

---

---

**Reconnaissance et essais  
géotechniques — Essais en place —  
Partie 1:  
Essais de pénétration au cône électrique  
et au piézocône**

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
*Geotechnical investigation and testing — Field testing —  
Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test*  
(standards.iteh.ai)

ISO 22476-1:2012

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6ca9196b-26bf-4946-afea-bf9f0616e328/iso-22476-1-2012>



## iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 22476-1:2012

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6ca9196b-26bf-4946-afea-bf9f0616e328/iso-22476-1-2012>



### DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2012

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos .....	v
Introduction.....	vi
<b>1</b> <b>Domaine d'application .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b> <b>Termes, définitions et symboles.....</b>	<b>2</b>
<b>3.1</b> <b>Termes et définitions .....</b>	<b>2</b>
<b>3.2</b> <b>Symboles.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b> <b>Appareillage .....</b>	<b>9</b>
<b>4.1</b> <b>Pointe pénétrométrique .....</b>	<b>9</b>
<b>4.2</b> <b>Tolérances.....</b>	<b>10</b>
<b>4.3</b> <b>Rugosité de surface .....</b>	<b>10</b>
<b>4.4</b> <b>Cône.....</b>	<b>10</b>
<b>4.5</b> <b>Manchon de frottement.....</b>	<b>11</b>
<b>4.6</b> <b>Élément filtrant .....</b>	<b>12</b>
<b>4.7</b> <b>Gorges pour joints et joints .....</b>	<b>14</b>
<b>4.8</b> <b>Tiges de fonçage .....</b>	<b>14</b>
<b>4.9</b> <b>Système de mesure.....</b>	<b>14</b>
<b>4.10</b> <b>Engin de fonçage.....</b>	<b>15</b>
<b>5</b> <b>Modes opératoires d'essai .....</b>	<b>16</b>
<b>5.1</b> <b>Choix de la pointe pénétrométrique.....</b>	<b>16</b>
<b>5.2</b> <b>Choix de l'appareillage et des modes opératoires.....</b>	<b>16</b>
<b>5.3</b> <b>Position et niveau de l'engin de fonçage.....</b>	<b>18</b>
<b>5.4</b> <b>Préparation de l'essai .....</b>	<b>19</b>
<b>5.5</b> <b>Fonçage de la pointe pénétrométrique .....</b>	<b>19</b>
<b>5.6</b> <b>Utilisation d'un réducteur de frottement.....</b>	<b>20</b>
<b>5.7</b> <b>Fréquence de consignation des paramètres.....</b>	<b>20</b>
<b>5.8</b> <b>Enregistrement de la longueur de pénétration .....</b>	<b>20</b>
<b>5.9</b> <b>Essai de dissipation de la pression interstitielle .....</b>	<b>20</b>
<b>5.10</b> <b>Fin de l'essai .....</b>	<b>21</b>
<b>5.11</b> <b>Vérifications et étalonnages de l'appareillage .....</b>	<b>21</b>
<b>5.12</b> <b>Exigences de sécurité.....</b>	<b>22</b>
<b>6</b> <b>Résultats d'essai .....</b>	<b>22</b>
<b>6.1</b> <b>Paramètres mesurés .....</b>	<b>22</b>
<b>6.2</b> <b>Correction de paramètres.....</b>	<b>22</b>
<b>6.3</b> <b>Paramètres calculés.....</b>	<b>24</b>
<b>7</b> <b>Compte rendu .....</b>	<b>24</b>
<b>7.1</b> <b>Généralités .....</b>	<b>24</b>
<b>7.2</b> <b>Compte rendu des résultats d'essai.....</b>	<b>24</b>
<b>7.3</b> <b>Présentation des résultats d'essai .....</b>	<b>26</b>
<b>7.4</b> <b>Présentation des résultats d'essai et des paramètres calculés .....</b>	<b>27</b>
<b>Annexe A (normative) Maintenance, vérifications et étalonnage .....</b>	<b>29</b>
<b>Annexe B (normative) Calcul de la profondeur de pénétration .....</b>	<b>33</b>
<b>Annexe C (informatif) Correction du frottement latéral sur le manchon pour tenir compte de la pression interstitielle de l'eau.....</b>	<b>34</b>
<b>Annexe D (informatif) Préparation du piézocône.....</b>	<b>35</b>
<b>Annexe E (informatif) Incertitudes lors des essais à la pointe pénétrométrique.....</b>	<b>36</b>

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO 22476-1:2012](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6ca9196b-26bf-4946-afea-bf9f0616e328/iso-22476-1-2012)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6ca9196b-26bf-4946-afea-bf9f0616e328/iso-22476-1-2012>

## 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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée 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.

