



**Norme  
internationale**

**ISO 22476-16**

**Reconnaissance et essais  
géotechniques — Essais en place —**

Partie 16:

**Essai de cisaillement en forage**

*Geotechnical investigation and testing — Field testing —*

*Part 16: Borehole shear test*

**Première édition  
2024-10**

Standards  
(<http://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO 22476-16:2024](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/28a2c8b6-9358-456b-a622-1ee459c813fa/iso-22476-16-2024)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/28a2c8b6-9358-456b-a622-1ee459c813fa/iso-22476-16-2024>

iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO 22476-16:2024](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/28a2c8b6-9358-456b-a622-1ee459c813fa/iso-22476-16-2024)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/28a2c8b6-9358-456b-a622-1ee459c813fa/iso-22476-16-2024>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2024

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](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

<b>Sommaire</b>	Page
<b>Avant-propos</b> .....	<b>v</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>vi</b>
<b>1 Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Termes, définitions et symboles</b> .....	<b>2</b>
3.1 Termes et définitions .....	2
3.2 Symboles .....	3
<b>4 Appareillage</b> .....	<b>4</b>
4.1 Généralités .....	4
4.2 Sonde de phicomètre .....	7
4.3 Tubulure de raccordement et tiges de traction .....	7
4.3.1 Tubulure de raccordement .....	7
4.3.2 Tiges de traction .....	7
4.4 Appareillage placé à la surface du terrain .....	9
4.4.1 Dispositif de traction .....	9
4.4.2 Contrôleur pression-volume (CPV) .....	9
4.4.3 Système de régulation de la vitesse de traction de la sonde .....	10
4.5 Dispositifs de mesure et de commande .....	10
4.5.1 Temps .....	10
4.5.2 Pression, volume et force de traction .....	10
4.5.3 Déplacement axial .....	10
4.5.4 Affichage des relevés .....	10
4.5.5 Dimensions de la zone de cisaillement de la sonde .....	10
<b>5 Procédure d'essai</b> .....	<b>10</b>
5.1 Contrôles et mesures avant insertion de la sonde dans le sol .....	10
5.2 Phase de forage, phase de mise en place de la sonde et réglage du zéro .....	11
5.3 Espacement minimal entre deux essais .....	12
5.4 Phase d'insertion des dents .....	14
5.5 Phase de cisaillement .....	16
5.5.1 Programme de chargement — Paliers de pression appliqués à la sonde .....	16
5.5.2 Étapes successives de cisaillement sous les différents paliers de pression .....	16
5.5.3 Fin de l'essai .....	17
<b>6 Remblaiement du forage pour le phicomètre</b> .....	<b>17</b>
<b>7 Exigences de sécurité</b> .....	<b>17</b>
<b>8 Résultats des essais</b> .....	<b>18</b>
8.1 Généralités .....	18
8.2 Courbe graphique du cisaillement – paramètres de résistance au cisaillement $\varphi_i$ et $c_i$ .....	18
8.3 Graphiques associés .....	18
8.4 Ajustement et détermination de l'angle de frottement in situ $\varphi_i$ au phicomètre et de la cohésion in situ $c_i$ .....	18
8.5 Exemples d'ajustement et de détermination de l'angle de frottement in situ $\varphi_i$ et de la cohésion in situ $c_i$ .....	19
<b>9 Rapports</b> .....	<b>20</b>
9.1 Généralités .....	20
9.2 Rapport de terrain .....	20
9.3 Rapport d'essai .....	23
9.4 Registre des essais .....	24
<b>Annexe A (normative) Caractéristiques de la sonde du phicomètre</b> .....	<b>25</b>
<b>Annexe B (normative) Étalonnage, vérifications et corrections</b> .....	<b>26</b>

<b>Annexe C (normative) Exécution du forage pour l'essai de cisaillement en forage selon la procédure du phicomètre (PBST)</b> .....	<b>31</b>
<b>Annexe D (normative) Détermination des paramètres de résistance au cisaillement</b> .....	<b>33</b>
<b>Annexe E (informative) Corrélations permettant d'estimer <math>p_{IM}</math> à partir des autres paramètres de résistance du sol <math>q_c</math> et <math>N</math></b> .....	<b>35</b>
<b>Annexe F (normative) Exactitude et incertitudes</b> .....	<b>36</b>
<b>Annexe G (informative) Exemples d'ajustement et de détermination de l'angle de frottement in situ <math>\varphi_i</math> au phicomètre et de la cohésion in situ <math>c_i</math></b> .....	<b>38</b>
<b>Annexe H (informative) Exemple d'installation d'appareillage PBST</b> .....	<b>43</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>44</b>

iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO 22476-16:2024](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/28a2c8b6-9358-456b-a622-1ee459c813fa/iso-22476-16-2024)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/28a2c8b6-9358-456b-a622-1ee459c813fa/iso-22476-16-2024>

## 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 données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://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 brevet 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](http://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](http://www.iso.org/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 182, *Géotechnique*, 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).

