

Évaluation du Procédé Géotechnique – EPG

Nom du procédé	SYSTEME DE FONDATIONS PAR VIS METALLIQUE KRINNER
Demandeur	KRINNER SAS (France) 15 rue Rustauds, 67700 Monswiller

L'évaluation du procédé géotechnique Vis Métallique Krinner 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 Vis Métallique Krinner n'a pas été identifiée comme une source potentielle de désordres ;
- l'analyse des performances du procédé géotechnique Vis Métallique Krinner 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 17/12/2024, 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 « Système de Fondations par Vis Métallique Krinner » décrit par le cahier des charges du procédé géotechnique Edition VII du 19/12/2024, mis en œuvre par la société Krinner SAS ou un de ces prestataires de pose agréés par Krinner SAS, étudié par Armoriques Etudes ou tout autre bureau d'étude externe possédant une longue expérience dans le domaine de pieux tubés vissés, 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 31/12/2027.

Le 20/12/2024.

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 procédé « système de fondations par vis métallique Krinner » est un élément de fondations profondes en acier galvanisé vissé dans le sol.

Les caractéristiques dimensionnelles des vis sont les suivantes :

- diamètre nominal compris entre 66 et 220 mm ;
- longueur, compris généralement entre 1.4 à 5.0 m ;
- l'épaisseur d'acier, en sortie d'usine, est compris entre 3.6 et 6.3 mm

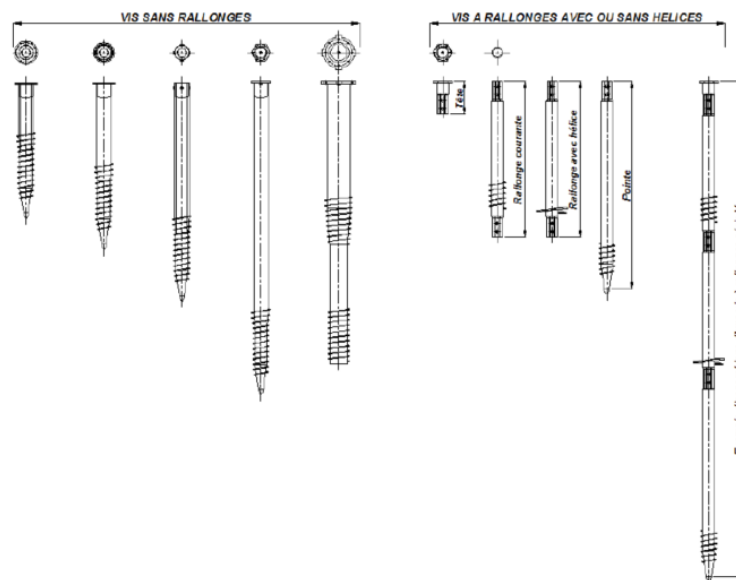
Les vis sont constituées d'un tube à inertie variable, muni d'un filetage extérieur hélicoïdale soudé en usine sur la partie inférieure de la vis.

Dans le cas de vis de série V, le système de fondation peut être approfondi aux moyens de rallonges de trois types :

- rallonge de tête ;
- rallonge courante avec un filetage extérieur hélicoïdal ;
- rallonge avec une hélice unique de diamètre 300 mm ;

Ces rallonges sont assemblées par emboîtement hexagonaux boulonnées par deux boulons.

Le cas échéant, le système est muni d'une platine assurant le liaisonnement avec la structure.



L'ensemble du système est galvanisé à chaud intérieur et extérieur avec une épaisseur de galvanisation comprise entre 70 et 85 μm par face.

Ce système de vis est à refoulement de sol, c'est-à-dire sans extraction notable du sol lors du forage. Ces vis sont exécutées selon les recommandations de la norme NF EN 12699 Pieux à refoulement. En cas de difficulté de vissage, des aides aux fonçages sont envisageables.