L'ISO 22476-1 a été élaborée par le comité technique CEN/TC 341, Reconnaissance et essais géotechniques, du Comité européen de normalisation (CEN) en collaboration avec le comité technique ISO/TC 182, Géotechnique, sous-comité SC 1, Recherches et essais géotechniques, conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

L'ISO 22476 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général Reconnaissance et essais géotechniques — Essais en place:

- *Partie 1: Essais de pénétration au cône électrique et au piézocône*
- *Partie 2: Essais de pénétration dynamique*
- *Partie 3: Essai de pénétration au carottier*
- *Partie 4: Essai au pressiomètre Ménard*
- *Partie 5: Essai au dilatomètre flexible*
- *Partie 7: Essai au dilatomètre rigide diamétral*
- *Partie 9: Essai au scissomètre de chantier*
- *Partie 10: Essai de sondage par poids [Spécification technique]*
- *Partie 11: Essai au dilatomètre plat [Spécification technique]*
- *Partie 12: Essai de pénétration statique au cône à pointe mécanique*

## Introduction

L'essai de pénétration au cône électrique (CPT) consiste à enfoncer dans le sol, à vitesse constante, une pointe pénétrométrique au moyen d'un train de tiges de fonçage. Au cours de la pénétration, les mesurages de la résistance au cône et du frottement latéral sur le manchon sont enregistrés. L'essai de pénétration au piézocône (CPTU) inclut également le mesurage des pressions interstitielles autour du cône. Les résultats des essais peuvent être utilisés pour l'exploitation de la stratification, la classification du type de sol ainsi que pour l'évaluation des paramètres mécaniques du sol. Il existe deux Normes internationales relatives aux essais de pénétration au cône: la présente partie de l'ISO 22476 qui décrit la mise en œuvre des essais CPT et CPTU en utilisant des capteurs électroniques et l'ISO 22476-12 qui décrit la mise en œuvre de l'essai CPT à l'aide de systèmes de mesure mécaniques.

Bien que le terme utilisé dans la pratique et dans la présente partie de l'ISO 22476 soit «résistance au cône», le terme «résistance à la pénétration au cône» est une description plus correcte du processus.

Les résultats d'un essai de pénétration au cône permettent d'évaluer

- la stratification,
- le type de sol, et
- les paramètres géotechniques tels que
  - la densité du sol,
  - les paramètres de résistance au cisaillement, et
  - les caractéristiques de déformation et de consolidation.

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6ca9196b-26bf-4946-afca-bf9f0616e328/iso-22476-1-2012>  
ISO 22476-1:2012

# Reconnaissance et essais géotechniques — Essais en place —

## Partie 1:

### Essais de pénétration au cône électrique et au piézocône

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 22476 traite des exigences relatives à l'appareillage, à l'exécution et au compte rendu des essais de pénétration au cône électrique et au piézocône.

NOTE 1 La présente partie de l'ISO 22476 traite des exigences relatives au cône électrique et au piézocône dans le cadre de la reconnaissance, et des essais géotechniques selon l'EN 1997-1<sup>[3]</sup> et l'EN 1997-2<sup>[4]</sup>.

À la dénomination «essai de pénétration au cône électrique et au piézocône» correspondent deux essais distincts:

- l'essai de pénétration au cône électrique (CPT), qui comporte à la fois le mesurage de la résistance au cône et celui du frottement latéral sur le manchon,
- l'essai de pénétration au piézocône (CPTU), qui est un essai de pénétration au cône complété par le mesurage de la pression interstitielle.