Une liste de toutes les parties de la série ISO 22476 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](http://www.iso.org/fr/members.html).

## Introduction

La détermination de la résistance au cisaillement des sols est d'une importance capitale dans la reconnaissance géotechnique et les essais des sols. La résistance au cisaillement des sols et des matériaux, caractérisée par l'angle de frottement  $\varphi$  et la cohésion  $c$ , représente un paramètre important pour l'ingénieur géotechnicien lorsqu'il étudie la stabilité des ouvrages de construction et des structures en relation avec les sols et les matériaux. En règle générale, cette résistance est mesurée en laboratoire au moyen d'essais triaxiaux ou d'essais de cisaillement directs réalisés sur des échantillons de terrain, uniquement à la condition que l'échantillonnage, la conservation et la préparation permettent de considérer les échantillons comme non remaniés et suffisamment représentatifs du sol en place.

Depuis les années 1960, divers dispositifs expérimentaux ont été conçus et développés pour déterminer la résistance au cisaillement directement in situ à partir d'essais effectués dans des trous de forage, dans différents sols et à différentes profondeurs.

L'examen de la bibliographie montre que la majorité des essais de cisaillement en forage existants reposent sur l'utilisation de sondes pour appliquer et maintenir une pression normale sur les parois du forage, pour réaliser ensuite une phase de cisaillement par un déplacement linéaire de la sonde sur le sol contre les parois du forage. Cette procédure est ensuite répétée par une augmentation en plusieurs étapes de la pression normale pour obtenir davantage de valeurs mettant en relation la pression normale et la résistance au cisaillement.

Les équipements et appareillages d'essai diffèrent les uns des autres par la géométrie et la taille des sondes et par la forme de la partie frottement de ces sondes, ainsi que par la procédure d'application des phases de pression normale et des phases de cisaillement.

L'un des premiers dispositifs de ce type est le «Borehole Shear Tester» (BST) de l'Iowa, développé aux États-Unis<sup>[13]</sup>. L'essai est réalisé en plaçant dans un trou de forage préforé une sonde expansible bilatérale, équipée de deux plaques de cisaillement diamétralement opposées, en plaquant la sonde contre la paroi du trou de forage et en provoquant une rupture par cisaillement dans le sol en tirant la sonde axialement le long du trou de forage. La taille des plaques de cisaillement est relativement petite (32,3 cm<sup>2</sup>) et ne permet pas de faire des essais sur des sols comportant des éléments grossiers, ce qui peut parfois limiter son champ d'application.

Au début des années 1970, H. MORI<sup>[15]</sup>, au Japon, a développé un dispositif de cisaillement in situ appelé IST, qui a été utilisé dans de nombreux projets. Le principe de l'essai consiste à générer une force de cisaillement en tirant vers le haut une sonde cylindrique expansible munie de dents enfoncées dans la paroi du trou de forage. Mais il n'est pas sûr que l'essai IST soit encore pratiqué à l'heure actuelle.

Un essai de frottement in situ avec dispositif autoforeur (SBIFT), également développé au Japon<sup>[14]</sup>, a permis d'évaluer les caractéristiques du sol comme la pression horizontale initiale au repos, le module de déformation et les caractéristiques de résistance (cohésion et angle de frottement interne) du sol. L'essai SBIFT possède une fonctionnalité d'autoforage qui permet de réduire le remaniement du sol soumis à essai. Cependant, très peu de données et de résultats sont disponibles pour valider actuellement ce dispositif et les caractéristiques de sol qu'il fournit.

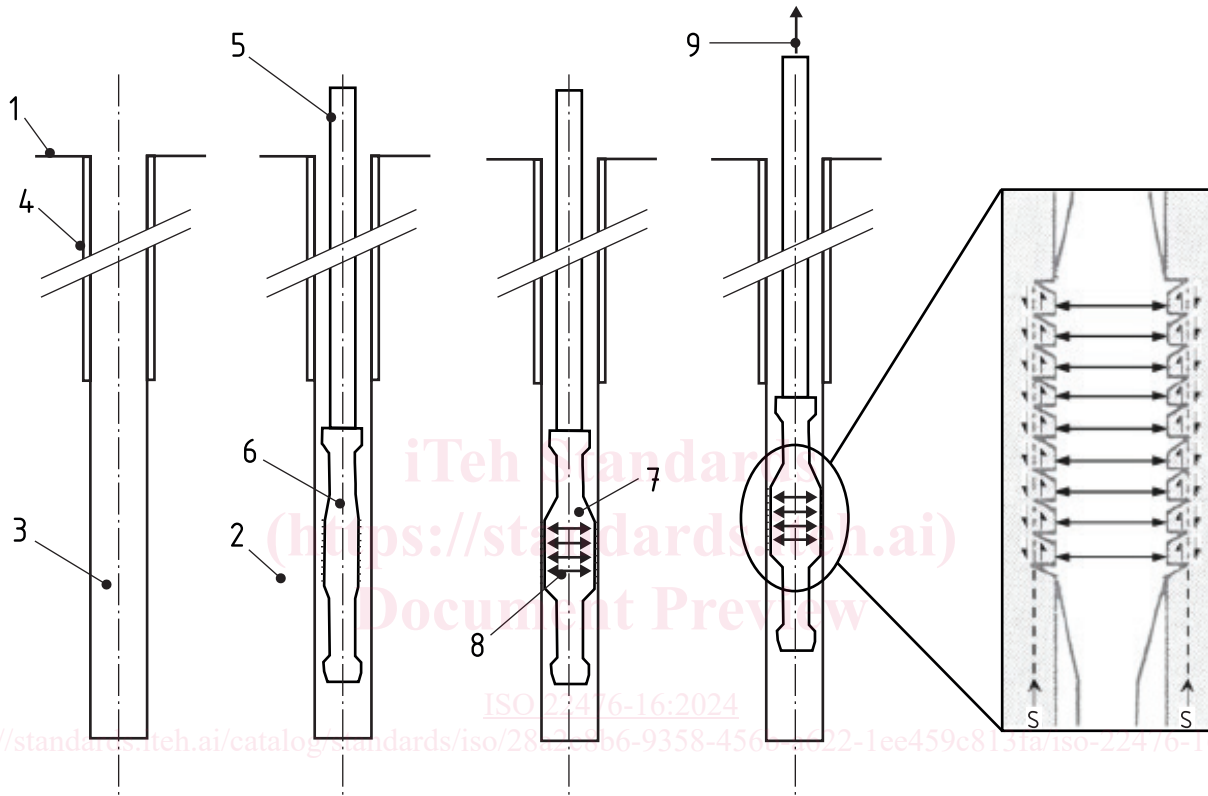
De la même manière que le SBIFT, un pressiomètre de mesure du cisaillement in situ avec dispositif autoforant (SBISP) a été récemment développé en Chine<sup>[12]</sup>. Il permet d'évaluer les caractéristiques pressiométriques comme la pression horizontale initiale au repos, la pression et le module de déformation, ainsi que les caractéristiques de résistance (cohésion et angle de frottement interne) du sol. L'essai SBISP possède une fonctionnalité d'autoforage qui permet de réduire fortement le remaniement du sol soumis à essai. Cependant, très peu de données et de résultats sont disponibles pour valider actuellement ce dispositif et les caractéristiques de sol qu'il fournit.

Le présent document s'applique à l'essai de cisaillement en forage selon la procédure du phicomètre, désignée par l'abréviation anglo-saxonne PBST (Phicometer Borehole Shear Test). Cet essai a été inventé et mis au point par Gérard Philipponnat dans les années 1980<sup>[10]</sup>.

Cet essai a fait l'objet, entre 1986 et 1992, de plusieurs programmes de recherche appliquée pour concevoir l'appareillage et ses composants et pour développer et optimiser une procédure d'essai commune utilisable

dans une majorité de sols. Divers articles ont été publiés à la suite de ces recherches et depuis lors, des essais PBST continuent d'être effectués à ce jour, pour déterminer les paramètres de résistance au cisaillement à partir de l'essai et pour en déduire des valeurs de résistance au cisaillement des sols non drainés et une estimation des paramètres de résistance au cisaillement effective des sols drainés<sup>[9]</sup>. Cet essai est normalisé en France depuis 1997.

L'essai de cisaillement en forage selon la procédure du phicomètre se compose de quatre étapes consistant à forer un trou, à descendre la sonde à la profondeur d'essai, à la gonfler contre la paroi du trou et à provoquer un cisaillement du sol en appliquant une série de paliers de pression radiale contrôlée, tout en tirant simultanément sur la sonde avec une vitesse de déplacement constante. Les séquences de l'essai sont représentées à la [Figure 1](#).



- a) Phase de forage: forage d'un trou pour phicomètre avec tubage (si nécessaire) et mise en place de la cavité d'essai PBST au fond du trou de forage
- b) Phase de mise en place de la sonde: descente de la sonde dégonflée jusqu'à la profondeur de la cavité d'essai
- c) Phase d'insertion des dents: dilatation radiale de la sonde et insertion des dents en anneaux dans la paroi du trou de forage
- d) Phase de cisaillement: traction de la sonde dilatée avec une pression radiale constante à chacune des étapes

**Légende**

- |                      |                             |                                       |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 1 surface du terrain | 4 tubage (si nécessaire)    | 7 sonde (à l'état gonflé)             |
| 2 terrain            | 5 train de tiges            | 8 pression radiale                    |
| 3 trou de forage     | 6 sonde (à l'état dégonflé) | 9 force de traction                   |
|                      |                             | S surface de cisaillement cylindrique |

**Figure 1 — Disposition générale et phases de l'essai de cisaillement en forage selon la procédure du phicomètre**





# Reconnaissance et essais géotechniques — Essais en place —

## Partie 16: Essai de cisaillement en forage

### 1 Domaine d'application

Le présent document est applicable à l'essai de cisaillement en forage selon la procédure du phicomètre, couramment appelé essai au phicomètre (dont l'étymologie vient de phi ( $\varphi$ ) qui désigne l'angle de frottement, ce qui désigne la cohésion et mètre pour faire référence à une mesure).

L'essai peut être effectué dans tous les types de sols naturels, de remblais et de sols artificiels, pouvant être saturés ou non.

Il ne s'applique pas aux sols fins très mous, aux sols grossiers très lâches, aux roches moyennement résistantes à très résistantes ni aux sols naturels ou artificiels avec une prédominance de cailloux dont la granulométrie est supérieure à 150 mm.

En règle générale, l'essai est applicable aux sols dont les caractéristiques de résistance in situ sont de l'un des ordres de grandeur donnés ci-après:

- Pression limite pressiométrique Ménard:  $0,4 \text{ MPa} < p_{1M} < 3,5 \text{ MPa}$  environ, ou supérieure à 4 MPa dans des sols granulaires non cohésifs;
- Mesure de la résistance au cône par essai de pénétration (CPT):  $1,5 \text{ MPa} < q_c < 15 \text{ MPa}$  environ, en fonction du type de sol (voir [Annexe E](#));
- SPT N:  $8 < N < 50$  environ, en fonction du type de sol (voir [Annexe E](#)).

L'essai peut également être effectué dans des sols dont la résistance se situe en dehors de ces limites d'application à condition d'évaluer ou de valider la représentativité des résultats par l'analyse des graphiques PBST (voir [Article 8](#)).

Le présent document s'applique uniquement aux essais réalisés à une profondeur inférieure ou égale à 30 m.

Les paramètres déduits de cet essai sont les propriétés de résistance au cisaillement, à savoir la cohésion et l'angle de frottement.

### 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 10012, *Systèmes de management de la mesure — Exigences pour les processus et les équipements de mesure*

ISO 22475-1, *Reconnaissance et essais géotechniques — Méthodes de prélèvement et mesurages piézométriques — Partie 1: Principes techniques pour le prélèvement des sols, des roches et des eaux souterraines*

## 3 Termes, définitions et symboles

### 3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, 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/>

#### 3.1.1

##### **essai de cisaillement en forage**

processus par lequel une sonde de cisaillement spéciale est insérée à l'intérieur d'un trou de forage à une profondeur définie, gonflée contre la paroi du forage, puis tirée pour déterminer la force de cisaillement du sol qui en résulte

Note 1 à l'article: Ce processus est répété selon une succession de paliers croissants de la pression normale maintenue afin d'obtenir une relation entre la pression et la contrainte de cisaillement du sol.

#### 3.1.2

##### **essai de cisaillement en forage selon la procédure du phicomètre PBST**

essai de cisaillement pratiqué dans un *trou de forage pour phicomètre* (voir [3.1.4](#)) avec la *sonde du phicomètre* (voir [3.1.6](#)), selon la procédure d'essai au phicomètre

Note 1 à l'article: Pour la procédure d'essai au phicomètre, voir [l'Article 5](#).

#### 3.1.3

##### **phicomètre**

appareil utilisé pour réaliser un *essai de cisaillement en forage selon la procédure du phicomètre* ([3.1.2](#))

#### 3.1.4

##### **trou de forage pour phicomètre**

partie d'un trou de forage dans laquelle la *cavité d'essai au phicomètre* ([3.1.5](#)) doit être réalisée

Note 1 à l'article: Voir le [5.2](#).

#### 3.1.5

##### **cavité d'essai au phicomètre**

cavité cylindrique de section circulaire réalisée dans un trou de forage, dans laquelle la *sonde du phicomètre* ([3.1.6](#)) est placée, mise en contact et tirée vers le haut pendant les phases d'essai

#### 3.1.6

##### **sonde de phicomètre**

sonde cylindrique expansible munie de dents annulaires de cisaillement, utilisée pour réaliser un *essai de cisaillement en forage selon la procédure du phicomètre* ([3.1.2](#))

Note 1 à l'article: Voir le [4.2](#) et la [Figure 3](#).

#### 3.1.7

##### **diagramme d'essai au phicomètre**

ensemble des graphiques tracés à partir de l'essai *PBST* ([3.1.2](#)), permettant de déterminer les caractéristiques de cisaillement du sol

Note 1 à l'article: Voir [l'Article 8](#) et la [Figure 6](#).

#### 3.1.8

##### **cohésion au phicomètre**

cohésion in situ  $c_i$  obtenue à partir du *diagramme d'essai au phicomètre* ([3.1.7](#))

3.1.9

**angle de frottement au phicomètre**

angle de frottement in situ  $\varphi_i$  obtenu à partir du *diagramme d'essai au phicomètre* (3.1.7)

3.1.10

**profondeur de l'essai**

distance entre le niveau du terrain naturel et le milieu de la zone de cisaillement de la sonde du phicomètre mesurée le long de l'axe du trou de forage

3.1.11

**opérateur**

technicien formé à la réalisation des essais PBST conformément au présent document

3.2 Symboles

Pour les besoins du présent document, les symboles donnés dans le [Tableau 1](#) s'appliquent.

**Tableau 1 — Symboles**

Symbole	Description	Unité
$T$	Force de traction exercée sur la sonde	kN
$T_1$	Force de traction maximale	kN
$V$	Volume injecté dans la cellule de mesure de la sonde, lue sur le contrôleur	cm <sup>3</sup>
$V_d$	Volume injecté dans la cellule de mesure de la sonde au début de l'application de la force de traction ( $V_d = V_{60}$ )	cm <sup>3</sup>
$V_f$	Volume injecté dans la cellule de mesure de la sonde à la fin de l'application de la force de traction	cm <sup>3</sup>
$V_{30}$	Volume injecté dans la cellule de mesure de la sonde après 30 s sous une phase à pression constante	cm <sup>3</sup>
$V_{60}$	Volume injecté dans la cellule de mesure de la sonde après 60 s sous une phase à pression constante	cm <sup>3</sup>
$d_{s0}$	Diamètre initial de la sonde au repos dans la zone de cisaillement (voir <a href="#">Figure 3</a> )	mm
$c_i$	Cohésion au phicomètre mesurée in situ par l'essai PBST	kPa
$d_s$	Diamètre de la sonde dans la zone de cisaillement après injection d'un volume $V$ (voir <a href="#">Figure 3</a> )	mm
$d_t$	Diamètre de la cavité au niveau de l'essai	mm
$d_c$	Diamètre extérieur de la cellule de mesure de la sonde	mm
$l_t$	Longueur des fentes du tube de cisaillement expansible	mm
$l_c$	Distance entre les anneaux de la cellule de mesure de la sonde	mm
$l_s$	Longueur conventionnelle de la zone de cisaillement (voir <a href="#">Figure 3</a> )	mm
$N$	Nombre de coups de battage d'un essai de pénétration au carottier standard (SPT) (voir ISO 22476-3)	-
$p_c$	Pression radiale conventionnelle appliquée au terrain après corrections	kPa
$p_e$	Résistance propre due à la rigidité de la sonde, déterminée par étalonnage	kPa
$p_h$	Pression due à la colonne de liquide d'injection dans la sonde (entre $z_c$ et $z_s$ )	kPa
$p_{IM}$	Pression limite pressiométrique Ménard (voir ISO 22476-4)	MPa
$p_r$	Pression du liquide injecté dans la cellule de mesure du phicomètre, lue au niveau $z_c$ du contrôleur pression-volume (CPV)	kPa

Tableau 1 (suite)

Symbole	Description	Unité
$p_z$	Pression du liquide au centre de la cellule de mesure	kPa
$q_c$	Résistance à la pénétration au cône (voir ISO 22476-1 ou ISO 22476-12)	MPa
$t$	Temps	s
$v$	Vitesse de déplacement axial de la sonde pendant la phase de traction	mm/min
$z$	Cote altimétrique, augmentant vers le haut	m
$z_0$	Cote altimétrique du niveau de la surface du terrain naturel à l'emplacement de l'essai	m
$z_c$	Cote altimétrique du dispositif de mesure de la pression du liquide injecté dans la cellule de mesure du phicomètre	m
$z_e$	Cote altimétrique du fluide de forage dans le trou de forage	m
$z_{ei}$	Niveau initial d'eau ou de boue mesuré dans le trou de forage avant le début de l'essai	m
$z_{ef}$	Niveau final d'eau ou de boue mesuré dans le trou de forage après la fin de l'essai	m
$z_s$	Cote altimétrique du centre de la zone de cisaillement de la sonde du phicomètre au début de l'essai	m
$z_w$	Cote altimétrique du niveau de la nappe phréatique (ou du plan d'eau en site aquatique)	m
$\gamma_l$	Poids volumique du liquide injecté dans la cellule de mesure	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_w$	Poids volumique de l'eau	kN/m <sup>3</sup>
$\Delta l$	Déplacement axial de la sonde pendant le cisaillement	mm
$\Delta p$	Incrément de la pression de chargement	kPa
$\Delta t$	Durée d'un palier de pression lors d'une étape de mise en charge	s
$\Delta t_p$	Durée d'un palier de pression de chargement pendant la phase préliminaire	s
$\Delta V$	Variation du volume injecté entre 30 s et 60 s au cours d'un même palier de pression	cm <sup>3</sup>
$\varphi_i$	Angle de frottement au phicomètre mesuré in situ par l'essai de cisaillement en forage selon la procédure du phicomètre	°
$\tau$	Contrainte de cisaillement	kPa
$\tau_l$	Contrainte de cisaillement limite conventionnelle	kPa

## 4 Appareillage

### 4.1 Généralités

L'appareillage permettant de réaliser des essais de cisaillement en forage selon la procédure du phicomètre doit comprendre les éléments suivants:

- une sonde de phicomètre;
- un contrôleur pression-volume (CPV);
- une tubulure reliant la sonde au CPV;
- un dispositif de traction placé sur une embase de réaction à la surface du terrain et relié à la sonde par des tiges de traction;
- un dispositif permettant de réguler la vitesse de déplacement axial pendant le cisaillement;

## ISO 22476-16:2024(fr)

- des moyens de mesure et d'affichage de la pression, du volume, de la force de traction, du déplacement axial et du diamètre extérieur de la zone de cisaillement de la sonde.

L'équipement peut également comporter un enregistreur de données.

