentielle de désordres ;
- l'analyse des performances du procédé géotechnique Pieu INSER HDP® dans le cadre d'une mission réalisée par les deux instructeurs missionnés par 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 29/07/2024, 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 « Pieux INSER HDP® » mis en œuvre par la société Keller et décrit par le cahier des charges du procédé géotechnique Edition 2 du 03/06/2024 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 31/08/2027.

Le 13/08/2024.

Le Président de la commission technique  
EPG



Loïc LEURENT - CEREMA

Le Vice - Président de la commission  
technique EPG



Fabien SZYMKEIWICZ - UGE

## Présentation du procédé

Le Pieu INSER-HDP® (Helical Displacement Pile) est un pieu constitué d'une nervure de béton de forme hélicoïdale. Il rentre dans la classe des pieux vissés moulés dans le sol, réalisés par refoulement, sans extraction de sol et sans vibration. Un outil spécifique de conception et de fabrication propre à l'entreprise Keller est utilisé.

Ce procédé a fait l'objet d'un développement sur la base de plusieurs planches expérimentales encadrées par l'Université Gustave Eiffel (anciennement IFSTTAR) et l'INSAVALOR et également sur la base de données issues de nombreux essais de chargement réalisés sur chantiers dans les différentes catégories de sols.

Le cahier des charges pieu INSER HDP®, Edition 2 du 03/06/2024 fixe les règles particulières du procédé vis-à-vis de la réalisation, du dimensionnement et des contrôles. Il est établi conformément à la clause 9 du chapitre 1 de la norme NF P 94-262.

## Référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique Pieux INSER HDP®

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 12699 Pieux avec refoulement du sol,
- [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 géotechniques<sup>1</sup> :

- [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).

## Renouvellement de l'évaluation avec modifications mineures

Précédemment, une première évaluation favorable du cahier des charges a été rendue par la commission EPG le 19/03/2021. L'entreprise Keller sollicite la Commission EPG pour le renouvellement de cette évaluation.

La présente évaluation porte sur un renouvellement de l'évaluation avec modifications mineures au sens du référentiel [8]. Les modifications sont précisées en annexe du présent avis.

## 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.

---

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

# EPG : Commission d'Évaluations des Procédés Géotechniques

Le procédé peut être employé dans tous types de terrains dans lesquels les conditions adaptées de fonçage 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 Pieu INSER HDP® 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 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 bureau de contrôle. Ce conseil intervient idéalement lors de la phase Assistance pour la passation des Contrats de Travaux (phase ACT).

### 2. Exécution

La réalisation des pieux INSER HDP® suit les recommandations de la norme d'exécution des pieux refoulants NF EN 12699. 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
- 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 :

- Nathalie BORIE (Apave – Membre de la CT- EPG) : Rapporteur / Instructeur
- Samuel HEUMEZ (CEREMA – Membre de la CT- EPG) : Instructeur

Ces instructeurs ont été désignés par la commission EPG.

## Conditions particulières

Keller devra informer la commission EPG de tout incident ou désordre provoqué par la mise en œuvre du procédé géotechnique « Pieu INSER HDP® » 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 KELLER :**

- **Dossier administratif :**
  - Liste des références de chantier 2023/2024
  - Attestation d'assurance d'absence de sinistralité (en date du 08/04/2024)
  - Projet de CDC 2024 (version 2021 sans modification)
- **Dossier technique :**
  - Cahier des charges INSER-HDP® de Keller – édition n°2 du 03/06/2024
  - Présentation PWP sur l'évolution de l'outil
  - La synthèse des divers essais (essais de chargement de pieux, essais de résistance du béton, etc.).

La liste des références de chantier contient deux références (une en 2023 et une en 2024).  
L'attestation d'assurance conclut sur l'absence de sinistre.

### **2. Présentation du procédé :**

Le Pieu INSER-HDP® est un pieu constitué d'une nervure de béton de forme hélicoïdale. Il rentre dans la classe des pieux vissés moulés dans le sol, réalisés par refoulement, sans extraction de sol et sans vibration. Un outil spécifique de conception et de fabrication propre à l'entreprise Keller est utilisé. L'outil est fixé à l'extrémité du tube de rallonge. Il est hélicoïdal selon un sens inversé à partir d'une partie centrale tronconique.

