



Guide pour la réalisation de cahiers des
charges soumis à une Évaluation de
Procédés Géotechniques (EPG)
Version 1 – Février 2019

Sommaire

Préambule	3
Obtention d'une EPG.....	5
Introduction.....	8
1 Présentation du procédé.....	10
2 Rappel du cadre normatif.....	10
3 Domaine d'application	10
4 Procédure de réalisation	11
5 Méthode de dimensionnement	11
5.1 Pieux, micropieux, tirants.....	11
5.2 Cas des inclusions rigides	11
5.2.1 Nombre d'essais	12
5.2.2 Coefficient k_3	12
5.3 Autres procédés	13
6 Dossier des essais.....	13
7 Mise en oeuvre.....	13
8 Dispositions constructives spécifiques.....	14
9 Contrôles d'exécution	14
9.1 En cours d'exécution	14
9.2 Sur les matériaux « cimentaires »	14
9.3 Sur les autres matériaux.....	14
10 Maîtrise des risques	15
11 Plots expérimentaux.....	15
11.1 Pieux, micropieux, tirants et inclusions.....	15
11.1.1 Optimisation de la résistance structurale	15
11.1.2 Optimisation de la résistance géotechnique.....	15
11.2 Autres procédés	17

Préambule

Ce guide présente la démarche permettant d'aboutir à l'Évaluation d'un Procédé Géotechnique (EPG) décrit dans un cahier des charges. Il sert de document de référence à l'IFSTTAR et au Cerema pour délivrer une Évaluation de Procédés Géotechniques. Il constitue l'aboutissement des réflexions à une date donnée. En ce sens, il peut être considéré comme abouti concernant les procédés de fondations profondes mais reste plus général vis-à-vis des autres procédés envisagés, pour lesquels il est plus délicat de décrire a priori la démarche à suivre.

Pour ce qui concerne les ouvrages géotechniques, l'EPG représente un « outil » dont la vocation est de gérer l'innovation portée par les entreprises dans le cadre des normes en vigueur.

Cette procédure, équivalente aux ATEEx (Appréciations Techniques d'Expérimentation) et ATec (Avis Techniques) délivrés par le CSTB, s'inscrit dans la continuité des avis formulés par les bureaux de contrôle dans le cadre d'Enquêtes de Techniques Nouvelles (ETN).

Vis-à-vis du cadre normatif, les EPG permettent aux entreprises possédant des cahiers des charges relatifs aux ouvrages de fondations profondes de compléter les normes en vigueur selon la clause 9 de la section 1 de la norme NF P94-262 relative à la justification des fondations profondes selon l'Eurocode 7 – Partie 1 sur la base d'un certain nombre d'essais ou d'une démarche de conception et de dimensionnement optimisée. Néanmoins la démarche peut être également mise en œuvre pour d'autres types d'ouvrages géotechniques : tirants d'ancrage, amélioration des sols, etc.

Ce guide relatif à l'évaluation de procédés géotechniques a été rédigé, d'une part, par l'IFSTTAR et le Cerema, et d'autre part, par des représentants de la profession géotechnique :

- O.Barnoud (Geotec) et F.Mayeux (ERG) représentant l'USG (Union Syndicale Géotechnique)
- J.Robert (Arcadis) et J.M.Alba (Sol Essais) représentant Syntec Géotechnique ;
- M.Glandy (Solétanche-Bachy Pieux), S.Lambert (Keller) et O.Goudenege (Pieux Ouest) représentant le SOFFONS (Syndicat des Entrepreneurs de Sondages, Forages et Fondations Spéciales) ;
- J.P.Volcke (Franki Fondation) en tant que président de la commission de normalisation pour la justification des ouvrages géotechniques (CNJOG) et Y.Legendre (Solétanche-Bachy) puis O. Madec (Botte Fondation) en tant que président de la commission de normalisation pour l'exécution des travaux géotechniques (CNETG) ;
- M.Lucas (SMA) représentant des assureurs ;
- Philippe Bousquet-Jacq en tant que représentant des experts auprès des assurances ;
- P.Berthelot puis N. Nayrand (Bureau Veritas Construction), N.Borie (Apave), L.Carpinteiro puis G. Gourin (Socotec), représentants des bureaux de contrôles ;
- A.Blondeau en tant qu'expert judiciaire ;
- S.Burlon, A Le Kouby, C.Minatchy et F.Szymkiewicz pour l'IFSTTAR ;
- J.Habert, L.Leurent et G. Valdeyron pour le Cerema.