Les justifications de portance ou de mobilisation horizontale du sol sont conduites selon les principes de la norme NF P94-262. Elles sont systématiquement validées sur site par des essais à la rupture avant chantier, puis contrôler à l'issue de l'exécution par des essais de contrôle. La nature de ces essais est fonction du type de vis ou de la méthode de mise en œuvre (voir annexe §2 du présent avis).

Les justifications structurales sont conduites conformément à la norme NF EN 1993-5.

Traçabilité

La galvanisation, l'assemblage et le soudage des différentes pièces sont effectués en usine. L'ensemble de vis, rallonges, platines, utilisé par KRINNER SAS et validé par le présent cahier des charges, sont exclusivement fournis et fabriqués par KRINNER GmbH ou un manufacturier autorisé par KRINNER GmbH.

Ces éléments font l'objet d'un marquage CE évalué selon la norme EN 1090-1 et d'un étiquetage systématique justifiant leur provenance et les caractéristiques techniques de chaque élément.

Le système d'évaluation et de contrôle de la cohérence des performances de Krinner GmbH est classé 2+ (conformité attestée par un organisme notifié).

Sous-traitance et prestataires agréés

Les études d'exécution, l'analyse des essais et contrôles, sont généralement externalisées au bureau d'études Armoriques études possédant une longue expérience dans la conception et le dimensionnement des vis métalliques. Le recours par Krinner SAS, à un autre bureau d'études est envisageable sous réserve de justification d'une compétence suffisante notamment dans le domaine du dimensionnement des vis, de la géotechnique, du dimensionnement par essais de chargements sur vis, et de l'organisation interne des projets de Krinner SAS.

La présente évaluation du procédé « système de fondations par vis métallique Krinner » est fournie pour une pose des vis par l'entreprise Krinner SAS ou un des poseurs agréés par Krinner SAS. Ces poseurs interviennent sous la responsabilité de Krinner SAS et devront avoir été préalablement formés par Krinner SAS sur les spécificités du procédé et de ses contrôles d'exécutions. Les travaux devront être effectués en conformité aux normes et cahier des charges du procédé.

Référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique « système de fondations par vis métallique Krinner »

Le référentiel retenu pour l'évaluation du procédé géotechnique « système de fondations par vis métallique Krinner » comprend :

- [1]. l'Eurocode 7 partie 1 ;
- [2]. l'Eurocode 7 partie 2 ;
- [3]. la norme NF P94-262 et son amendement pour l'application nationale de l'Eurocode 7 à la justification des fondations profondes ;
- [4]. l'Eurocode 3 partie 1 ;
- [5]. l'Eurocode 3 partie 5 ;
- [6]. NF EN 1998 ;
- [7]. la norme NF EN 12699 relative à l'exécution des pieux avec refoulement de sol ;
- [8]. AFPS - le cahier technique n°38 (2017) Guide pour la conception et le dimensionnement des fondations profondes sous actions sismiques des bâtiments à risque normal ;
- [9]. le CR de la réunion du 21 mars 2024 de la Commission Générale des EPG.
- [10]. Fascicule 1 : Organisation des commissions et de la procédure EPG version 19/09/24.
- [11]. Guide pour la réalisation des cahiers des charges soumis à une EPG, version 1 de février 2019).

EPG : Commission d'Évaluations des Procédés Géotechniques

Documents

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

- le cahier des charges du procédé géotechnique « *système de fondations par vis métallique Krinner* » version VII du 19/12/2024 et ses 14 annexes,
- la base de données d'essais de chargement transmis en annexes 9 et 12,
- les divers éléments relatifs à l'instruction antérieure du cahier des charges :
 - cahier des charges version 29-03-2013 et le rapport d'enquête technique nouvelle de SOCOTEC du 17/05/2016 ;
- la liste des références sur les années 2019 à 2023 ;
- une attestation d'absence de sinistralité relatif au procédé *système de fondations par vis métallique Krinner* des années 2010 à 2023.

Domaine d'emploi

Utilisation en France métropolitaine et DROM- COM (Départements et Régions d'Outre-Mer – Collectivités d'Outre-Mer).