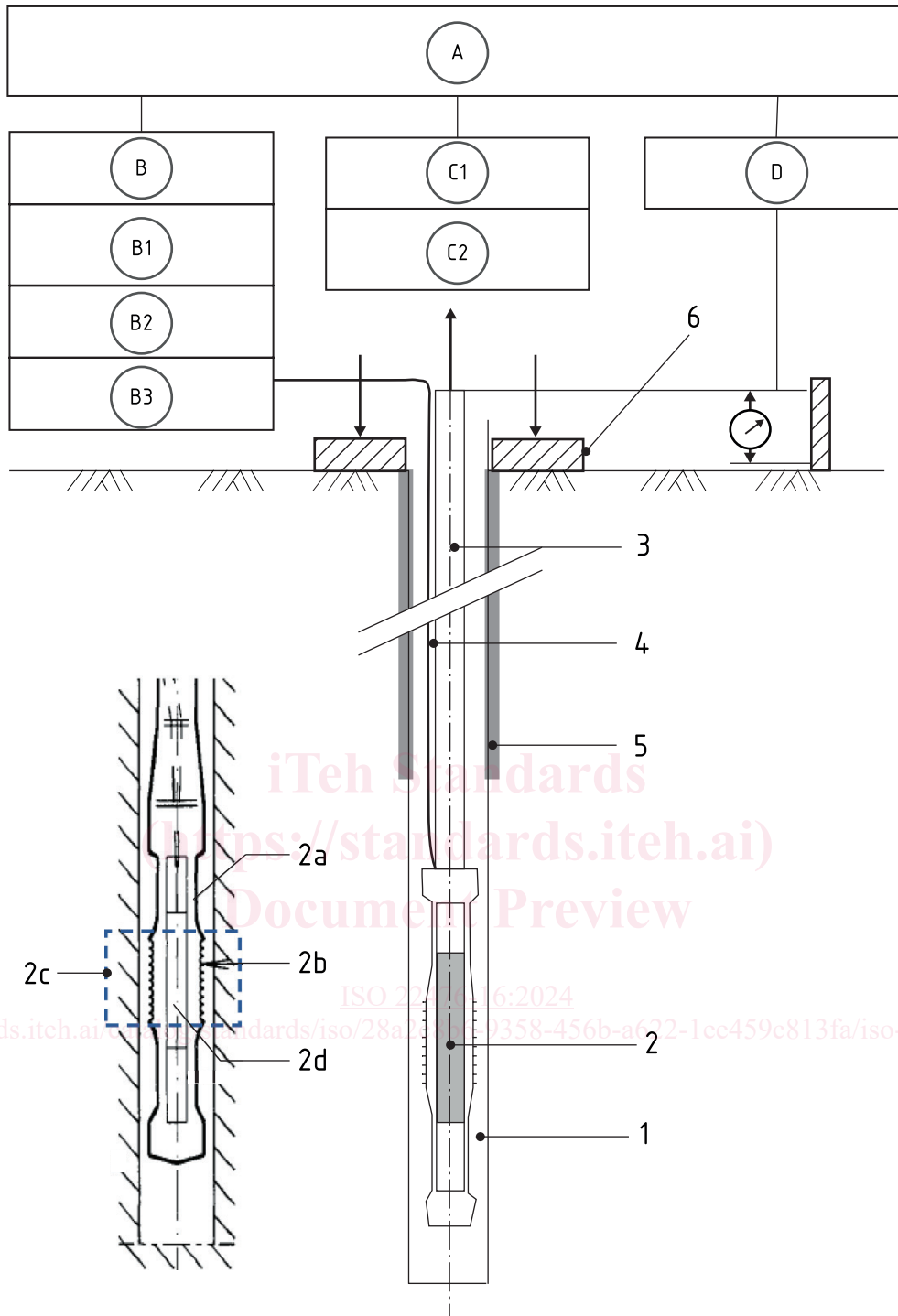
Un ensemble de dispositif d'essai de cisaillement en forage selon la procédure du phicomètre (PBST) est représenté à la [Figure 2](#).

Une illustration d'un exemple d'installation d'appareillage PBST est fournie à l'[Annexe H](#).

# iTeh Standards (<https://standards.iteh.ai>) Document Preview

[ISO 22476-16:2024](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/28a2c8b6-9358-456b-a622-1ee459c813fa/iso-22476-16-2024>



**Légende**

- |   |                     |    |                       |    |  |
|---|---------------------|----|-----------------------|----|--|
| 1 | trou de forage      | 3  | train de tiges        | 5  | tubage du forage (si nécessaire)                         |
| 2 | sonde de phicomètre | 4  | tubulure              | 6  | embase de réaction                                       |
|   |                     | 2a | tube fendu expansible | 2c | zone de cisaillement provoquée par les dents de la sonde |
|   |                     | 2b | dents en anneaux      | 2d | cellule de mesure gonflable                              |