Dans la suite du texte le terme commission est utilisé pour désigner ce collège d'experts. Lors de l'examen d'un cahier des charges, ces experts sont soumis à des clauses de confidentialité.

Les membres du SOFFONS ne participent pas aux délibérations relatives à un cahier des charges d'une entreprise du SOFFONS.

Dans le cadre de la création ou du renouvellement d'un cahier des charges, cette commission se réunit 2 à 3 fois par an pour répondre aux questions de l'IFSTTAR et du Cerema sur les sujets suivants :

- la recevabilité d'un procédé pour la création d'un cahier des charges visé par une EPG ;
- la validation d'un nouveau cahier des charges ;
- la prolongation de cahiers des charges existants ;
- l'application du présent guide de manière plus générale.

Dans ce cadre, les membres de la commission apportent leur retour d'expérience par rapport aux différents procédés géotechniques abordés. L'animation de la commission est confiée à un agent de l'IFSTTAR ou du Cerema. Les décisions prises sont de la responsabilité de l'IFSTTAR et du Cerema.

Les évaluations de procédé géotechnique et les cahiers des charges qui y sont relatifs sont disponibles sur le site internet suivant : <http://www.piles.setra.developpement-durable.gouv.fr/>

Ce guide a pour objectif de mettre en place une procédure consensuelle et neutre pour l'instruction des cahiers des charges de procédés géotechniques. L'ensemble des recommandations que contient ce guide résulte donc d'un accord auquel chacun des membres de la commission adhère.

Ce guide a aussi pour objectif de favoriser et d'encadrer l'innovation dans le domaine géotechnique. Il ne se veut donc pas être un frein à la recherche dans le domaine des procédés géotechniques innovants mais seulement un moyen permettant de contrôler que ces procédés répondent bien à un certain nombre d'exigences garantissant la robustesse et la fiabilité des ouvrages construits.

Obtention d'une EPG

L'entreprise qui souhaite obtenir ou renouveler une EPG pour un procédé particulier doit en faire la demande à l'IFSTTAR ou au Cerema. La commission peut être sollicitée pour assister l'IFSTTAR et le Cerema sur l'éligibilité d'un procédé ou la possibilité d'une évaluation.

Pour une création ou un renouvellement, sont identifiés :

- 1 ou 2 agents appartenant à l'IFSTTAR ou au Cerema, qui évaluent :
 - la conformité de la démarche d'évaluation du procédé au présent guide (cahier des charges, référentiel ?), et
 - son aptitude à satisfaire aux exigences de fiabilité et de robustesse requis par les documents normatifs ou réglementaires existant, en lien avec le procédé étudié.

Ces agents sont présents aux différentes étapes jalons d'élaboration du cahier des charges de l'entreprise (procédure d'essai, validation des résultats d'essai et de leur interprétation, visite de chantier, etc...).

- 1 ou 2 experts qui ne sont pas forcément membres de la commission, missionné(s) par le demandeur. Ils accompagnent l'entreprise,
 - dans sa démarche d'élaboration du procédé (participation aux essais, aux visites de chantier, aux réunions d'analyse des résultats, soutien technique, etc), et/ou
 - dans sa démarche de mise en conformité du cahier des charges au présent guide.

Des réunions d'échanges sont organisées afin d'établir un document finalisé à la charge de l'entreprise, qui est présenté pour avis et commentaires à l'ensemble de la commission en vue de l'obtention ou du renouvellement d'une EPG. Cette évaluation est rédigée par l'IFSTTAR et le Cerema ; elle est obtenue pour une durée renouvelable d'au maximum 3 ans.

Pour une création ou un renouvellement, les documents constituant l'EPG sont :

- le cahier des charges indiquant les spécificités de la technique développée en matière de dimensionnement, d'exécution, etc. ;
- l'avis IFSTTAR/Cerema accompagné d'un rapport d'analyse annexé à cet avis.

Ces documents sont rendus publics et sont transmis 4 semaines avant leur présentation devant la commission. Les données d'essais, leur analyse et interprétation par l'entreprise, les rapports complémentaires de justification, les avis des experts accompagnant l'entreprise dans sa démarche, etc. sont seulement transmis à l'IFSTTAR et au Cerema.

Création d'un cahier des charges

Lors d'une création de cahier des charges, les éléments suivants sont considérés :

- Résultats des essais réalisés;
- Interprétation des essais par l'entreprise et conclusions ;
- Communications scientifiques éventuelles et rapports complémentaires de justification ;
- Retours d'expérience "chantier" ;
- Analyse de la conformité des éléments avec les prescriptions figurant au présent guide
- Retours des membres de la commission.

