

Première édition
2018-11

Version corrigée
2019-03

**Reconnaissance et essais
géotechniques — Essais des structures
géotechniques —**

**Partie 1:
Essais de pieux: essai de chargement
statique en compression**

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

*Geotechnical investigation and testing — Testing of geotechnical
structures —*

Part 1: Testing of piles: static compression load testing

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4ffaeb12-46de-4162-b937-19dffcfe9e/iso-22477-1-2018>



Numéro de référence
ISO 22477-1:2018(F)

© ISO 2018

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 22477-1:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4ffaeb12-46de-4162-b937-19dffe9e/iso-22477-1-2018>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2018

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
Fax: +41 22 749 09 47
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes, définitions et symboles	1
3.1 Termes et définitions.....	2
3.2 Symboles.....	2
4 Équipement	3
4.1 Généralités.....	3
4.2 Système de réaction.....	3
4.3 Charge appliquée.....	5
4.3.1 Généralités.....	5
4.3.2 Spécifications de la charge appliquée.....	5
4.4 Mesure des déplacements de la tête du pieu.....	5
4.5 Mesure de la charge appliquée sur le pieu.....	6
4.6 Instrumentation du pieu.....	7
5 Procédure d'essai	8
5.1 Préparation de l'essai.....	8
5.1.1 Protections.....	8
5.1.2 Construction d'un pieu d'essai.....	8
5.1.3 Date de l'essai.....	8
5.1.4 Préparation de la tête du pieu.....	9
5.2 Procédure de chargement.....	9
5.2.1 Généralités.....	9
5.2.2 Séquence et durée des paliers de chargement pour une procédure à un seul cycle.....	9
5.2.3 Séquence et durée des paliers de chargement pour une procédure à plusieurs cycles.....	10
5.2.4 Charge d'essai maximale F_p	11
5.2.5 Intervalles de mesure.....	11
6 Rapport d'essai	12
6.1 Généralités.....	12
6.2 Informations générales.....	12
6.3 Rapport de données.....	13
6.4 Rapport d'interprétation.....	15
Annexe A (informative) Charge critique de fluage en compression	21
Annexe B (informative) Essai de chargement bidirectionnel	22

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO, participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction définies dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/patents).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: www.iso.org/iso/foreword.html.

Le présent document a été élaboré de manière conjointe par le comité technique ISO/TC 182, *Géotechniques*, et par le comité technique CEN/TC 341, *Reconnaissance et essais géotechniques*, conformément à l'accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (accord de Vienne).

La liste de l'ensemble des parties de la série ISO 22477 se trouve sur le site web de l'ISO.

Tout retour ou question sur ce document doit être adressé à l'organisme national de normalisation de l'utilisateur. Une liste complète de ces organismes peut être trouvée sur le lien suivant: www.iso.org/members.html.

La présente version corrigée de l'ISO 22477-1:2018 inclut les corrections suivantes:

- sur la [Figure 1a](#)), le niveau de la surface du sol a été ajouté et la charge de réaction "flottante" a été corrigée;
- les échelles des [Figures 1a](#)) à [1e](#)) ont été ajustées pour qu'elles soient cohérentes.

Reconnaissance et essais géotechniques — Essais des structures géotechniques —

Partie 1: Essais de pieux: essai de chargement statique en compression

1 Domaine d'application

La présente norme établit les spécifications relatives à l'exécution des essais de pieux sous charge statique, au cours desquels un pieu unique est soumis à une charge de compression axiale statique afin de définir son comportement charge-déplacement.

Ce document s'applique aussi bien aux pieux verticaux qu'aux pieux inclinés.

La présente norme couvre tous les types de pieux. Les essais envisagés dans cette norme sont limités aux essais de chargement par paliers. Les essais de chargement de pieux à vitesse de pénétration constante et les essais de chargement cyclique ne sont pas couverts par la présente norme.