L'emploi des vis Krinner est limité selon la catégorie d'importance de bâtiment (catégories d'importances selon arrêté du 22 octobre 2010 - relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »), le caractère provisoire ou définitif de l'ouvrage, sa sensibilité aux déformations.

Le procédé « *système de fondations par vis métallique Krinner* » est autorisé pour :

- Les ouvrages de catégories I et II :
 - structures événementielles, structures modulaires ;
 - lampadaires, panneaux de signalisation ou publicitaires ;
 - maisons individuelles ;
 - fermes photovoltaïques, ombrières ;
 - hangars agricoles ; halls industriels ;
 - pontons ;
- Les ouvrages de catégorie III et IV :
 - peu sensibles aux déformations et ne reprenant pas de 2nd œuvre, ou
 - provisoires de moins 2 ans.

Le procédé est également utilisable pour les ponts de catégorie I et provisoire de catégorie II (catégories selon arrêtés du 26 octobre 2011) suivants :

- Passerelles non routières de portées libres inférieures à 20m ;
- Ponts routiers de portée libre inférieure à 20m.

En complément, sous situation sismique :

- le procédé « *système de fondations par vis métallique Krinner* » est autorisé exclusivement pour des structures dissipatives de type DCL, pour lesquelles les vérifications sismiques sous efforts cinématiques ne sont pas nécessaires (selon NF EN 1998-5). Des dispositions complémentaires s'appliquent (cf. §13 annexe du présent avis).

On rappelle que selon l'annexe nationale de l'EN 1998-1, l'utilisation du mode DCL pour les ouvrages couverts par l'EN 1992, est limitée aux classes de sismicité très faible à modérée (sous conditions).

EPG : Commission d'Évaluations des Procédés Géotechniques

- Aucun emploi des fondations KRINNER SAS ne peut avoir lieu dans les sols liquéfiables sans un traitement préalable de ces derniers.
- les sols de classe S1 et S2 sont exclus du domaine d'emploi.

Recommandations spécifiques au procédé

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

Le recours à un procédé « *fondations par vis métallique Krinner* » est généralement à considérer sur les projets comme une variante à la solution de fondation retenue par le marché (initialement fondation de type superficiel, semi-profond ou profond).

Il convient de s'assurer notamment que :

- la synthèse géotechnique prévue en phase conception est adaptée à ce procédé,
- les conditions d'agressivité des terrains et de la nappe sont connues, vis-à-vis du dimensionnement de la protection à la corrosion des vis (cf §3 de l'annexe du présent avis),
- le mode de reprise de charge sur appuis ponctuels et les tolérances d'exécution des vis sont compatibles avec la conception de la superstructure.

L'emploi de ce procédé est soumis à l'appréciation du maître d'ouvrage sur conseils de son maître d'œuvre et éventuellement du géotechnicien et du bureau de contrôle. Cet avis intervient idéalement lors de la phase Assistance pour la passation des Contrats de Travaux (ACT selon la loi MOP).

2. Exécution

La réalisation des *fondations par vis métallique Krinner* suit les recommandations de la norme d'exécution des pieux refoulants NF EN 12-699. Des compléments sont indiqués dans le cahier des charges.

3. Reconnaitances géotechniques

Selon l'annexe nationale à l'EN 1997-1, tableau AN,2, le recours à l'expérience ou à des reconnaissances géotechniques uniquement qualitatives, n'est pas autorisé pour le dimensionnement des vis Krinner. Les essais de type pressiométriques (NF EN ISO 22476-4) et pénétrométriques statiques (NF EN ISO 22476-12) sont recommandés pour le dimensionnement des vis.