Sur la base de ces différents éléments, la création est entérinée par l'IFSTTAR et le Cerema.

L'EPG peut être octroyée à titre probatoire pour une durée n'excédant pas 2 ans et/ou sur un domaine d'application restreint, et/ou accompagnée d'autres restrictions (taux de travail limité par exemple) pour donner le temps à l'entreprise de compléter son dossier sur quelques points ; l'EPG ne pourra pas être prorogée en l'absence d'évolution du dossier.

La création d'un nouveau cahier des charges comprend à minima et en général trois réunions de la commission :

1. La présentation initiale du procédé (caractère innovant et domaine d'application) et du programme expérimental,
2. La présentation des résultats du programme expérimental et leur intégration dans le cahier des charges,
3. La présentation du cahier des charges définitif, et son ajustement en fonction des remarques formulées par les experts (préalablement à cette réunion, ou en séance).

Sauf exception, les entreprises sont invitées à ces réunions pour présenter leur procédé et les résultats de leur démarche expérimentale.

Renouvellement d'un cahier des charges

Lors du renouvellement d'un cahier des charges, en l'absence de modifications sur le procédé, le dimensionnement, les contrôles, de sinistres ou de retours d'expérience défavorables, de changements du cadre normatif ou réglementaire, la prolongation s'appuie sur les éléments suivants :

- les références de chantier sur les trois dernières années ;
- les attestations récentes de travaux des maîtres d'ouvrages ;
- les résultats des nouveaux essais éventuellement réalisés et analyse de leur conformité avec les prescriptions figurant au cahier des charges ;
- les communications scientifiques éventuelles ;
- les retours d'expérience "chantier" ;
- un état de sinistralité établi par le courtier ou l'assureur précisant les contentieux, amiables ou judiciaires, dans lesquels la technique objet de l'EPG a été mise en œuvre
- tout complément jugé utile par l'entreprise,
- les retours des membres de la commission, et plus généralement des membres des syndicats qu'ils représentent.

Sur la base de ces différents éléments, la prolongation est entérinée par l'IFSTTAR et le Cerema.

Dans le cas où l'entreprise souhaite obtenir une EPG et possède déjà un cahier des charges validé par un bureau de contrôle ou un ATEc du CSTB, deux situations peuvent se présenter :

- si les préconisations du présent guide sont respectées dans le cas d'une augmentation de la résistance structurale ou/et d'une augmentation de la résistance géotechnique, la procédure s'apparente à un renouvellement,
- si ces préconisations ne sont pas respectées, l'IFSTTAR et le Cerema signalent les lacunes dans leur avis et la durée de l'EPG ne pourra alors pas être supérieure à 2 ans pour laisser à l'entreprise le temps de se mettre en conformité avec les exigences du présent guide (base de

données, planche d'essai, etc.). A l'issue des 2 ans, et uniquement si les lacunes sont effectivement levées, l'EPG sera validée pour une durée de 3 ans.

L'EPG peut être annulée, par précaution et à tout moment, notamment dans le cas de l'apparition d'un sinistre dont les causes peuvent être imputables au procédé géotechnique, ou en cas de retours d'expérience défavorables. Dans ce cas, les éléments constituant l'EPG doivent être revus.

Les entreprises sont tenues de signaler les sinistres éventuels relatifs à leur procédé.

Le renouvellement d'un cahier des charges comprend a minima une présentation lors d'une réunion de la commission.

Introduction

Un cahier des charges doit être un document autonome sans pour autant recopier des pans entiers de normes existantes. Dans la mesure du possible, il doit renvoyer le plus possible aux documents normatifs existants et indiquer clairement les clauses des normes qu'il complète ou modifie. Un cahier des charges doit se vouloir le plus succinct et clair possible.

Ce guide décrit le contenu d'un cahier des charges qui pourrait être visé par une évaluation de procédés géotechniques (EPG). Les procédés géotechniques visés peuvent relever de deux principales catégories :

- ceux qui peuvent être assimilés à des éléments de fondation. Ces procédés de fondation, pour être soumis à des EPG, doivent en particulier avoir fait l'objet d'un certain nombre d'essais en vraie grandeur et de tests (voir section 6 du présent guide). Les ouvrages visés sont essentiellement les pieux, les micropieux, les tirants et les inclusions. Il s'agit de valider une procédure d'exécution et différentes dispositions constructives permettant de s'assurer que les vérifications géotechniques et structurales permettent d'atteindre un niveau de fiabilité conforme aux normes en vigueur ;
- ceux qui peuvent être assimilés à un ouvrage géotechnique dont le dimensionnement ou l'exécution n'est pas explicitement couvert par les normes actuelles, par exemple, des remblais améliorés, des sols améliorés en place, des fondations superficielles sur inclusions, des ouvrages géothermiques, etc. Il s'agit dans ce cas de valider une méthode de dimensionnement ou une procédure d'exécution qui sort explicitement du champ d'application des normes en vigueur.

Les cahiers des charges sont constitués de 2 parties et doivent aborder les points suivants :

- dans un document destiné à être public :
 - la présentation succincte du procédé, rappelant impérativement son caractère innovant et les modifications ou écarts par rapport aux normes d'application de l'Eurocode 7, notamment la norme NF P94-262 relative à la justification des fondations profondes, et aux normes d'exécution européennes ;
 - le rappel du cadre normatif existant et le cas échéant du cadre réglementaire ;
 - le domaine d'application (dimensions types, classes conventionnelles de sol, compression/traction, limites, etc.), en relation avec les essais expérimentaux réalisés par l'entreprise ;
 - la description précise de la procédure d'exécution du procédé et des caractéristiques du matériel et des matériaux mis en œuvre ;
 - la présentation précise de la méthode de dimensionnement proposée ;
 - la liste exhaustive des essais expérimentaux réalisés par l'entreprise dans le cadre du cahier des charges ;
 - les dispositions constructives spécifiques à prendre ;
 - le suivi et le contrôle d'exécution ;
 - la démarche générale de maîtrise des risques ;
 - Le contenu des éléments attendus dans le dossier des ouvrages exécutés (DOE) ;
- dans un document réservé aux experts choisis par l'entreprise, et aux agents de l'IFSTTAR et du Cerema, chargés de l'instruction de l'EPG :

- la présentation et les origines précises de la méthode de dimensionnement proposée ;
- le dossier complet des essais expérimentaux ;
- tout rapport complémentaire de justification produit par l'entreprise dans le cadre de l'établissement du cahier des charges.

Chaque aspect mentionné précédemment fait l'objet d'une section spécifique dans ce guide qui doit être reprise dans le cahier des charges mis au point par l'entreprise.

1 Présentation du procédé

Le procédé géotechnique proposé pour une EPG doit être décrit en mettant en avant :

- une conception originale qui diffère des normes et des recommandations acceptées par la profession : par exemple, une dalle en tête d'inclusion pour retenir d'autres caractéristiques de matelas que celles décrites dans ASIRI ;
- un calcul ou un dimensionnement original ; par exemple, le pieu géothermique ;
- une procédure d'exécution originale ou utilisée dans des circonstances originales : l'utilisation en France d'un procédé uniquement connu à l'étranger, l'utilisation d'un matériel spécifique à une entreprise, la possession d'un brevet, des contraintes d'exécution supplémentaires aux normes en vigueur, etc. peuvent entrer dans cette catégorie
- une procédure de contrôle qualité sur la durée qui apporte une connaissance moins « aléatoire » contribuant à une diminution des risques.

Le procédé est une association de plusieurs des aspects décrits précédemment.

2 Rappel du cadre normatif

Une liste des normes et des recommandations relatives au procédé développé doit être fournie. Cette liste peut comprendre des normes relatives à la reconnaissance des terrains, au dimensionnement, aux contrôles et à l'exécution.

Il est important à ce stade de mettre en évidence, d'une part, les aspects innovants non traités par les normes ou recommandations professionnelles en vigueur, et d'autre part, les clauses des normes desquelles le cahier des charges s'écarte explicitement. Implicitement, toutes les autres clauses des normes s'appliquent et il n'est pas utile de les recopier dans le cahier des charges.

3 Domaine d'application

Dans cette section, il convient de présenter le domaine d'application du procédé géotechnique retenu. Ce domaine d'application peut être relatif à :

- des constructions : bâtiments, ponts, etc. ;
- des terrains : sols ou roches, argile, sable, craie, marne, etc. ;
- des combinaisons de charges : durable et transitoire, accidentelle, sismique, etc. ;
- des sollicitations (axiales, transversales, cycliques, dynamiques, etc.) ;
- des paramètres géométriques (diamètre, profondeur des fondations etc.) ;
- des limites d'utilisations (pieux verticaux, inclinés, etc.) ;
- etc.