NOTE Cette norme est à utiliser conjointement avec l'EN 1997-1. La norme EN 1997-1 fournit les valeurs numériques des facteurs partiels pour les états limités et des facteurs de corrélation servant à obtenir les valeurs caractéristiques à partir d'essais de chargement statique et devant être prises en compte dans la conception.

La présente norme fournit des spécifications pour l'exécution de l'essai de chargement axial statique de pieu pour:

- a) vérifier qu'un pieu se comporte comme prévu;
- b) mesurer la résistance d'un pieu.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants, dans leur version intégrale ou partielle, ont un caractère normatif et sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 7500-1, *Matériaux métalliques — Étalonnage et vérification des machines pour essais statiques uniaxiaux — Partie 1: Machines d'essai de traction/compression — Étalonnage et vérification du système de mesure de force*

EN 1990, *Eurocode 0: Bases du calcul des structures*

EN 1997-1, *Eurocode 7: Calcul géotechnique — Partie 1: Règles générales*

EN 1997-2, *Eurocode 7: Calcul géotechnique — Partie 2: Reconnaissance des terrains et essais*

3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans EN 1990, EN 1997-1, EN 1997-2 ainsi que les termes et définitions suivants s'appliquent.

ISO et IEC mettent à jour les bases de données terminologiques pour une utilisation dans le cadre de la normalisation, aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>

3.1 Termes et définitions

3.1.1

charge du pieu

F_c

charge exercée sur la tête du pieu pendant l'essai

Note 1 à l'article: pour les essais avec vérin intégré, la charge peut être appliquée à différents niveaux (voir [Annexe B](#)).

3.1.2

incrément de charge

ΔF

incrément de charge ajouté ou soustrait pendant l'essai

3.1.3

diamètre du pieu

diamètre équivalent du pieu

D

diamètre du pieu testé

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Note 1 à l'article: pour un pieu non circulaire de section transversale A , le diamètre équivalent du pieu est

égal à $\sqrt{\frac{4A}{\pi}}$.

[ISO 22477-1:2018](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4ffaeb12-46de-4162-b937-19dffefcfe9e/iso-22477-1-2018>

3.1.4

pieu de l'ouvrage

pieu utilisé dans les fondations d'une structure

3.1.5

pieu d'essai

pieu soumis à des charges pour déterminer les caractéristiques effort/déplacement du pieu et du terrain environnant

3.1.6

résistance à la compression mesurée

$R_{c,m}$

valeur mesurée de la résistance à la compression à l'état limite ultime, au cours d'un ou plusieurs essais de chargement de pieu ([3.1.1](#))

Note 1 à l'article: les critères de rupture recommandés sont définis dans EN 1997-1.

3.1.7

taux de fluage

α

rapport entre l'augmentation du déplacement de la tête du pieu et le logarithme décimal du temps pendant un intervalle de temps défini

3.2 Symboles

A	aire de la section transversale du pieu
D_b	diamètre équivalent de la base du pieu
$F_{c,cr}$	charge critique de fluage en compression

$F_{c,cr,m}$	valeur mesurée de $F_{c,cr}$ dans un ou plusieurs essais de chargement de pieu
$F_{c,k}$	charge de compression axiale caractéristique
F_p	charge maximale prédéfinie appliquée pendant l'essai
N	effort axial
q_s	frottement latéral unitaire au niveau du fût
$q_{s,m}$	valeur mesurée de q_s
$q_{s,mob}$	frottement latéral mobilisé le long du fût
R_b	résistance de pointe à la base du pieu
$R_{b,m}$	valeur mesurée de R_b dans un ou plusieurs essais de chargement de pieu
$R_{b,mob}$	résistance mobilisée à la base du pieu
R_c	résistance à la compression du terrain contre un pieu, à l'état limite ultime
R_s	résistance par frottement sur le fût du pieu
$R_{s,m}$	valeur mesurée de R_s au cours d'un ou plusieurs essais de chargement de pieu
$R_{s,mob}$	résistance mobilisée par frottement sur le fût du pieu
s	déplacement axial du pieu à la profondeur z
s_b	déplacement axial de la pointe du pieu
s_h	déplacement axial de la tête de pieu
t	temps
z	profondeur
α	taux de fluage

iTech STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

4 Équipement

ISO 22477-1:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/4ffäeb12-46de-4162-b937-19dffëfcfe9e/iso-22477-1-2018>

