

NORME
INTERNATIONALE

ISO
22477-2

Première édition
2023-07

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

**Partie 2:
Essai de pieux: essais de chargement
statique en traction**

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

Part 2: Testing of piles: Static tension load testing

ISO 22477-2:2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eb226590-0982-40c8-8de5-2a308d8816c0/iso-22477-2-2023>



Numéro de référence
ISO 22477-2:2023(F)

© ISO 2023

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 22477-2:2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/eb226590-0982-40c8-8de5-2a308d8816c0/iso-22477-2-2023>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2023

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
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, définitions	2
3.2 Symboles	3
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 force appliquée	5
4.4 Mesure des déplacements de la tête du pieu	5
4.5 Mesure de la charge du pieu	6
4.6 Instrumentation du pieu	7
5 Procédure d'essai	7
5.1 Préparation de l'essai	7
5.1.1 Protections	7
5.1.2 Construction d'un pieu d'essai	8
5.1.3 Date de l'essai	8
5.2 Procédure de chargement	9
5.2.1 Généralités	9
5.2.2 Séquence et durée des paliers de chargement pour une procédure comprenant 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 factuel	13
6.4 Rapport d'interprétation	14
Annexe A (informative) Charge critique de fluage en traction	20
Bibliographie	21

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'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse www.iso.org/brevets. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de propriété.

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 nature volontaire des normes, 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 www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 182, *Géotechniques* en collaboration avec le comité technique CEN/TC 341, *Reconnaissance et Essais géotechniques* du Comité européen de normalisation (CEN) 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.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

Reconnaissance et essais géotechniques — Essais des structures géotechniques —

Partie 2:

Essai de pieux: essais de chargement statique en traction

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 un effort de traction 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. Le présent document ne traite pas des essais de chargement cyclique des pieux.

NOTE L'ISO 22477-2 est destinée à être utilisée conjointement avec l'EN 1997-1. Les valeurs numériques des facteurs partiels des états limites et des facteurs de corrélation servant à obtenir les valeurs caractéristiques à partir des essais de chargement statique et devant être prises en compte dans le calcul sont fournies dans la norme EN 1997-1.

Le présent document 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 suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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 l'EN 1990, l'EN 1997-1, l'EN 1997-2 ainsi que les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques, destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>

3.1 Termes, définitions

3.1.1

charge du pieu

F_t
charge de traction exercée sur la tête du pieu pendant l'essai

Note 1 à l'article: Pour les essais avec vérin intégré, la charge est appliquée à un autre niveau (voir ISO 22477-1).

3.1.2

incrément de charge

incrément de charge ajouté ou soustrait pendant l'essai

3.1.3

diamètre du pieu

diamètre équivalent du pieu

D
diamètre du pieu testé

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

$$\sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

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 traction mesurée

$R_{t,m}$
valeur mesurée de la résistance à la traction à l'état limite ultime, au cours d'un ou plusieurs essais de chargement de pieu

Note 1 à l'article: Le critère de rupture recommandé peut être défini dans l'EN 1997-1 ou dans son annexe nationale.

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	diamètre du pieu/diamètre équivalent du pieu
F_t	charge exercée sur la tête du pieu pendant l'essai
$F_{t,cr}$	charge critique de fluage en traction
$F'_{t,cr}$	intersection de la régression linéaire de la première et de la dernière partie de la courbe alpha en fonction de la charge
$F_{t,k}$	charge axiale caractéristique en traction
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_t	résistance à la traction du sol contre un pieu, à l'état limite ultime
$R_{t,m}$	valeur mesurée de R_t au cours d'un ou plusieurs essais de chargement de pieu
s	déplacement axial du pieu à la profondeur z
s_1	tassement au temps t_1
s_2	tassement au temps t_2
s_h	déplacement axial de la tête de pieu
t	temps
t_1	référence de temps additionnel pour le calcul de la vitesse de fluage α
t_2	référence de temps additionnel pour le calcul de la vitesse de fluage α
z	profondeur
α	taux de fluage

4 Équipement

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 un pieu faisant l'objet d'un essai en traction peut être:

- des fondations superficielles;

— des pieux travaillant en compression.