La capacité de refoulement de ce type de pieu est optimale par rapport à d'autres procédés de pieux vissés car le refoulement du sol s'effectue aussi bien à la descente qu'à la remontée de l'outil :

- Lors de la descente de l'outil, le sol qui remonte par la pale hélicoïdale inférieure est refoulé par la partie centrale lisse et la partie tronconique inférieure après le passage de l'ergot.
- À l'inverse, lors de la remontée, le sens de rotation reste identique et le sol entraîné par les pales est refoulé cette fois-ci par l'intermédiaire de la partie tronconique supérieure et la partie centrale.

La base de l'outil INSER-HDP® est équipée également d'une pale particulière d'un diamètre extérieur plus important que le diamètre nominal de l'outil pour réaliser les nervures moulées dans le sol. Le pas de vis est maîtrisé par un système d'asservissement de la vitesse de rotation et de remontée de l'outil qui permet de garantir un pas de vis régulier.

L'outil (pied de tarière) a évolué dans son mode de fabrication. Auparavant, l'ergot était soudé, il est désormais coulé en une seule pièce avec l'ensemble de l'extrémité de l'outil afin d'en limiter son usure prématurée. Cela a pour conséquence une réduction du diamètre extérieur de 4cm (ex : 47/27 au lieu de 51/27). Le tableau 1 du CdC a donc été mis à jour en conséquence.

La largeur de l'ergot ayant diminué, la valeur de « e » a diminué de 2cm, passant de 12 à 10cm. L'épaisseur de la nervure et le pas de vis restent maîtrisés par le système d'asservissement, ce qui a été confirmé par les essais de dégarnissage récents.

### **3. Référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique PIEU INSER-HDP®**

Le référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique pieu INSER-HDP® comprend les textes suivants :

- Eurocodes,
- NF P94-262 Fondations profondes,
- NF EN 12699 Pieux avec refoulement du sol,

# EPG : Commission d'Évaluations des Procédés Géotechniques

- 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,
- Cahier technique n° 38 de l'AFPS.

## 4. Spécificités du procédé PIEU INSER-HDP® :

Le procédé PIEU INSER-HDP® déroge aux normes de justification sur deux points essentiels :

- la résistance du béton,
- la résistance géotechnique.

Concernant les contrôles, le cahier des charges impose :

- des essais d'impédance lorsque le pieu comporte un diamètre continu en tête,
- des essais de dégarnissage pour le contrôle de la réalisation de la nervure.

## 5. Résistance du béton :

Deux paramètres du calcul sont modifiés :

- $C_{max}=40$  MPa (au lieu de 35 MPa),
- $k_1=1.1$  (au lieu de 1,3).

(Valeurs inchangées depuis la version v1 du 11/03/2021 du CdC).

Ces valeurs sont justifiées par l'expérience propre de l'entreprise et par l'écrasement de 61 échantillons prélevés sur 13 sites dans 4 types de sols différents (l'analyse a été menée de manière simultanée pour INSER® et INSER HDP® car les différences entre ces deux procédés n'ont pas d'incidence sur le calcul de la résistance du béton et les essais effectués).

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.

On note que, s'agissant du contrôle renforcé, dans le cas où  $f_{ck} > 35$  MPa, la fréquence des essais est doublée.

Les justifications STR se font à partir du diamètre nominal du corps de la vis Bc (ou diamètre intérieur).

## 6. Résistance géotechnique :

Les règles sont modifiées par rapport à la norme NF P 94-262. Elles reposent sur une base de données de 31 essais de chargement en vraie grandeur (25 pieux INSER® et 6 INSER HDP®). Les valeurs indiquées dans le CdC sont inchangées depuis la version v1 du 11/03/2021 du CdC.

Les essais réalisés et l'expérience acquise par l'entreprise aboutissent aux valeurs proposées dans le cahier des charges. L'analyse a été faite pour les pieux INSER HDP® par analogie avec les pieux INSER®, les résistances obtenues étant comparables ou supérieures.

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.

En particulier, le pourcentage de mise en défaut des pieux testés et réalisés avec le procédé INSER-HDP® est bien inférieur aux 15 % de la norme NF P 94-262.

Les justifications GEO se font sur la base du diamètre extérieur de calcul  $B^* = B_f - 0,04$  avec  $B_f$  et  $B^*$  en mètre ( $B_f$  = diamètre extérieur).

De nouveaux essais de chargement sont prévus au troisième trimestre 2024 afin de continuer d'alimenter la base de données.