L'essai CPTU est réalisé comme un essai CPT avec mesurage de la pression interstitielle en un ou plusieurs emplacements à la surface de la pointe pénétrométrique.

NOTE 2 L'essai CPT ou CPTU peut être utilisé sans mesurage du frottement latéral sur le manchon, mais il n'est pas couvert par la présente partie de l'ISO 22476.

La présente partie de l'ISO 22476 spécifie les points suivants:

- a) le type de l'essai de pénétration au cône, conformément au Tableau 1;
- b) la classe d'application, conformément au Tableau 2;
- c) la longueur ou la profondeur de pénétration;
- d) la cote altimétrique de la surface du sol ou la cote de la surface de la nappe à l'emplacement de l'essai de pénétration au cône par rapport à un repère précisé;
- e) l'emplacement de l'essai de pénétration au cône par rapport à un point de référence fixe toujours accessible;
- f) les essais de dissipation de la pression interstitielle.

NOTE 3 La présente partie de l'ISO 22476 couvre les essais CPT en milieux terrestre et voisin des rivages. Pour les exigences supplémentaires relatives aux essais CPT en milieu aquatique, voir NORSOK G-001<sup>[8]</sup>.

## 2 Références normatives

Les documents de référence suivants 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 8503 (toutes les parties), *Préparation des subjectiles d'acier avant application de peintures et de produits assimilés. Caractéristiques de rugosité des subjectiles d'acier décapés*

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

## 3 Termes, définitions et symboles

### 3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

#### 3.1.1

##### **rugosité moyenne de surface**

*R<sub>a</sub>*

écart moyen entre la surface réelle de la pointe pénétrométrique et un plan de référence moyen placé le long de la surface de cette pointe

#### 3.1.2

##### **cône**

partie inférieure conique de la pointe pénétrométrique et de la partie cylindrique

NOTE 1 Lorsque le pénétromètre est enfoncé dans le sol, la résistance au cône est transférée au capteur de force par l'intermédiaire du cône

NOTE 2 La présente partie de l'ISO 22476 considère que le cône est rigide de sorte que, lorsqu'il est chargé, sa déformation est très faible par rapport à celle des autres parties de la pointe pénétrométrique

#### 3.1.3

##### **essai de pénétration au cône**

**CPT**

fonçage dans le sol, à une vitesse de pénétration constante, d'une pointe pénétrométrique placée à l'extrémité d'un train de tiges de fonçage cylindriques