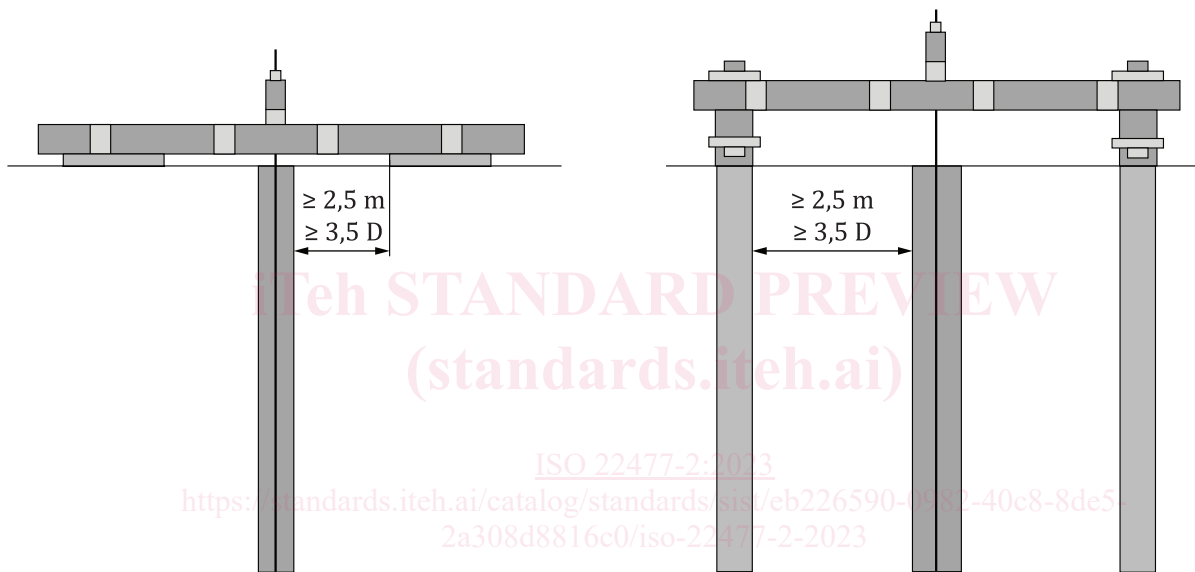
NOTE 1 Le système de réaction peut être le pieu d'essai lui-même, la charge étant appliquée en profondeur par un ou plusieurs vérins hydrauliques qui sont intégrés dans le pieu pour assurer un chargement bidirectionnel du pieu (voir l'ISO 22477-1).

L'influence du système de réaction sur le pieu d'essai doit être réduite au minimum.

Les distances minimales entre le pieu d'essai et les éléments du système de réaction dépendent de l'objectif de l'essai (détermination de la résistance en traction ou raideur).

Pour des essais visant à déterminer la résistance en traction (état limite ultime), les distances minimales exigées sont représentées à la [Figure 1](#) a) et b). La valeur maximale doit être appliquée.

NOTE 2 Si la distance minimale entre le système de réaction et le pieu d'essai est inférieure à $5 D$, la résistance en traction peut être surestimée. Les distances minimales fournies limitent la surestimation à environ 5 %.



a) Fondations superficielles

b) Pieux de compression

Figure 1 — Distances minimales entre le pieu d'essai et le système de réaction

Pour les essais visant à évaluer le déplacement axial pour les calculs à l'état limite de service, l'influence du système de réaction est plus importante. Dans ce cas, il convient de respecter une distance minimale égale à $10 D$. Cette valeur peut être réduite si une évaluation dédiée est réalisée, en tenant compte des conditions du terrain. Dans tous les cas, la distance ne doit pas être inférieure aux valeurs données à la [Figure 1](#) a) et b).

NOTE 3 Cette évaluation peut inclure une modification du système de réaction visant à en réduire l'influence sur le pieu d'essai. Par exemple, une réduction du frottement le long des pieux de réaction ou l'utilisation d'un ou plusieurs vérins intégrés peut être envisagée.

Pour les essais de chargement statique sur des pieux avec un diamètre inférieur à 300 mm, 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 européennes en vigueur. Les déplacements du système de réaction doivent être limités afin de s'assurer que la charge est appliquée axialement pendant la durée de l'essai.

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

Il convient que les systèmes de réaction soient disposés de façon symétrique autour du pieu d'essai. Dans le cas de systèmes de réaction non symétriques, des mesures doivent être prises afin d'éviter toute rotation et/ou translation excessive du système de réaction.

4.3 Charge appliquée

4.3.1 Généralités

Il convient d'utiliser un ou plusieurs vérins hydrauliques 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 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.

Si un seul vérin est utilisé, il doit être placé de façon centrale afin de garantir que le pieu est chargé axialement.

4.3.2 Spécifications de la force appliquée

Le ou les vérins doivent être en mesure d'exercer une force supérieure à F_p . La course du ou des vérins doit être supérieure aux déformations attendues (déplacement de la tête du pieu et déformations du système 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 continue 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 de mesure du régulateur de la charge doit être inférieure à 0,5 % de F_p ou 10 kN, la valeur retenue étant la plus grande 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 depuis des poutres de référence.

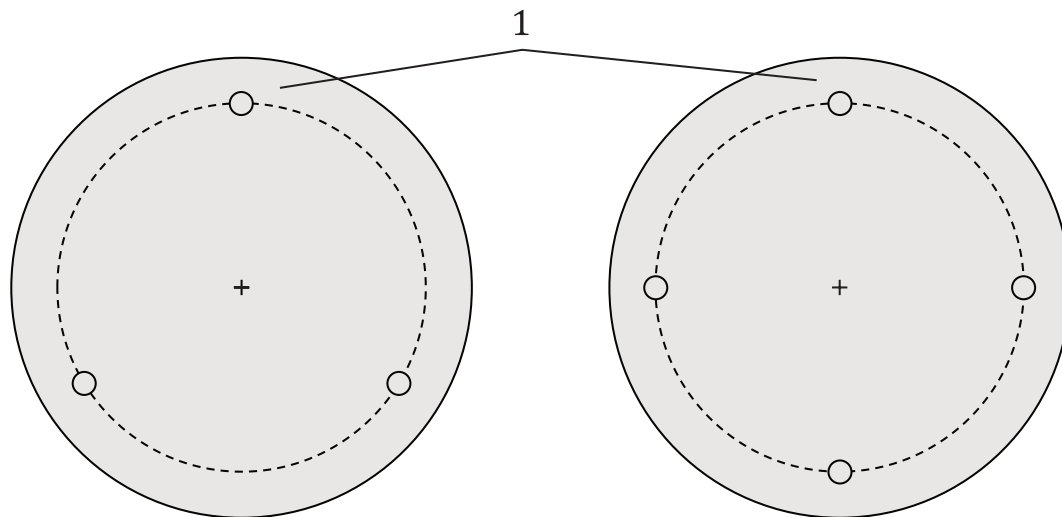
Les poutres de référence doivent être supportées indépendamment du pieu d'essai.

Il convient que la distance entre les extrémités d'appui des poutres de référence et les pieux d'essai et de réaction ou le bord le plus proche des fondations peu profondes soit au minimum 2,5 m ou 3,5 D , la valeur retenue étant la plus grande des deux.

Il convient qu'une des extrémités de chaque poutre de référence puisse coulisser librement.

La position des poutres de référence doit être vérifiée par un système de mesure de contrôle secondaire, telles que des méthodes topographiques ou d'autres méthodes de mesure. Il convient que la position de la tête du pieu soit également vérifiée à l'aide de ce système de contrôle secondaire.

Si la charge est appliquée par plusieurs vérins ou plusieurs barres, trois capteurs ou comparateurs à cadran doivent être utilisés au minimum pour mesurer le déplacement axial de la tête du pieu. Ils doivent être disposés de façon symétrique et parallèle à l'axe du pieu (voir [Figure 2](#)). Il convient de réduire au minimum 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.



Légende

1 capteurs de déplacement ou comparateurs à cadran

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

Si la charge est appliquée par un unique vérin et une unique barre (ou un unique tube), le déplacement axial de la tête du pieu peut être mesuré à l'aide d'un capteur de déplacement ou d'un comparateur 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 grande 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.

Il convient en outre que les comparateurs à cadran ou les capteurs offrent 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.

Pour les pieux inclinés, soit le déplacement transversal de la tête du pieu, soit le déplacement global du système de réaction doivent être mesurés.

Il convient d'inclure les points pertinents situés aux angles du système de réaction dans les contrôles de niveau.

4.5 Mesure de la charge du pieu

La charge doit être mesurée en tête du pieu. Sauf indication contraire, 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 Des informations supplémentaires peuvent être trouvées dans les normes nationales.

Les dispositifs de mesure de la charge appliquée doivent être étalonnés par rapport à un dispositif étalon maître approprié en accord avec l'EN ISO 7500-1, garantissant une traçabilité complète aux normes nationales.

Il convient que la précision de la mesure de la charge appliquée soit égale ou inférieure à 1 % de F_t .

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 en cas de choc, de chargement excentrique, de déviation des capteurs de force électroniques, de changement de composants ou de dommages présumés), il convient de recommander un étalonnage supplémentaire.

4.6 Instrumentation du pieu

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

- détermination de la résistance en traction globale;
- détermination de la répartition du frottement latéral le long du pieu.

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

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.

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.

NOTE Dans le cas des dispositifs de mesure particuliers qui ne nécessitent pas une boucle complète, deux lignes de mesure peuvent suffire.

Pour déterminer la charge à partir de la déformation, la section transversale A et le module d'Young équivalent du matériau du pieu 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.