

Evaluation du procédé géotechnique

Micropieux autoforés Hi'Drill® avec Injection de Serrage Unitaire

Nom du procédé	Micropieux Hi'Drill® ISU
Demandeur	SOLETANCHE BACHY 280 avenue Napoléon Bonaparte 92500 Rueil-Malmaison

L'évaluation du procédé géotechnique «Micropieux Hi'Drill® ISU » a été conduite par le Cerema et l'Université Gustave Eiffel (UGE) et approuvée de manière consensuelle par une commission dédiée dont le rôle, 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 Solétanche Bachy sollicitant l'Université Gustave Eiffel et le Cerema pour un renouvellement du cahier des charges «Micropieux Hi'Drill® ISU » avec l'engagement que la mise en œuvre de ce procédé n'a pas été identifiée comme une source potentielle de désordres ;
- l'analyse des performances du procédé géotechnique « Micropieux Hi'Drill® ISU » 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 ;
- le référentiel pour l'évaluation des procédés géotechniques (version en date du 27/02/2019).

Fontenay-sous-Bois, le 01/02/2021.

Fabien Szymkiewicz
Université GUSTAVE EIFFEL
GERS/SRO



Cécile Maurel
Cerema Ile-de-France
Département IRM



1. Présentation du procédé

Le procédé « Micropieux Hi'Drill® ISU » est un micropieu autoforé avec injection complémentaire. Cette injection complémentaire est rendue possible grâce à l'utilisation d'un outil innovant venant obturer provisoirement la tête du micropieu avant la prise du coulis de gaine. L'obturation de la tête du micropieu permet la mise en pression du coulis de scellement du micropieu sur toute la hauteur du micropieu. Elle est réalisée en une seule passe, à une pression minimale de 0,3 MPa.

Du fait de cette mise en œuvre particulière, ce micropieu n'entre pas directement dans l'une des catégories de micropieux définies par le cadre normatif.

2. Référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique « Micropieux Hi'Drill® ISU »

Le référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique « Micropieux Hi'Drill® ISU » comprend :

- l'Eurocode 7 partie 1 avec son annexe nationale française ;
- l'Eurocode 7 partie 2 ;
- la norme NF P94-262 et son amendement de Juillet 2018 pour l'application nationale de l'Eurocode 7 à la justification des fondations profondes ;
- la norme européenne d'exécution NF EN 14199.

3. Documents

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

- le cahier des charges du procédé géotechnique « Micropieux Hi'Drill® ISU » version 7 du 22/01/2021 et ses 3 annexes,
- les rapports d'analyses des cinq campagnes d'essai de chargement à la rupture menées entre juin 2015 et décembre 2019.

4. Avis

L'UGE et le Cerema, sur la base des différents documents examinés, du rapport d'analyse présenté en annexe et de la présentation du procédé géotechnique « Micropieux Hi'Drill® ISU » devant la commission réunie le 18/06/2020, estiment que le procédé géotechnique décrit par le cahier des charges version 7 en date du 22/01/2021 est apte à satisfaire les exigences de fiabilité et de robustesse requis par le référentiel retenu.

Le présent cahier des charges validé, impose la réalisation systématique d'essai de chargement à la rupture, préalable ou conformité.

5. Validité

La présente évaluation est valable jusqu'au 31/01/2024.

Solétanche Bachy devra informer l'UGE ou le Cerema de tout incident ou désordre provoqué par la mise en œuvre du procédé géotechnique « Micropieux Hi'Drill® ISU » et de toute modification apportée au procédé durant cette période de validité.

Annexe 1 – Rapport d'analyse du procédé géotechnique Micropieux Hi'Drill® ISU

1. Spécificités du procédé Micropieux Hi'Drill® ISU

Le caractère innovant de ce type de micropieux réside dans la conception d'un outil innovant permettant d'effectuer une seconde phase d'injection, avant la prise du coulis de gaine. Cette seconde phase d'injection est dite globale car elle permet une mise en pression du coulis de scellement sur la totalité de la hauteur du micropieu. Elle est réalisée en une seule passe, à une pression minimale de 0,3 MPa.

Lors du forage, une vibration axiale peut être appliquée en tête du train de tige, avec une fréquence comprise entre 50 et 200 Hz pour faciliter l'avancement.

Comparativement aux traditionnels micropieux IGU, ce procédé permet :

- un gain de temps significatif lors de la réalisation des micropieux,
- de s'assurer que la mise en pression du coulis de scellement est effectivement effectuée sur toute la hauteur du micropieu,
- d'éviter les problématiques courantes de prise excessive du coulis rendant inopérante la seconde injection de scellement.

2. Base d'essais de chargement réalisés dans le cadre du cahier des charges

Dans le cadre de l'élaboration de ce cahier des charges, 11 essais de chargement ont été menés à la rupture sur des micropieux ISU d'une longueur de 3 à 20 m. Parallèlement sur les mêmes sites, chaque essai de chargement a été doublé avec des micropieux IGU afin de comparer la résistance à l'arrachement des micropieux pour ces différentes techniques.