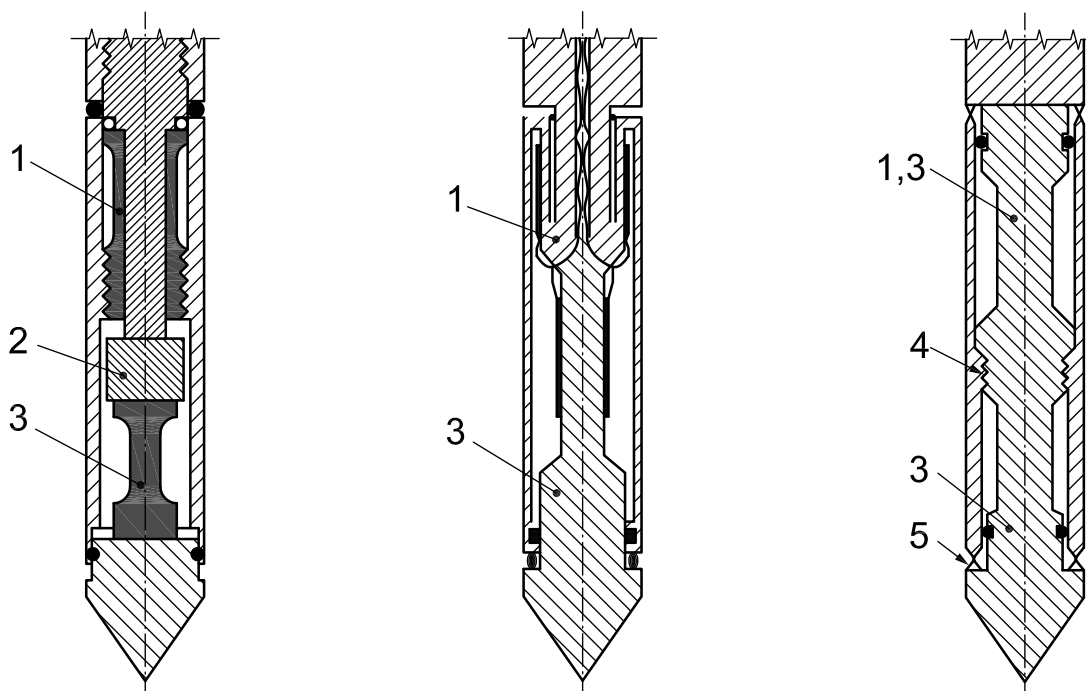
#### 3.1.4

##### **pointe pénétrométrique**

assemblage comportant le cône, le manchon de frottement, tous les autres capteurs et systèmes de mesure ainsi que la connexion aux tiges de fonçage

NOTE La Figure 1 représente un exemple de pointe pénétrométrique; pour les autres emplacements des filtres, voir la Figure 2.





a) Capteurs de résistance au cône et de force de frottement du manchon en compression

b) Capteur de résistance au cône en compression et capteurs de frottement du manchon en tension

c) Pointe pénétrométrique dont les forces se déduisent par différence l'une de l'autre

#### Légende

- 1 capteur de force du manchon
- 2 dispositif anti-surcharge du capteur de pointe
- 3 capteur de force du cône
- 4 filetage
- 5 joint de protection vis-à-vis du sol

Figure 1 — Vue en coupe d'un exemple de pointe pénétrométrique

**3.1.5**  
résistance au cône  
résistance au cône

**3.1.6**  
résistance au cône corrigée

$q_t$   
résistance au cône mesurée  $q_c$  corrigée en fonction des effets de la pression interstitielle

**3.1.7**  
rapport de frottement corrigé

$R_{ft}$   
rapport entre le frottement latéral sur le manchon, mesuré ou corrigé, et la résistance au cône corrigée et mesurée à la même profondeur (si le frottement latéral corrigé est disponible, il doit être utilisé)

NOTE Le frottement latéral mesuré est généralement utilisé.

**3.1.8**  
frottement latéral corrigé sur le manchon

$f_t$   
frottement latéral sur le manchon,  $f_s$ , corrigé en fonction des effets de la pression interstitielle

**3.1.9**

**essai de dissipation de la pression interstitielle**

mesurage de la variation de la pression interstitielle en fonction du temps, après arrêt du fonçage et maintien de la pointe pénétrométrique immobile

**3.1.10**

**essai de pénétration au cône électrique**

essai CPT au cours duquel les forces sont mesurées au moyen de capteurs électriques placés dans la pointe pénétrométrique

**3.1.11**

**surpression interstitielle**

$\Delta u_1, \Delta u_2, \Delta u_3$

pression interstitielle supérieure à la pression interstitielle ambiante au niveau du filtre, générée par la pénétration de la pointe pénétrométrique dans le terrain

$$\Delta u_1 = u_1 - u_0 \quad (1)$$

$$\Delta u_2 = u_2 - u_0 \quad (2)$$

$$\Delta u_3 = u_3 - u_0 \quad (3)$$

**3.1.12**

**élément filtrant**

élément poreux de la pointe pénétrométrique transmettant la pression interstitielle au capteur de pression interstitielle, sans modification de la géométrie de la pointe pénétrométrique

**3.1.13**

**rapport de frottement**

$R_f$

rapport entre le frottement latéral mesuré sur le manchon et la résistance au cône, les deux étant mesurés à la même profondeur

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6ca9196b-26bf-4946-afea-bf9f0616e328/iso-22476-1-2012>

**3.1.14**

**réducteur de frottement**

élargissement local et symétrique du diamètre d'une tige de fonçage afin de réduire le frottement sur les tiges de fonçage

**3.1.15**

**manchon de frottement**

partie de la pointe pénétrométrique sur laquelle est mesuré le frottement entre le sol et le manchon