Le cahier des charges doit indiquer s'il se limite à certaines catégories géotechniques ou certaines classes de conséquence. Il doit indiquer les situations des états limites ultimes pour lesquelles ils s'appliquent : durables et transitoires, accidentelles et sismiques telles que définies dans la norme NF EN 1990.

4 Procédure de réalisation

Les différentes phases de réalisation de l'ouvrage géotechnique, le matériel utilisé et les matériaux mis en œuvre sont décrits dans cette section. Des illustrations sont présentées afin de visualiser correctement les spécificités de la procédure suivie et du matériel utilisé.

Le caractère innovant ou spécifique du matériel utilisé doit être précisé.

Le cas échéant, l'utilisation d'un système de mesures en temps réel (par exemple, un logiciel d'enregistrement des paramètres de forage) doit être précisée. Les paramètres mesurés doivent alors être décrits, en détaillant :

- la nature de ces paramètres ;
- la méthode de mesure (nature, caractéristiques et position des capteurs) ;
- l'échantillonnage des mesures ;
- les ordres de grandeur ainsi que les valeurs des paramètres caractéristiques couramment attendus.

5 Méthode de dimensionnement

5.1 Pieux, micropieux, tirants

Pour la résistance structurale, les modifications peuvent porter sur les valeurs caractéristiques des matériaux (pour des matériaux non couverts par les Eurocodes) ou, pour le béton, sur les valeurs des coefficients k_1 et k_2 et sur la valeur C_{max} . Celles-ci sont déduites de mesures de compression simple effectuées sur des carottes prélevées sur des pieux ou inclusions et analysées au regard de la résistance du béton, coulis ou mortier effectivement mis en œuvre, qui doit donc également être mesurée.

Pour la résistance géotechnique, les modifications peuvent porter sur les facteurs de portance $k_{p,max}$ et $k_{c,max}$, les coefficients $\alpha_{\text{pieu-sol}}$, les valeurs limites $q_{s,max}$ et le coefficient de modèle $\gamma_{R;d1}$. Ces modifications doivent être menées conformément à la procédure suivie lors de l'élaboration de la norme NF P94-262 et détaillée dans les articles suivants :

- Baguelin, F., Burlon, S., Bustamante, M., Frank, R. et Gianceselli, L., Habert, J. et Legrand, S. (2012). Justification de la portance des pieux avec la norme « fondations profondes » NF P 94-262 et le pressiomètre. Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, Bordeaux ;
- Burlon, S., Frank, R., Baguelin, F., Habert, J. and Legrand, S. (2014) Model factor for the bearing capacity of piles from pressuremeter test results A Eurocode 7 approach. Géotechnique, 64(7), 513-525.

Les méthodes de calcul doivent être de "type direct", c'est-à-dire qu'elles doivent directement corrélérer les valeurs de pression limite ou de résistance de cône aux valeurs des frottement axiaux limites $q_{s,max}$ ou des facteurs de portance $k_{p,max}$ ou $k_{c,max}$. Les corrélations entre les valeurs de pression limite et de résistance de cône ne sont pas admises (voir clause 2 de la section 8.5.2 de la norme NF P94-262).

5.2 Cas des inclusions rigides

Pour les inclusions rigides avec matelas, les recommandations ASIRI s'appliquent. Des propositions différentes ont été faites pour les inclusions rigides sans matelas.

L'idée est de proposer une adaptation des éléments précédents pour **les entreprises pouvant justifier d'une expérience importante**. Il est proposé de distinguer ces entreprises en retenant celles :

- Bénéficiant d'un certain nombre de références dans le domaine des inclusions rigides : un critère d'au moins 100 chantiers par an, d'inclusions rigides avec et sans matelas, est proposé,
- Capitalisant les données d'essais de chargement statique, en évaluant la justesse des méthodes de modélisation du comportement vertical des inclusions : une quantité d'au moins 10 essais de chargement analysés par an est proposée.

Cette analyse devra être transmise annuellement à l'IFSTTAR/Cerema pour analyse et validation.

5.2.1 Nombre d'essais

Pour les entreprises présentant une expérience importante, il est proposé de réduire le nombre des essais de chargement (et en aucun cas de les supprimer). Le tableau suivant indique le nombre d'essais de chargement retenu :

Nombre d'inclusions	Domaine 1 (IR nécessaires à la portance)	Domaine 2 (IR non nécessaires à la portance)
≤ 300	1 essai pour 150 IR	1 essai
301 à 600	3 essais	2 essais
> 600	1 essai pour 600 IR supplémentaires	1 essai pour 1000 IR supplémentaires

Les caractéristiques des essais de chargement (et en particulier la définition des essais de qualité et de portance) restent inchangées par rapport aux recommandations ASIRI. En particulier, les résultats des essais doivent être systématiquement comparés aux modélisations dans des conditions similaires aux essais. Les modélisations doivent être notamment reprises en cas de différence significative entre les prévisions et l'expérimentation.