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 « craie »,
- sol de type « marne et calcaire marneux »,

Deux essais ont été réalisés dans un sol de type remblais argileux/calcaires indifférenciés.

Pour chacune des campagnes d'essai, les résultats de ces essais ont montré des résistances à l'arrachement des micropieux ISU sensiblement identiques à celles obtenues pour les micropieux IGU.

3. Exécution des micropieux Hi'Drill® ISU

Les différentes étapes de réalisation du micropieu autoforé Hi'Drill® ISU sont décrites dans le cahier des charges visé. Les points de vigilance portent notamment sur :

- le fluide de forage retenu par l'entreprise, il est choisi de manière à évacuer efficacement les déblais de forage, assurer la stabilité des parois et compenser les pressions hydrostatiques ;
- la substitution de l'intégralité du fluide de forage, correctement effectuée lorsqu'il y a résurgence d'un coulis de gaine propre en tête de micropieux ;
- la mise en place de la virole en tête de micropieux, adaptée à la compacité des terrains : la vitesse de rotation et la vitesse de pénétration sont ajustées de manière à avoir l'assurance d'un moulage du sol autour de la virole ;

- le contrôle des volumes et pressions d'injection lors de la mise en œuvre du coulis de gaine et lors de la seconde injection de serrage. L'injection de serrage est effectuée sous pression minimale de 0,3 MPa, avec une résurgence limitée.

En complément, les terrains présentant un indice de plasticité élevé (marnes, marno-calcaires, argiles...) caractérisés par un $IP > 20$, doivent faire l'objet d'une vigilance particulière. Pour ces terrains, certains retours d'expériences sur des micropieux autoforés sous eau ou fluide bentonitique ont montré la création d'une pellicule de boue entre l'armature et le coulis de scellement du micropieu, ayant pour effet de limiter l'adhérence du tube/coulis et parfois même la portance du micropieu.

Ce phénomène est susceptible de se produire également dans ces terrains pour les micropieux Hi'Drill® ISU, des dispositions sont à adopter (forage sous fluide cimentaire, essai d'arrachement préalable, surveillance spécifique...).

4. Critères d'arrêt de l'injection de serrage unitaire

L'injection complémentaire de serrage unitaire est effectuée jusqu'à l'obtention d'un des deux critères suivants :

- obtention d'une pression d'injection de 1,0 MPa, ou
- volume d'injection, lors de la phase de serrage, supérieur au maximum entre 1,5 fois le volume de la partie scellée et 0,5 fois le volume théorique du micropieu.

Pour le second critère, si une pression minimale de 0,3 MPa n'a pu être obtenue durant la phase d'injection complémentaire, l'action du serrage est limitée (typiquement lorsqu'une couche molle est présente sur une épaisseur importante), le micropieu doit faire l'objet d'un essai de contrôle de portance.

5. Domaine d'application

Les micropieux Hi'drill ISU, peuvent être utilisés dans les terrains dont la compacité ou l'état de fracturation permettent l'action effective du serrage global et unitaire.

Les ouvrages portés peuvent être de type bâtiments privés ou publics, et ouvrages de génie civil.

6. Dimensionnement de la portance des micropieux à partir d'essai à la rupture

En attente d'un nombre d'essais suffisant dans chaque catégorie conventionnelle de terrain (tel que défini dans le guide pour l'évaluation des procédés géotechniques), le processus de dimensionnement des micropieux ISU nécessite la réalisation systématique d'essais de chargement à la rupture, préalable ou de conformité, réalisés au démarrage des micropieux ISU.

Pour les projets de catégories géotechniques 1 ou 2, les valeurs de frottement axial des micropieux Hi'Drill® ISU à considérer sont :

- pour les catégories conventionnelles de terrain « sable et grave », « craie » et « marne et calcaire marneux » (telles que définies par l'annexe B de la norme NF P94-262) : les valeurs utilisées pour la catégorie de fondations profondes n°19. Ces valeurs sont à contrôler à minima par des essais de conformité, ou réévaluées à partir d'essais préalables (cf § 9.2.2 et 10.2.2 de la NF P 94-262/A1).

- Pour les autres catégories conventionnelles de terrain, elles sont à définir à partir d'essais de chargement préalables ou de conformité.

Pour les projets de catégorie géotechnique 3, les valeurs de frottement axial des micropieux Hi'Drill® ISU sont à confirmer systématiquement à partir d'essais de chargement préalables ou de conformité.

Ces essais de chargement seront capitalisés de manière à compléter la base de données existantes.

7. Contrôle et surveillance

Le tableau G.4 du cahier des charges visé rappelle les obligations normatives en termes d'essais de chargement à effectuer. Le nombre de micropieux testés est conforme aux obligations fixées par la norme NF EN 14199.

Les contrôles (§9.2) et surveillance (§9.1) définis par la NF EN14199 sont à appliquer.

Dossier Instruit par :
Loïc LEURENT / Cerema