4.1 Généralités

Le choix de l'équipement doit tenir compte de l'objectif de l'essai, des conditions de terrain, de l'exécution de l'essai et du déplacement attendu du pieu sous l'effet de la charge d'essai maximale.

4.2 Système de réaction

Le système de réaction pour les essais de chargement en compression de pieux peut être:

- un poids mort (lest);
- un ancrage au terrain, réalisé à l'aide de pieux fonctionnant en traction ou de tirants d'ancrage;
- une structure placée sur le pieu d'essai.

NOTE Le dispositif de réaction peut être le pieu d'essai lui-même, la charge étant appliquée en profondeur par un ou plusieurs vérins hydrauliques qui sont intégrés dans le pieu pour assurer un chargement bidirectionnel du pieu (voir [Annexe B](#)).

Un poids mort ne doit pas être utilisé pour les essais sur pieux inclinés, sauf si des mesures particulières sont soigneusement envisagées concernant la stabilité et les déplacements du système de lest.

L'influence du système de réaction sur le pieu d'essai doit être minimisée. Sauf s'il en a été convenu autrement, les distances minimales requises sont indiquées sur les [Figures 1a\) à 1e\)](#). Pour les [Figures 1a\) à 1d\)](#), les valeurs maximales doivent être appliquées. Si la profondeur des pieux de réaction est plus grande que le pieu testé, les dispositions indiquées à la [Figure 1c\)](#) doivent être appliquées.