**3.1.16**

**pression interstitielle au repos in situ**

$u_o$

pression interstitielle in situ avant le fonçage de la pointe pénétrométrique, à la profondeur du filtre

**3.1.17**

**inclinaison**

angle que forme l'axe de la pointe pénétrométrique avec la verticale

**3.1.18**

**pression interstitielle avant essai**

$u_i$

pression interstitielle mesurée au début de l'essai de dissipation de la pression interstitielle

### 3.1.19 résistance au cône mesurée

$q_c$

force axiale mesurée,  $Q_c$ , divisée par l'aire totale de la base du cône  $A_c$ :

$$q_c = Q_c / A_c \quad (4)$$

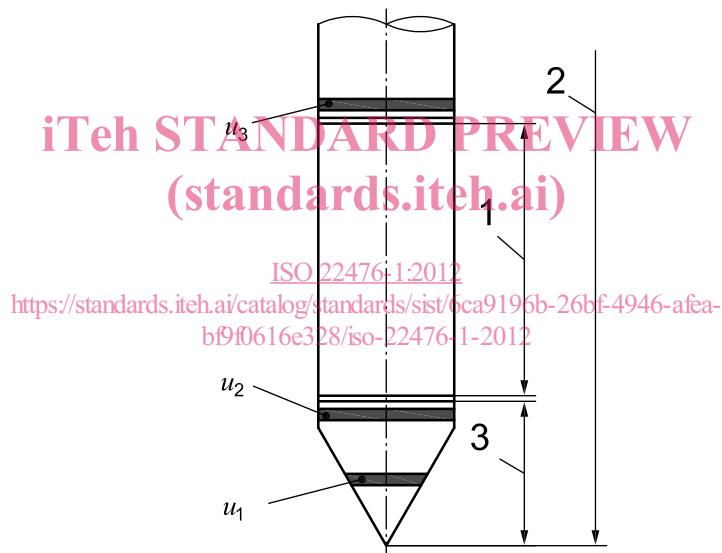
### 3.1.20 pression interstitielle mesurée

$u_1, u_2, u_3$

pression mesurée dans l'élément filtrant au cours des essais de pénétration et de dissipation de la pression interstitielle

NOTE La pression interstitielle peut être mesurée en différents points, comme suit (voir Figure 2):

- $u_1$  pression interstitielle mesurée à la surface du cône;
- $u_2$  pression interstitielle mesurée sur la partie cylindrique du cône (de préférence dans la gorge pour joints entre le cône et le manchon);
- $u_3$  pression interstitielle mesurée juste derrière le manchon de frottement.



#### Légende

- 1 manchon de frottement
- 2 pointe pénétrométrique
- 3 cône

Figure 2 — Emplacement des filtres de pression interstitielle

### 3.1.21 frottement latéral mesuré sur le manchon

$f_s$

force de frottement mesurée agissant sur le manchon,  $F_s$ , divisée par l'aire de la surface latérale du manchon  $A_s$ :

$$f_s = F_s / A_s \quad (5)$$

### 3.1.22 système de mesure

ensemble des capteurs et accessoires utilisés pour transférer et/ou stocker les signaux électriques générés au cours de l'essai de pénétration au cône

NOTE Le système de mesure inclut normalement les éléments permettant le mesurage des forces (résistance au cône, frottement latéral sur le manchon), de la pression (pression interstitielle), de l'inclinaison, du temps et de la longueur de pénétration.

### 3.1.23

#### facteur net de surface du cône

$a$

rapport entre, d'une part, l'aire de la section transversale du capteur de force ou du corps,  $A_{st}$ , de la pointe pénétrométrique au-dessus du cône au niveau de la gorge pour joint où la pression interstitielle peut agir et, d'autre part, l'aire de la section transversale nominale de la base du cône,  $A_c$ .

Voir Figure 6.

### 3.1.24

#### résistance au cône nette

$q_n$

résistance au cône mesurée après déduction de la contrainte totale verticale des terres

### 3.1.25

#### rapport de frottement net

$R_{fn}$

rapport entre le frottement latéral sur le manchon et la résistance au cône nette, les deux étant mesurés à la même profondeur

### 3.1.26

#### surpression interstitielle normalisée

$U$

surpression interstitielle au cours d'un essai de dissipation, comparée à la surpression interstitielle avant essai

Voir 7.4.