5.2.2 Coefficient k_3

Pour les entreprises présentant une expérience importante, il est proposé de modifier les coefficients k_3 , uniquement pour les cas où aucun essai de chargement n'est réalisé.

	Sans essai	Contrôle renforcé uniquement	Essais (de chargement) de qualité	Essais (de chargement) de portance	Contrôle renforcé + essais de chargement
Domaine 1 (IR nécessaires à la portance)	0,70	1	-	1,20	1,40
Domaine 2 (IR non nécessaires à la portance)	0,75	1	1,40	1,50	1,70

La méthode de calcul proposée doit s'appuyer sur un nombre recommandé d'essais décrits dans la section 11 de ce guide.

5.3 Autres procédés

Pour les autres procédés (remblais améliorés, sols améliorés en place, fondations superficielles sur inclusions, ouvrages géothermiques, etc.), il convient que la méthode de justification ait été agréée par la commission. Cette méthode de justification doit être présentée dans le cahier des charges.

6 Dossier des essais

Pour chaque site expérimental, l'entreprise crée un dossier. Ce dossier fait partie du document réservé aux experts choisis par l'entreprise, et aux agents de l'IFSTTAR et du Cerema, chargés de l'instruction de l'EPG. Il doit être précis de manière à pouvoir interpréter fidèlement les résultats. Il renseigne de manière exhaustive sur :

- les dimensions des ouvrages testés ;
- la méthodologie d'exécution et les dispositifs particuliers employés pour la réalisation des ouvrages ;
- les conditions d'exécutions des ouvrages (enregistrements, journal d'exécution, etc.);
- les quantités et les caractéristiques des matériaux mis en œuvre ;
- le contexte géotechnique de la zone d'essai ;
- les différentes notes de calculs permettant de prévoir le comportement des ouvrages ;
- le détail du dispositif de chargement employé ainsi que les différentes notes de calculs utiles à son dimensionnement (voir section 11) ;
- les résultats des dispositifs de mesure ;
- l'interprétation des résultats des différents essais menés.

7 Mise en oeuvre

Cette section aborde à la fois la phase de réalisation et les dispositions consécutives à l'exécution du procédé géotechnique.

La procédure complète de réalisation de l'ouvrage géotechnique est décrite dans cette section : par exemple le bétonnage (durée maximale, suivi des paramètres d'injection), la mise en place des armatures s'il y a lieu, le mode de recépage ou tout autre phase concernant le procédé abordé.

Les tolérances d'exécution et la façon de les prendre en compte sont aussi détaillées dans ce chapitre si cela est pertinent, en particulier si elles diffèrent de celles des normes, par exemple de celles de l'annexe R de la norme NF P 94-262.

8 Dispositions constructives spécifiques

Si des dispositions constructives particulières s'ajoutent aux prescriptions générales concernant le type de fondations mis en œuvre, elles sont écrites dans cette section.

Ces dispositions particulières traitent par exemple des aciers et du béton, avec, des détails sur les épaisseurs d'enrobage, le raboutage des armatures, etc.

9 Contrôles d'exécution

Cette section détaille les contrôles menés durant la mise en œuvre du procédé géotechnique pour justifier de son intégrité. Il est souhaitable de distinguer les essais menés en cours d'exécution de l'ouvrage géotechnique et ceux menés après sa réalisation.

Il n'est autorisé de diminuer le nombre d'essais imposés par des normes ou des recommandations qu'à condition de réaliser suffisamment de chantiers par an et de présenter un dossier de capitalisation des données d'essais (voir Section 5).

9.1 En cours d'exécution

Un système d'enregistrement continu des paramètres adapté au procédé donne des informations sur la conformité et l'intégrité du procédé géotechnique. Si le système d'enregistrement n'a pas fourni les éléments adéquats, le procédé géotechnique doit être testé selon une procédure définie dans le cahier des charges. Par exemple, un élément de fondation sera impérativement testé par un essai d'impédance ou de réflexion. Un nombre identique d'éléments pour lesquels l'enregistrement a fonctionné sera également testé, afin de permettre l'interprétation des essais.

9.2 Sur les matériaux « cimentaires »

La fréquence de prélèvement des éprouvettes est déterminée en fonction de la taille du chantier, et du volume de matériau mis en place.