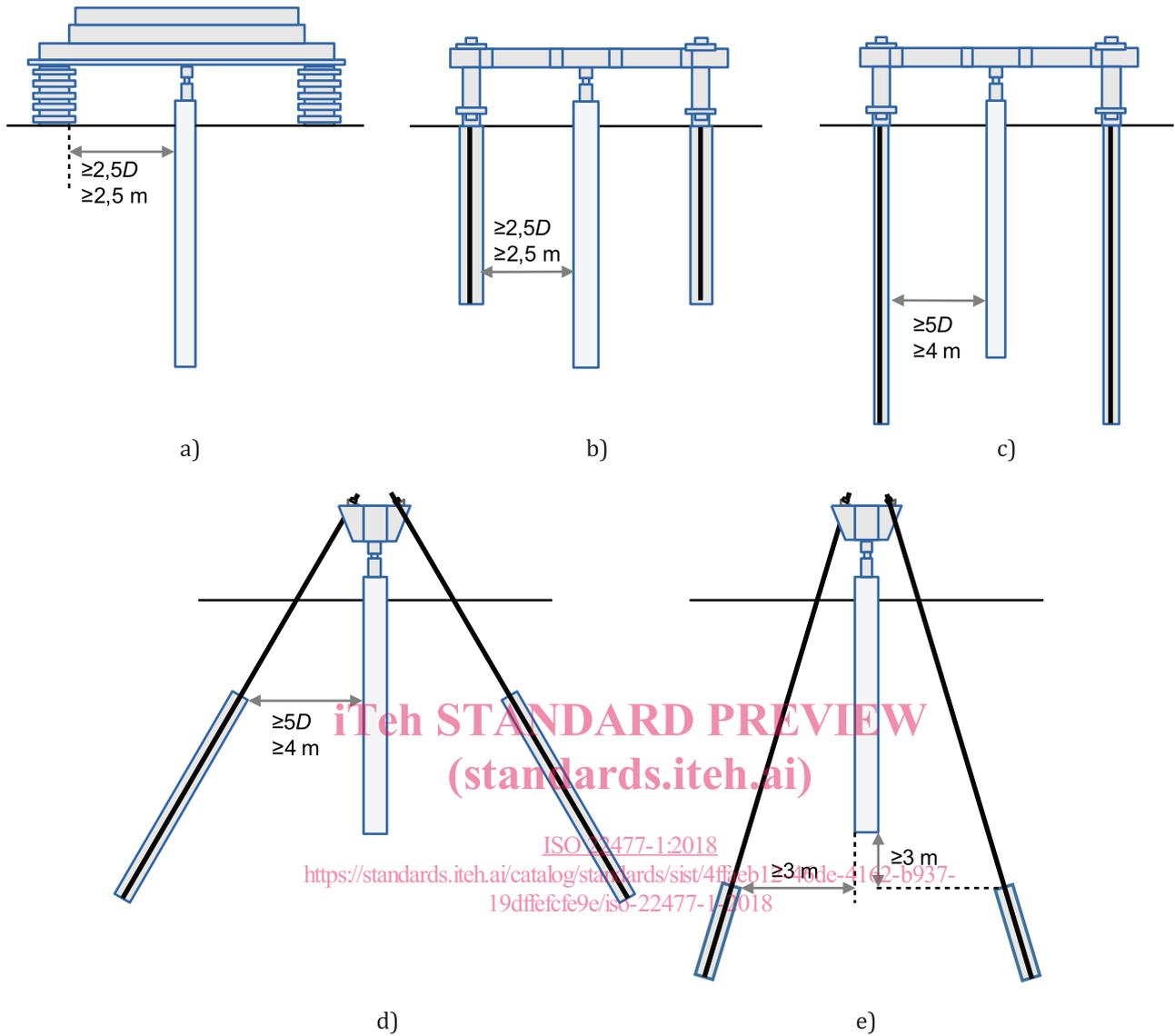


Figure 1 — Dispositifs de réaction

Pour les essais de chargement statique sur micropieux, cette distance peut être réduite. Une distance minimale de 1,5 m doit être toutefois respectée.

Le système de réaction doit être conçu de façon à résister à la charge d'essai maximale F_p , conformément aux normes en vigueur.

Afin d'éviter un soulèvement ou une instabilité trop important(e) du lest, le poids mort doit être centré et supérieur à la charge d'essai maximale F_p d'au moins 10 %.

Les pieux de l'ouvrage peuvent être utilisés comme pieux de réaction, à condition que leur résistance structurelle soit suffisante et qu'il n'y ait aucun effet dommageable sur leurs performances en tant qu'élément de la structure. Le soulèvement des pieux de l'ouvrage doit être surveillé pendant l'essai.

Les pieux et tirants de réaction doivent être disposés de façon symétrique autour du pieu d'essai. Dans le cas de dispositifs de réaction non symétriques, des mesures doivent être prises afin d'éviter toute rotation et/ou translation excessive du dispositif de réaction.

4.3 Charge appliquée

4.3.1 Généralités

Un ou plusieurs vérins hydrauliques doivent être utilisés pour appliquer la charge sur le pieu d'essai.

Si plusieurs vérins hydrauliques sont utilisés pour appliquer la charge d'essai, ils doivent être disposés de façon symétrique, être de la même marque et du même modèle et être alimentés à partir d'une alimentation commune assurée par un groupe hydraulique. Chaque vérin hydraulique doit être équipé d'une valve de fermeture et d'un manomètre supplémentaire.

Une rotule doit être incorporée au-dessus du vérin hydraulique.

Si un seul vérin est utilisé, il doit être centré sur la tête du pieu afin de garantir le chargement axial de ce dernier, sans excentricité de la charge.

Une plaque rigide doit être placée sur la tête du pieu afin de répartir la charge.

4.3.2 Spécifications de la charge appliquée

L'effort et la course du(des) vérin(s) doivent être respectivement supérieurs à F_p et aux déformations attendues (déplacement de la tête du pieu et du dispositif de réaction sous l'effet de la charge).