[ISO 22476-1:2012](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6ca9196b-26bf-4946-afea-bf9f0616e328/iso-22476-1-2012)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6ca9196b-26bf-4946-afea-bf9f0616e328/iso-22476-1-2012>

### 3.1.27

#### profondeur de pénétration

$z$

profondeur verticale de la base du cône par rapport à un point fixé

Voir Figure 3.

### 3.1.28

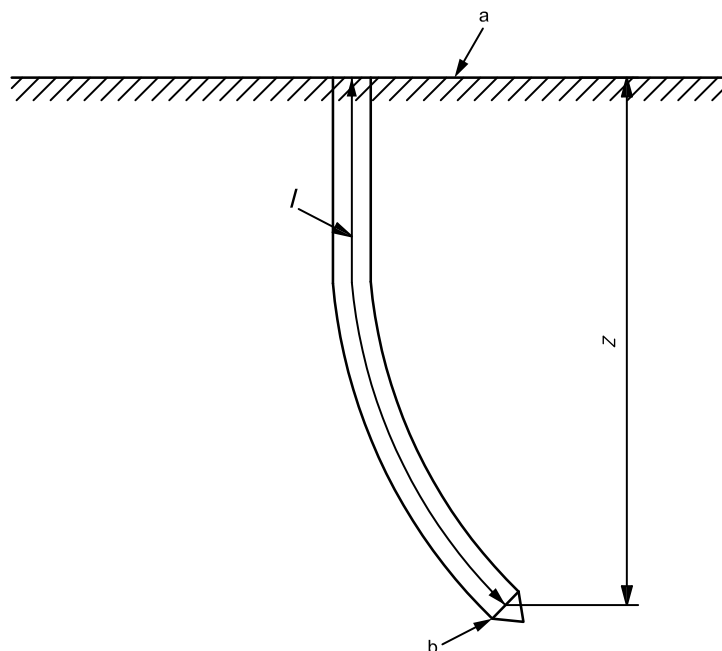
#### longueur de pénétration

$l$

longueur totale des tiges de fonçage et de la pointe pénétrométrique, moins la hauteur de la partie conique, par rapport à un plan horizontal fixé

Voir Figure 3.

NOTE Le plan horizontal fixé correspond généralement au niveau du terrain naturel (en milieu terrestre ou aquatique). Il peut être différent du point de départ de l'essai.



#### Légende

$l$  longueur de pénétration

$z$  profondeur de pénétration

$a$  Plan horizontal fixé.

$b$  Base de la partie conique du cône.

iTech STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

**Figure 3 — Longueur et profondeur de pénétration (représentation schématique)**

[ISO 22476-1:2012](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6ca9196b-26bf-4946-afea-bf9f0616e328/iso-22476-1-2012)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/6ca9196b-26bf-4946-afea-bf9f0616e328/iso-22476-1-2012>

#### 3.1.29

##### essai de pénétration au piézocône

##### CPTU

essai de pénétration au cône électrique avec mesurage des pressions interstitielles autour du cône

#### 3.1.30

##### rapport de pression interstitielle

$B_q$

rapport entre la surpression interstitielle engendrée au niveau du filtre  $u_2$  et la résistance au cône nette

#### 3.1.31

##### tige de fonçage

partie d'un train de tiges destinée à transmettre les forces jusqu'à la pointe pénétrométrique

#### 3.1.32

##### lecture de référence

valeur lue sur un capteur juste avant que le pénétromètre ne soit enfoncé dans le sol ou juste après son extraction du terrain

NOTE 1 En milieu aquatique, il s'agit de la lecture effectuée au fond de l'eau ou au fond d'un trou de forage dans lequel il y a de l'eau.

NOTE 2 En milieu terrestre, pour les essais débutant à partir du niveau du terrain naturel, la lecture de référence est la lecture du zéro

#### 3.1.33

##### engin de fonçage

appareillage qui introduit les tiges et la pointe pénétrométrique par poussée dans le terrain, à une vitesse de pénétration constante