Cette prescription est assouplie pour le cas des ouvrages* à la fois de faible emprise < 400m², de classe de conséquence CC0, CC1 ou habitation et maison individuelle limités à R+1, en conditions géotechniques simples et connues (absence de traction dans les vis, sol d'ancrage unique, absence de nappe même temporaire sur la hauteur d'ancrage des vis...). Dans ces conditions, des essais pénétrométriques dynamiques (NF P 94-115), accompagnés de sondages avec prélèvements de sol sur toute la hauteur des vis peuvent être utilisés. Les corrélations utilisées pour le pré-dimensionnement des vis devront être préalablement confirmées par le géotechnicien de l'opération. La confirmation du dimensionnement par essai de chargement reste obligatoire.

* voir également §9.1.2 du cahier des charges Krinner.

4. Hauteur de zone dégradée

On attire l'attention sur le fait que la partie supérieure des sols est généralement fortement sollicitée par les vis (reprise des efforts en butée ou de résistance axiale en traction). La prise en compte d'une épaisseur de sol remaniée doit être considérée dans le dimensionnement.

EPG : Commission d'Évaluations des Procédés Géotechniques

Cette hauteur de sol doit également tenir compte de l'historique du site, des travaux de terrassement ou configuration du projet anciens ou futurs. On vise ici tout particulièrement :

- la présence de remblais anthropiques profonds qui pourraient ne pas avoir été détectés lors de l'étude de sol,
- Aléa retrait gonflement (RGA),
- les éventuelles fouilles archéologiques,
- les travaux de terrassement et de reprofilage des sols,
- érosion superficielles de terrains,
- les travaux de dessouchage...

Il appartient au maître d'œuvre que les éléments historiques connus soient effectivement transmis à Krinner SAS pour prise en compte et que l'ensemble des intervenants du projet soit sensibilisé au sujet.

5. Cas des sols soumis à retrait/gonflement

Lorsqu'un site est exposé à l'aléa retrait-gonflement du sol ; les pièces du marché comportent :

- des essais en laboratoire adaptés confirmant et caractérisant la sensibilité des sols,
- une étude de sol confirmant la sensibilité de l'ouvrage au phénomène.

Dans ces conditions, l'ouvrage dans son ensemble doit être alors conçu pour réduire et s'adapter à l'impact du retrait gonflement. On se reportera notamment aux documents du ministère de l'écologie « Construire en terrain argileux ». Des dispositions spécifiques adaptées à la configuration du site et à l'ouvrage sont alors nécessaires. Elles portent à la fois :

- sur la limitation des variations hydrique du sol de fondations, et
- sur la structure de l'ouvrage (chaînage, profondeur des fondations et de la tête des vis, ...).

En complément, les effets du retrait/gonflement sont à considérer pour le dimensionnement des vis (profondeur de couche d'ancrage minimal, frottement négatif, sollicitations transversales...); ces éléments font l'objet d'une mise au point entre Krinner SAS et le géotechnicien de l'opération.

Instructeurs du dossier :

L'instruction de cette EPG a été suivie par :

- Loïc LEURENT (Cerema – Membre de la CT- EPG) : Rapporteur /Instructeur
- Gaël Gourrin (SOCOTEC – Membre de la CT- EPG) : Instructeur
- Laura Guisado (SOCOTEC – expert pour la CT- EPG)

Ces instructeurs ont été désignés par la commission EPG.

Conditions particulières

Krinner SAS devra informer la commission EPG de tout incident ou désordre provoqué par la mise en œuvre du procédé géotechnique « *système de fondations par vis métallique Krinner* » et de toute modification apportée au procédé durant cette période de validité.

Annexe – Rapport d'analyse du procédé géotechnique « système de fondations par vis métallique Krinner »

1. Spécificités du procédé « système de fondations par vis métallique Krinner »

Le procédé « *système de fondations par vis métallique Krinner* » est un élément de fondations profondes en acier galvanisé vissé dans le sol.

Les caractéristiques dimensionnelles des vis sont les suivantes :

- diamètre nominal compris entre 66 et 220 mm ;
- longueur comprise généralement entre 1.4 à 5.0 m ;
- épaisseur d'acier, en sortie d'usine, est compris entre 3.6 et 6.3 mm.

Les pieux sont généralement aptes à reprendre des sollicitations axiales de traction et de compression jusqu'à 20 T en ELU fondamental, des sollicitations transversales en cisaillement de 0.5 à 3 T en ELU fondamental et des efforts de flexion en tête de platine jusqu'à 1.2 T.m en ELU fondamental (charges induites de la résistance métallique des pieux et de leurs assemblages).

Ces fondations sont exécutées selon les recommandations de la norme NF EN 12699 Pieux à refoulement de sol.

Les dimensions de vis et leur mise en œuvre présentent des spécificités par rapport aux techniques de fondations décrites dans la norme de dimensionnement NF P 94-262.

Des éléments spécifiques sont alors fournis dans le cahier des charges, concernant :

- les vérifications de la portance des vis, systématiquement confirmées par des essais de chargement,
- les vérifications STR et GEO en cas d'efforts latéraux, également confirmées par des essais sur site,
- les modalités de prises en compte des effets du gel, des éventuels sol remaniés en partie supérieure, des nappes superficielles...,
- les dispositions en termes de durabilité des vis,
- les méthodes, protocoles et nombre d'essais permettant de valider et contrôler la résistance GEO des vis,
- les dispositions complémentaires de dimensionnement GEO en cas d'efforts verticaux,
- les modalités de justification en cas de mise en œuvre des vis avec emplois d'aides au fonçage,
- les contrôles minimaux propres à l'exécution.

2. Type de vis, méthodologie de fonçage ; impact sur le dimensionnement, la définition et les contrôles de la résistance géotechnique.

Il est constitué d'un tube à inertie variable, muni d'un filetage extérieur hélicoïdale soudé sur la partie inférieure de la vis.

Dans le cas de vis de série V, le système de fondation peut- être allongé aux moyens de rallonges de trois types :

- rallonge de tête ;
- rallonge courante avec un filetage extérieur hélicoïdal ;

EPG : Commission d'Évaluations des Procédés Géotechniques

- rallonge avec une hélice unique de diamètre 300 mm ;

Ces rallonges sont assemblées par emboîtement hexagonaux boulonnées par deux boulons. Le cas échéant, le système est muni d'une platine assurant le liaisonnement avec la structure.

Les vis peuvent être foncées dans le terrain :

- par vissage ou vissage avec roto percussion. L'estimation de la résistance géotechnique est obtenue sur la base des recommandations de la norme NF P 94-262 §9.2.4 (voir également §6 du présent avis). Des essais de conformité à la traction ou à la compression, et le cas échéant de chargement latéral sont réalisés sur des vis hors ouvrage **afin de valider la résistance des vis** conformément au §9.2.2 de la norme NF P 94-262.

avec emploi d'une aide au fonçage (limitée aux méthodes décrites dans le §6 du cahier des charges) en cas de rencontre de passages indurés, blocs anthropiques, rocher... Des essais de conformité à la traction ou à la compression, et le cas échéant de chargement latéral sont réalisés **afin de définir la résistance des vis** conformément au §9.2.2 de la norme NF P 94-262. Ces essais sont réalisés sur des vis hors ouvrages présentant des caractéristiques dimensionnelles et d'ancrages identiques aux vis de l'ouvrage.

Comme pour les vis foncées avec aide au fonçage, la résistance géotechnique des vis avec hélice est définie selon les principes de calculs indiquées §9.2.2 de la norme NF P 94-262. **La résistance est définie à partir d'essai de conformité** sur des vis hors ouvrages présentant des caractéristiques dimensionnelles et d'ancrages identiques aux vis de l'ouvrage.

En complément de ces essais menés à la rupture du sol réalisés au démarrage des travaux, des essais de contrôles menés à une charge d'épreuve équivalente au minimum entre 1.3 résistance ELS_{qp} et 1.1 résistance ELS_{cara} , sont réalisés sur des vis de l'ouvrage afin de confirmer le comportement adapté des fondations.

3. Exigence de durabilité

La protection à la corrosion des vis est assurée par une épaisseur de galvanisation et une épaisseur d'acier supplémentaire sacrifiée à la corrosion.

Les épaisseurs de galvanisation et d'acier sacrifiées indiquées dans le cahier des charges, sont définies sur la base de la durée de vie du projet définie dans les pièces du marché (ou à défaut dans la norme NF EN 1990- tableau 2.3) et des conditions d'agressivité des sols (cf. 1993-5 § et NF EN 14490 § B.3.4).

Pour les sols fortement agressifs (résistivités élevées, tourbes, mâchefers, eaux saumâtres...), l'emploi d'une protection cathodique peut s'avérer nécessaire pour assurer la durabilité des vis.

4. Résistance géotechnique axiale en compression et traction des vis sans forage préalable et sans hélice.

Des essais de chargement réalisés en vraie grandeur sur des vis mis en œuvre sans aide au fonçage ont été réalisés.

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 « Argile et limons »,
- sol de type « sable et graves »,
- sol de type « marne et calcaire »,

Ils ont permis de justifier la pertinence de pré-dimensionner les vis sans aide au fonçage selon les méthodes de modèle de terrain décrites dans la norme NF P 94-262 pour les pieux vissés tubés (pieux de classe 8 selon NF P 94-262).

A la date de rédaction du présent avis, il ne nous a pas été présenté d'essai dans des sols de type « craie ». Pour autant, le recours à des essais de conformité et de contrôle systématiques nous paraît être une disposition suffisante pour autoriser et garantir la fiabilité du procédé dans ce type de sol.

Nota : l'ancrage vis dans des terrains de type rocher n'est pas réalisable sans emploi d'une aide au fonçage (cf. § 7 ci-dessous).

5. Résistance géotechnique axiale en compression et traction des vis avec emploi d'une aide au fonçage ou d'une vis à hélice.

Pour ce type d'exécution ou conception, un prédimensionnement des caractéristiques dimensionnelles des vis est évalué sur la base d'expérience par Krinner SAS ou son bureau d'études.

Ce prédimensionnement est systématiquement confirmé par des essais de conformité réalisés sur des vis hors ouvrages, de dimensions identiques à celles retenues pour le projet.

Ces essais permettent de valider ou de déduire à la fois :

- les portances aux l'ELU, obtenues par analyse de la résistance à la rupture, et
- les portance aux ELS, obtenues par analyse de la résistance de fluage.

Le nombre d'essai de conformité à réaliser est précisé dans le cahier des charges au § 9.7.2. Ce nombre s'entend par zone géotechnique homogène.

Des essais de chargement de type contrôle sur des vis de l'ouvrage et les suivis de l'exécution complètent le système qualité du procédé.

6. Reprise des efforts latéraux par les vis.

Les vis présentées dans le cahier des charges sont susceptibles de supporter des efforts horizontaux compris entre 5 et 30 kN à l'ELU selon le type de vis et la raideur des terrains de tête.

En cas d'efforts horizontaux trop importants, il est possible de recourir à :

- un système de vis inclinées, ou
- un massif béton mobilisant la butée du sol en partie supérieure (sous réserve d'une garantie de butée pérenne sur toute la durée de vie de l'ouvrage).

Les méthodes proposées dans le cahier des charges correspondent à celles recommandées par la norme NF P 94-262. Une méthode simplifiée est proposée dans le cahier des charges. Elle est valable sous réserve de ne pas atteindre les seuils de plasticité définie par l'annexe I de la norme NF P 94-262.

On rappelle que la raideur du sol sur la hauteur de la zone dégradée est négligée pour la reprise des efforts.

Lors des essais de chargement de cisaillement, cette garde hors gel est neutralisée. A défaut, lors de l'essai, le comportement de la vis sur cette hauteur de sol, est intégré à l'analyse sur la base des estimations de raideurs présentées dans l'annexe I de la norme NF P 94-262.

On sera particulièrement vigilant aux conditions de nappe lors de l'essai. Notamment dans le cas des vis à hélices reprenant des charges de traction, une montée du niveau de nappe durant la vie de l'ouvrage, peut réduire la résistance en traction de la vis par rapport à celle obtenue lors des essais.

7. Cas des ouvrages soumis à des sollicitations cycliques alternées.

Efforts axiaux :

L'application d'efforts cycliques alternés (sollicitations alternativement en compression puis traction des vis) est de nature à dégrader la résistance au frottement des vis. Cette dégradation de capacité portante est à priori plus marquée dans le cas des vis de faible rigidité, de longueur courte ou ancrés dans des terrains frottants.

En l'absence de prescription dans le marché, les modalités de dimensionnement de fondations pour ce type d'efforts fait l'objet d'une étude spécifique.

Efforts latéraux

Dans le cas d'efforts cycliques alternés latéraux, les retours d'expériences montrent que le respect du seuil r_1 défini dans l'annexe I de la norme NF P 94-262 limite les dégradations cycliques du sol. L'absence de plastification significative du sol peut être vérifiée lors des essais de chargement latéraux sur site.

En l'absence de prescription dans le marché, les modalités de dimensionnement de fondations pour ce type d'efforts fait l'objet d'une étude spécifique.

8. Procédure d'essai de chargement

La justification de la conception du procédé repose en partie sur la réalisation d'un nombre d'essai de chargement conséquent.

Pour les ouvrages de catégorie d'importance faible, généralement peu ou moins sensible aux déformations (voir §9.6), les protocoles de chargement (à la rupture ou de contrôle) recommandées par les normes ont été adaptées dans une volonté de tester un plus grand nombre des vis.

Ces différents protocoles de chargement sont précisés en annexe 3 du cahier des charges. Dans le cas des essais de chargement à la rupture de type conformité de type Krinner, de faibles écarts de résistance géotechnique sont attendus du fait de cette différence de protocole. L'emploi d'un coefficient de sécurité supplémentaire compensant cet écart paraît adapté.

D'ici le prochain renouvellement, il a été demandé de réaliser deux plots d'essais, pour un terrain argileux et pour un terrain sableux, permettant de comparer les deux protocoles d'essais.

9. Nombre d'essais de chargement statique

Un nombre d'essais de chargement statique à la rupture et de contrôle a été proposé. Il a été déterminé par analogie avec les recommandations de la norme NF P 94-262 pour les micropieux.

10. Reprise structurale des efforts.

L'ensemble des matériaux constitutifs des vis Krinner est conforme à l'Eurocode 3 (NF EN 1993-5).

D'après le tableau 3.1 de l'Eurocode 3 (EN 1993-1-1), les résistances de calculs R_d sont calculées à partir de $f_y = 235$ ou 355 MPa.

Les vis métalliques Krinner devront être vérifiées vis à vis des possibles défaillances de ses constituants métalliques et assemblages, en contraintes et déformations sous sollicitations ELU suivantes :

- Effets conjugués de flambement, cisaillement, flexion et chargement vertical en service sous charges ELU ;
- Effets de torsion, cisaillement, voilement, rupture des cordons de soudure lors de l'opération de vissage et fonçage sous les effets du couple de vissage ;
- Effet de flexion, cisaillement de l'hélice et de ces soudures ;
- Effets locaux sur les assemblages de tête ou assemblages de continuités ;
- Couple de vissage (voir annexe 5 du cahier des charges).

Le cas échéant, les calculs sont effectués déduction faite de la corrosion intérieure et extérieure de la vis. L'épaisseur résiduelle d'un pieu ne peut être inférieure à 3 mm sur la durée de vie prévue de l'ouvrage.

L'inertie variable de la vis sur sa hauteur, est à prendre en compte dans les calculs de vérification.

La classe des vis est étudiée avec déduction des éventuelles pertes d'acier sacrifiée. Seules les vis de classe 3 ou inférieure (tableau 5.2 de l'EN 1993-1-1) sont autorisées.

11. Contrôles de l'exécution

En l'absence de demandes spécifiques au marché, les contrôles minimaux propres à l'exécution sont indiqués au §10 du cahier des charges.

Le couple serrage ou la pression de vissage font l'objet d'un suivi particulier pour chaque vis. Ils sont un indicateur de la résistance du sol mais également d'une méthode de vissage adaptée (absence de survissage) et de l'absence de dégradation de la vis lors de l'opération de fonçage. La valeur du couple sur les 50 derniers centimètres est comparée à celles obtenues pour lors de l'essai de conformité et pour les autres vis du chantier. Toute vis présentant un écart significatif supérieur à 20 % de la moyenne fait l'objet d'un essai de contrôle complémentaire.

Nota : Le couple ou la pression de forage ne peuvent être utilisés comme un moyen de corrélation pour estimer la résistance du terrain.

Un dossier des ouvrages exécutés est transmis au maître d'ouvrage, il comporte : les fiches d'autocontrôles, les certificats CE des vis, plan de récolement de l'implantation des vis, les relevés de couples ou éventuels enregistrements des paramètres de forage, les résultats des essais de chargement...

12. Remaniement des sols supérieurs.

Une hauteur de sol équivalente à la garde hors gel, sans être inférieure à 50 cm est systématiquement négligée dans le dimensionnement.

Cette hauteur de sol à négliger doit également tenir compte de l'historique du site, des travaux de terrassement ou configuration du projet anciens ou futurs. On vise ici tout particulièrement :

- la présence de remblais anthropiques profonds qui pourraient ne pas avoir été détectés lors de l'étude de sol,
- les éventuelles fouilles archéologiques,
- les travaux de terrassement et de reprofilage des sols,
- les travaux de dessouchage...

Il appartient au maître d'œuvre que les éléments historiques connus soient effectivement transmis à Krinner SAS pour prise en compte et que l'ensemble des intervenants du projet soit sensibilisé au sujet.

13. Cas des sols soumis à retrait/gonflement

En cas de retrait ou gonflement du sol, les vis peuvent être soumises à la fois à des efforts parasites axiaux (ascendants et descendants) mais également transversaux, importants et difficilement quantifiables.

Dans ces conditions, l'ouvrage dans son ensemble doit être alors conçu pour réduire et s'adapter à l'impact du retrait gonflement.

Des dispositions vis-à-vis du retrait/gonflement sont à considérer pour le dimensionnement des vis (augmentation de la hauteur dégradée, profondeur de couche d'ancrage minimal, frottement négatif, sollicitations transversales...) ; ces éléments font l'objet d'une mise au point entre Krinner SAS et le géotechnicien de l'opération.

14. Cas des projets photovoltaïques

A la date du présent avis, des recommandations professionnelles du Comité Français de Mécanique des Sols sont en cours de rédaction. Après parution, ces recommandations compléteront le cahier des charges de Krinner SAS.

15. Cas d'utilisation du procédé en situation sismique.

Le procédé « *système de fondations par vis métallique Krinner* » est autorisé exclusivement pour des structures dissipatives de type DCL, pour lesquelles les vérifications sismiques sous efforts cinématiques ne sont pas nécessaires (selon NF EN 1998-5).

Les sols de classe S1 et S2 sont exclus du domaine d'emploi.

L'emploi de vis inclinées est proscrit.

Les recommandations du CT 38 et notamment le § 10.6.2, s'appliquent.

**EPG :
Commission d'Évaluations
des Procédés Géotechniques**

Les vis à hélice sont autorisées, sous réserve que :

- la butée horizontale du sol soit négligée jusqu'à la hauteur de l'hélice,
- les efforts horizontaux soient alors repris intégralement par un massif béton situé en tête de vis.
- les vérifications STR de la vis soient menées avec prise en compte du déplacement du massif nécessaire à la mobilisation de la butée sismique.

Aucun emploi des fondations KRINNER SAS ne peut avoir lieu dans les sols liquéfiables sans un traitement préalable de ces derniers.

16. Analyse des références

Aucun désordre imputable au procédé, n'a été constaté sur les chantiers réalisés avec ce procédé depuis 2015.