Il doit être possible de réduire ou d'augmenter la charge appliquée de façon continue, sans chocs ou vibrations, et de maintenir la charge à la valeur requise.

Afin de satisfaire aux exigences de précision, un système électrique ou hydraulique de commande/régulation automatique et continu de la force du vérin peut être utilisé. Une pompe à main assurant une mesure précise de la pression ou de la charge et une régulation permanente peut également être envisagée.

L'erreur du régulateur de la charge doit être inférieure à 0,5 % de F_p ou 10 kN, la valeur retenue étant la plus forte des deux.

4.4 Mesure des déplacements de la tête du pieu

Les déplacements de la tête du pieu doivent être mesurés à l'aide de comparateurs à cadran ou de capteurs, supportés par des poutres de référence.

Les poutres de référence doivent être supportées indépendamment du pieu d'essai.

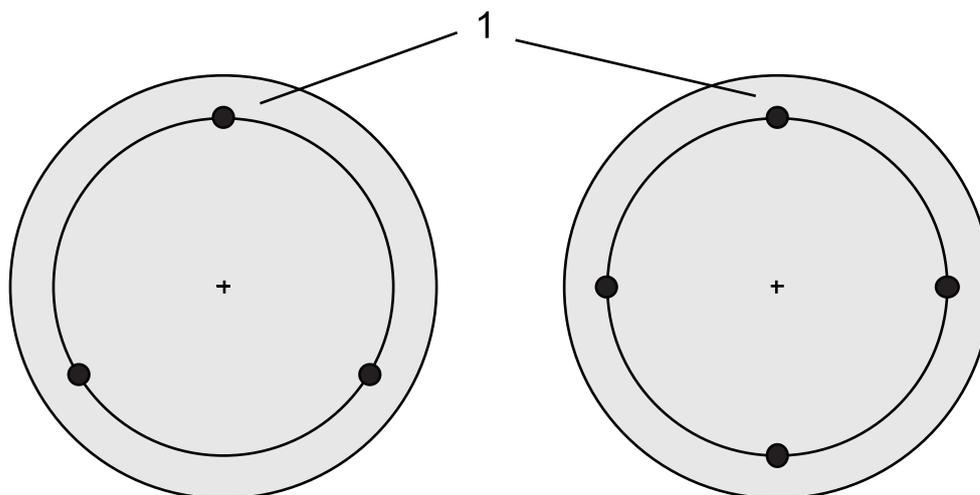
La distance libre entre les extrémités d'appui des poutres de référence et les pieux d'essai et de réaction ou le bord le plus proche du support du lest doit mesurer au minimum 2,5 m ou $2,5D$, la valeur retenue étant la plus grande des deux.

Une des extrémités de chaque poutre de référence doit pouvoir coulisser librement.

La position des poutres de référence doit être vérifiée par un système de mesure de contrôle secondaire (méthodes de détermination du niveau ou autres méthodes de mesure). La position de la tête du pieu doit également être vérifiée à l'aide de ce système de contrôle secondaire.

Au minimum, trois capteurs ou comparateurs à cadran doivent être utilisés pour mesurer le déplacement axial de la tête du pieu. Ils doivent être disposés de façon symétrique (voir [Figure 2](#)) et parallèlement à l'axe du pieu. Il convient de minimiser le frottement entre la tête du pieu et les capteurs à l'aide de dispositifs appropriés, tels que des plaques de verre fixées sous les capteurs.

NOTE Dans le cas où le diamètre du pieu est trop petit, l'installation d'une plaque plus large permettra la mise en œuvre de 3 capteurs ou comparateurs.