De plus, et indépendamment du volume de matériau mis en place et du cahier des charges spécifique à chaque opération, un prélèvement au moins est effectué tous les trois jours ouvrés.

Pour les fondations profondes, et en cas d'application du « contrôle renforcé », le cahier des charges précise le type d'essais de contrôle : le nombre ne peut pas être inférieur à celui de la norme.

Chaque élément sur lequel une anomalie a été détectée doit faire l'objet d'une analyse particulière. Par exemple, par carottage jusqu'au niveau de l'anomalie détectée : Les échantillons prélevés doivent faire l'objet de mesure de célérité en laboratoire et/ou d'écrasement. De plus, 3 pieux supplémentaires par pieu présentant une anomalie doivent être testés à l'aide d'une méthode non destructrice (impédance ou réflexion).

9.3 Sur les autres matériaux

Les différents matériaux et produits utilisés doivent respecter les normes européennes en vigueur. En l'absence éventuelle de normes harmonisées, la démarche EPG présuppose la détention d'une Evaluation Technique Européenne (ETE, ex-ATE).

10 Maîtrise des risques

Cette section inclut tous les commentaires que l'entreprise souhaite apporter pour démontrer la fiabilité et la robustesse du procédé qu'elle développe.

11 Plots expérimentaux

Pour les pieux, micropieux, tirants et inclusions, les aspects relatifs à la résistance structurale de l'ouvrage et ceux relatifs à la résistance géotechnique sont à distinguer.

Les éléments testés doivent présenter des dimensions en ce qui concerne leurs longueurs et leurs diamètres représentatives de celles couramment mises en œuvre dans la limite des possibilités offertes par les capacités d'essais et de tests : par exemple, les essais de compression sont rarement menés au-delà de 1000 tonnes.

11.1 Pieux, micropieux, tirants et inclusions

11.1.1 Optimisation de la résistance structurale

Le paragraphe 11.1 fournit les prescriptions qui sont demandées pour des pieux bétons coulés en place. Des prescriptions différentes, autres ou complémentaires peuvent être demandées en fonction des particularités du procédé évalué.

Lorsque la résistance structurale du procédé est susceptible de différer de celle qui est proposée par la norme, le cahier des charges doit présenter une méthode d'évaluation sur la base des informations suivantes :

- les observations après la mise à nu sur au moins 3 m du pieu, du micropieu, du tirant ou de l'inclusion : il s'agit de mesurer directement les dimensions de la fondation et de visualiser le matériau, l'interface entre la fondation et le terrain et l'effet de la mise en œuvre, du mode de forage, etc. ;
- les résultats de 8 carottages toute hauteur dans 8 pieux ou inclusions. Les pieux ou inclusions investigués doivent traverser en tout 4 types de sols différents (au sens de la norme NF P94-262). Au total, au moins, 32 essais de compression simple sont à réaliser : il s'agit d'avoir suffisamment de données pour justifier le cas échéant les valeurs des coefficients k_1 , k_2 , C_{max} ;
- les résultats d'essais de contrôle d'intégrité (dans la mesure du possible, d'auscultation sonique) sur 20 pieux ou inclusions : il s'agit de caractériser l'absence de défauts récurrents (conformément aux normes d'auscultation en vigueur) mais aussi le caractère homogène vertical et transversal de la fondation.

Les essais doivent être menés au moins sur 4 sites : deux au moins dans un terrain avec nappe et deux dans un terrain sans nappe.

Pour les carottages, il est nécessaire de réaliser les mesures sur des échantillons prélevés dans les pieux ou inclusions et sur des éprouvettes réalisées avec des moules en carton et conservées dans les conditions requises pour ce type d'essai.

11.1.2 Optimisation de la résistance géotechnique

Si la résistance géotechnique du procédé proposé est justifiée selon une approche différente de celle proposée par les normes, on doit présenter dans le cahier des charges une méthode d'évaluation de cette résistance.

Cette méthode d'évaluation est basée sur des essais statiques en compression ou en traction en vraie grandeur réalisés selon les normes d'essais en vigueur. On rappelle que les seuls essais acceptables sont de type statique et qu'ils doivent être menés jusqu'à la rupture. Il est donc essentiel que le dispositif de chargement permette, à la fois en capacité et en déplacement, de mener l'ouvrage géotechnique jusqu'à sa rupture géotechnique. A défaut d'atteindre la rupture, les essais doivent systématiquement mettre en évidence très distinctement la charge de fluage de manière à procéder à une extrapolation de la courbe charge-déplacement le cas échéant. Ces essais doivent être instrumentés de manière à pouvoir acquérir suffisamment de valeurs de frottement axial q_{smax} et de facteur de portance pressiométrique k_p (ou k_c pour la méthode pénétrométrique).

Le Tableau 2 fournit l'exemple d'un nombre minimal de valeurs de frottement axial q_{smax} et de facteur de portance k_p (ou k_c) qui permettrait de valider une méthode de dimensionnement pour 4 catégories de sol.

Cependant, il est rappelé que la fiabilité de la méthode de dimensionnement se juge sur la résistance géotechnique globale. Des essais non instrumentés peuvent aussi être considérés dans l'analyse en complément.

Le nombre d'essais présentés dans le Tableau 2 comprend le nombre minimal de valeurs à acquérir. Il faut bien souligner que ce nombre peut être dépassé de manière à optimiser complètement le procédé géotechnique.

A proximité de chaque pieu d'essai ou d'ouvrage géotechnique testé, à une distance de moins de 5 m, doivent avoir été réalisés, sur une profondeur égale à $D+5B$, au moins un sondage carotté avec des essais d'identification en laboratoire, au moins un profil d'essais pressiométriques (avec un essai au maximum tous les 1.0 m) et un sondage pénétrométrique statique (dans la mesure des possibilités de pénétration, ou si la méthode de calcul présente des règles basées sur les propriétés pénétrométriques).

Les procédures de réalisation des sondages sont conformes aux normes en vigueur. Dans le cas d'essais pressiométriques, le matériel utilisé est à adapter à la nature et à l'état des sols testés, afin de ne pas estimer par défaut la pression limite p_{LM} .

Tableau 2. Informations à acquérir pour une modification du modèle de calcul de la résistance géotechnique d'un procédé ne se rattachant pas à une catégorie conventionnelle définie par la norme NF P94-262

	Modification des paramètres k_p , k_c , $\alpha_{\text{pieu-sol}}$ et q_{smax} ou du coefficient de modèle $\gamma_{\text{Rd};1}$				
	1 ^{ère} catégorie de terrain	2 ^{ème} catégorie de terrain	3 ^{ème} catégorie de terrain	4 ^{ème} catégorie de terrain	5 ^{ème} catégorie de terrain
Nombre de sites	3	3	2	2	2
Pointe Valeur du facteur de pointe k_p	4 mesures	4 mesures	2 mesures	2 mesures	2 mesures
Frottement axial Valeur du frottement axial unitaire q_s	12 valeurs	12 valeurs	8 valeurs	8 valeurs	8 valeurs

Note 1 – Une entreprise peut choisir d'élaborer un cahier des charges restreint à certains types de sols (argile ou limon, sable, craie, marne, roche). Pour chaque type de terrain, il est nécessaire de réaliser des essais statiques de chargement ou d'arrachement sur différents sites de manière à acquérir des données couvrant un éventail suffisant de natures et de résistances: par exemple, dans l'argile, des argiles normalement consolidées et surconsolidées sont à tester avec pressions limites nettes variant dans un rapport de l'ordre de 3 à 4.

Note 2- Si l'entreprise envisage de créer des sous-catégories de terrain (exemple sables lâches, sables compacts, etc.), il convient d'obtenir le même nombre de mesures pour chaque sous-catégorie. (par exemple : pour 2 sous-catégories pour la première catégorie de terrain 2 x 4 mesures en pointe et 2 x 12 mesures de frottement axial)

11.2 Autres procédés

Pour les autres procédés, la fiabilité de la méthode de dimensionnement doit être éprouvée à partir d'au moins un plot d'essai expérimental instrumenté et/ou étalonnée sur une méthode de dimensionnement éprouvée et reconnue.

Le nombre de plots d'essai est à adapter en fonction :

- du procédé et de son domaine d'application,
- du programme expérimental et de la méthode de travail proposés par l'entreprise et validés par la Commission.

Les plots d'essai expérimentaux permettent aussi de valider la pertinence du procédé géotechnique.

Ce dernier doit permettre de contrôler :

- le comportement de l'ouvrage (déplacement, déformations, efforts, contraintes, etc.) ;
- l'obtention de critères de réception fixés préalablement ;
- etc.

Ces données mesurées doivent être comparées aux résultats attendus.

Pour des procédés particuliers ou lorsque que les conditions d'épreuve ne peuvent être réunies, des modélisations numériques complexes éprouvées ou des expérimentations sur modèle physique (par exemple, en centrifugeuse) peuvent être envisagées.