Légende

1 capteurs de déplacement ou comparateurs à cadran

Figure 2 — Emplacement des capteurs de déplacement ou comparateurs à cadran

L'erreur globale de la mesure du déplacement de la tête du pieu doit être inférieure à 0,1 mm ou 0,2 % de la valeur mesurée, la valeur retenue étant la plus forte des deux. Par conséquent, les comparateurs à cadran ou les capteurs doivent permettre d'effectuer des mesures avec une résolution d'au moins 0,01 mm et un système optique quelconque de 0,1 mm.

Les comparateurs à cadran ou les capteurs doivent en outre offrir une plage de mesure suffisante pour qu'il ne soit pas nécessaire de procéder à un réajustement en cours d'essai.

Sauf s'il en a été convenu autrement, le système de mesure de contrôle secondaire doit permettre d'effectuer des mesures avec une erreur inférieure à 0,1 mm.

Les mesures de détermination du niveau à l'aide d'un dispositif optique doivent être contrôlées en se référant à un ou plusieurs points de référence fixes.

Il est recommandé de vérifier le déplacement transversal du pieu d'essai soumis à un effort axial à l'aide de deux comparateurs à cadran ou capteurs, positionnés dans des directions orthogonales et fixés sur les poutres de référence, avec la même précision que celle mentionnée ci-dessus. L'utilisation du système de contrôle secondaire peut être une alternative. Ces mesures doivent être réalisées pour les essais de chargement de pieux inclinés ou de pieux élancés.

Pour prévenir les risques de rupture des supports, il convient d'inclure dans les contrôles de niveau les points d'angle du lest ou les têtes des pieux de réaction ou des ancrages.

4.5 Mesure de la charge appliquée sur le pieu

La charge doit être mesurée en tête du pieu. La mesure de la charge appliquée doit être obtenue à partir d'un capteur de force (ou plusieurs capteurs de force), de la pression du vérin ou du système de vérinage, au moyen de manomètres adaptés et étalonnés.

NOTE 1 Pour des essais avec vérin intégré, la charge est mesurée à un autre niveau (voir [Annexe B](#)).

NOTE 2 Des informations supplémentaires peuvent être fournies dans l'avant-propos national à ce document.

Les dispositifs de mesure de la charge appliquée doivent être étalonnés par rapport à un dispositif étalon maître approprié selon l'ISO 7500-1, garantissant une traçabilité complète aux étalons nationaux.

La précision de la mesure de la charge appliquée doit être égale ou inférieure à 1 % de F_c .

Lorsque la charge appliquée est mesurée en utilisant la pression du vérin, l'étalonnage doit être réalisé dans les 6 mois qui précèdent l'essai. Autrement, une période de 12 mois doit être retenue.

Dans certaines circonstances, par exemple un choc, un chargement excentrique, une déviation des capteurs de force électroniques, un changement de composants ou des dommages présumés, un étalonnage supplémentaire est recommandé.

4.6 Instrumentation du pieu

L'instrumentation du pieu dépend de l'objectif de l'essai de chargement statique:

- détermination de la résistance globale;
- détermination de la résistance de pointe du pieu et de la résistance par frottement;
- détermination de la résistance de pointe du pieu et de la répartition du frottement le long du fût.

Pour déterminer uniquement la résistance globale du pieu, une instrumentation du pieu n'est pas nécessaire.

La résistance de pointe du pieu peut être mesurée à l'aide d'un capteur de force placé au niveau de la base du pieu ou indirectement en effectuant une mesure des déformations en pointe de pieu.

La répartition de l'effort le long du fût du pieu peut être déterminée par une mesure de déformations au niveau de sections transversales du pieu à différentes profondeurs. Cela peut être obtenu par exemple à l'aide

- d'extensomètres intégrés ou amovibles;
- d'appareils de mesure de déformation (par exemple des jauges de déformation à corde vibrante, des capteurs à fibres optiques, etc.) fixés aux armatures ou incorporés dans le béton des pieux préfabriqués ou solidarisés aux parois des pieux en acier.

L'enfoncement de la base du pieu peut être mesuré à l'aide d'un extensomètre (depuis la tête jusqu'à la pointe).

La profondeur, le nombre de niveaux de mesure et le nombre d'appareils à chaque niveau doivent tenir compte des conditions de terrain, du type et de la taille du pieu d'essai et de l'objectif de l'essai.

Les extensomètres amovibles doivent être installés en paires diamétralement opposées pour les pieux de grand diamètre (diamètre de fût > 0,6 m), et ce pour chaque profondeur à mesurer. Pour les pieux de plus petit diamètre (diamètre de fût ≤ 0,6 m), un seul extensomètre peut être installé au centre du pieu si cela ne remet pas en cause les règles d'exécution.

Si l'instrumentation est installée avant l'exécution du pieu, comme c'est le cas pour les capteurs de déformation, il convient de mettre en place au moins quatre capteurs symétriquement disposés pour chaque profondeur à mesurer afin d'assurer une certaine redondance.

Les mesures de déformation réalisées à l'aide de fibres optiques continues doivent comporter au moins deux boucles symétriques.

Pour déterminer la charge à partir de la déformation, la section transversale A et le module d'élasticité du matériau dont le pieu est constitué doivent être évalués. Tous les matériaux présents dans le pieu doivent être pris en compte.

5 Procédure d'essai

5.1 Préparation de l'essai

5.1.1 Protections

Pendant toute la durée de l'essai, toutes les précautions nécessaires doivent être prises pour éviter que des facteurs extérieurs (intempéries, vibrations, etc.) n'interfèrent avec les résultats de l'essai.

Les techniques permettant de répondre à cette exigence peuvent inclure les options suivantes:

- couvrir toute l'installation d'essai sous une tente ou tout autre type de protection semblable;
- utilisation de housses de protection;
- choix de matériaux et conception appropriés des poutres de référence;
- utilisation d'appareils de mesure à compensation de température;
- poutres de référence peintes en blanc.

L'ensemble des composants, câbles et appareils de mesure intégrés dans le pieu ou installés à l'extérieur de ce dernier doivent être protégés contre les dommages pendant toutes les étapes de la construction et des essais. Cela inclut en particulier une isolation adéquate des capteurs et câbles électriques contre l'eau, ainsi qu'une protection mécanique contre les dommages pendant l'exécution du pieu (bétonnage, recépage, fonçage), la préparation de la tête du pieu et la mise en place de l'installation d'essai et des dispositifs associés.

Il est recommandé que toute autre activité du site susceptible d'influencer les mesures (par ex. les vibrations causées par les activités de construction en cours) soit interrompue pendant la durée de l'essai.

La température de l'air doit être régulièrement enregistrée au cours de l'essai de façon à identifier les effets de la température sur les résultats de l'essai.

5.1.2 Construction d'un pieu d'essai

Il convient de construire les pieux d'essai de la même façon que les pieux de l'ouvrage (méthode d'installation, outillage et matériaux identiques).

Il convient que les pieux d'essai aient le même diamètre que les pieux de l'ouvrage. Les essais de chargement sur des pieux d'essai de plus petit diamètre peuvent être réalisés conformément aux spécifications et restrictions définies dans l'EN 1997-1.

Les pieux d'essai doivent être conçus pour résister à la charge d'essai maximale, si bien que l'utilisation d'armatures supplémentaires et de béton de résistance accrue est permise. Leur influence potentielle sur le comportement du pieu doit toutefois être évaluée.

L'influence de l'instrumentation du pieu sur l'exécution et l'intégrité de ce dernier doit être minimisée.

Il convient d'apporter un soin particulier à la supervision et à la surveillance de l'installation des pieux d'essai et à l'élaboration des rapports d'exécution des pieux. Des conseils sur les différents éléments à surveiller et à enregistrer sont donnés dans les normes européennes d'exécution des pieux appropriées.

5.1.3 Date de l'essai

Les délais suivants sont recommandés entre l'installation et l'essai d'un pieu: