
**Reconnaissance et essais
géotechniques — Surveillance
géotechnique par instrumentation in
situ —**

Partie 5:

**Mesures de la variation de pression
par cellules de pression totale (TPC)**

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

*Geotechnical investigation and testing — Geotechnical monitoring by
field instrumentation —*

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/95d315eb-20b3-4b8d-a519-1e0bf31c584/iso-18674-5-2019>

Part 5: Stress change measurements by total pressure cells (TPC)

1e0bf31c584/iso-18674-5-2019



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 18674-5:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/95d315eb-20b3-4b8d-a519-1e0bff31c584/iso-18674-5-2019>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2019

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 et définitions | 2 |
| 4 Symboles | 6 |
| 5 Instruments | 6 |
| 5.1 Généralités..... | 6 |
| 5.2 Méthode de mesure par déformation..... | 8 |
| 5.3 Méthode de mesure par compensation..... | 8 |
| 5.4 Rigidité du compartiment sous pression..... | 9 |
| 5.5 Forme du compartiment sous pression..... | 9 |
| 5.6 Exactitude..... | 10 |
| 6 Mise en place et procédure de mesure | 11 |
| 6.1 Installation..... | 11 |
| 6.1.1 Installation dans le terrain..... | 11 |
| 6.1.2 Mise en place dans un remblai..... | 12 |
| 6.1.3 Mise en place dans du béton/ du béton projeté | 13 |
| 6.1.4 Mise en place dans des plans de contact..... | 14 |
| 6.2 Réalisation des mesures..... | 15 |
| 6.2.1 Vérification et étalonnage de l'instrumentation..... | 15 |
| 6.2.2 Mesure..... | 15 |
| 7 Traitement et évaluation des données | 15 |
| 8 Compte rendu | 15 |
| 8.1 Compte rendu d'installation..... | 15 |
| 8.2 Compte rendu de surveillance..... | 15 |
| Annexe A (normative) Procédure d'évaluation | 16 |
| Annexe B (informative) Applications géotechniques | 18 |
| Annexe C (informative) Exemples de mesurage | 19 |
| Bibliographie | 29 |

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 sur le caractère 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/iso/foreword.html.

Ce document a été élaboré par le Comité Technique ISO/TC 182, *Géotechnique*.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 18674 est disponible sur le site Internet de l'ISO.

Tout retour ou question sur ce document doit être adressée à l'organisme national de normalisation de l'utilisateur. Une liste complète de ces organismes est disponible à l'adresse www.iso.org/members.html.

Reconnaissance et essais géotechniques — Surveillance géotechnique par instrumentation in situ —

Partie 5: Mesures de la variation de pression par cellules de pression totale (TPC)

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie la mesure des variations de pression à l'aide de cellules de pression totale (TPC). Les règles générales relatives à la réalisation d'un suivi du terrain, des structures en interaction avec le terrain, des remblais géotechniques et des travaux géotechniques sont présentées dans l'ISO 186741.

S'il est appliqué conjointement à la norme ISO 186744, le présent document permet de déterminer les contraintes effectives agissant dans le terrain.

Le présent document s'applique:

- à la surveillance des changements de l'état de contrainte dans le terrain et les structures géotechniques (p. ex. dans des barrages en terre ou des revêtements de tunnel);
- à la surveillance des pressions de contact à l'interface entre deux milieux (p. ex. poussée des terres sur un mur de soutènement; pression de contact à la base d'une fondation);
- au contrôle des calculs géotechniques et à l'ajustement d'une construction en lien avec la méthode observationnelle;
- à l'évaluation de la stabilité durant ou après la construction.

Les directives pour l'utilisation de TPC en génie géotechnique sont présentées à l'[Annexe B](#).

NOTE Ce document satisfait aux exigences relatives à la surveillance du terrain, des structures interagissant avec le terrain et des travaux géotechniques au moyen de TPCs, dans le cadre de la reconnaissance et des essais géotechniques conformément à l'EN 1997-1^[1] et l'EN 1997-2^[2].

2 Références normatives

Les documents suivants sont mentionnés dans le texte d'une manière telle que tout ou partie de leur contenu constitue les 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 18674-1:2015, *Reconnaissance et essais géotechniques — Surveillance géotechnique par instrumentation in situ — Partie 1: Règles générales*

ISO 18674-4, *Reconnaissance et essais géotechniques — Surveillance géotechnique par instrumentation in situ — Partie 4: mesure de la pression d'eau dans les pores: piézomètre*

ISO 22475-1, *Reconnaissance et essais géotechniques — Méthodes de prélèvement et mesurages piézométriques — Parti 1: principes techniques des travaux*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 18674-1 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 dans les activités de normalisation, aux adresses suivantes:

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

3.1 cellule de pression totale

TPC

instrument de terrain utilisé pour mesurer les variations de contrainte

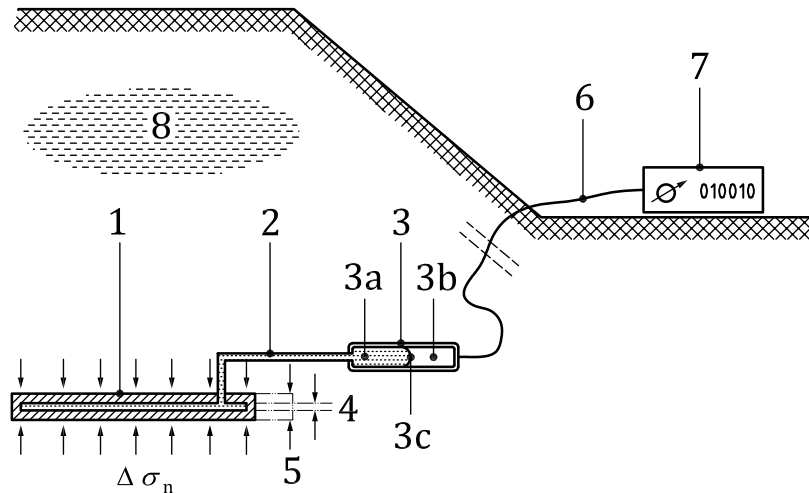
Note 1 à l'article: En général, un système de cellules de pression totale est constitué d'un compartiment sous pression, d'un tube sous pression, d'un dispositif de mesure de la pression, d'une ligne de mesure et d'une unité de contrôle et de lecture (voir [Figure 1](#) et Référence [3]).

Note 2 à l'article: Le compartiment sous pression est constitué de deux plaques d'acier, soudées ensemble le long de leurs périphéries, la cavité interne étant remplie d'un liquide. La cavité est reliée à la chambre interne du dispositif de mesure de la pression par l'intermédiaire d'un tube sous pression rempli de liquide. Les chambres interne et externe du dispositif de mesure de la pression sont séparées par une membrane flexible.

Note 3 à l'article: Les cellules de pression totale sont installées de façon permanente, soit dans un remblai ou un terrain meuble (*cellules de pression enfouies*) ([3.2](#)), soit dans des plans de contact entre deux milieux (*cellules de pression de contact*) ([3.3](#)) ou dans des trous de forage (*cellules de pression en forage*) ([3.4](#)).

Note 4 à l'article: Le but de la mesure est la variation de la contrainte normale totale $\Delta\sigma_n$ du milieu qui agit sur le côté plat du compartiment sous pression (voir 1 de la [Figure 4](#)).

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/95d315eb-20b3-4b8d-a519-1e0bf31c584/iso-18674-5-2019>



Légende

- 1 compartiment sous pression
- 2 tube dsous pression
- 3 dispositif de mesure de la pression
 - 3a chambre interne
 - 3b chambre externe
 - 3c membrane
- 4 hauteur de la cavité du compartiment sous pression
- 5 hauteur du compartiment sous pression
- 6 ligne de mesure (câble électrique ou tube hydraulique jumelé)
- 7 unité de commande et d'affichage
- 8 milieu étudié

Figure 1 — Principaux constituants d'un système de mesure à cellule TPC

3.2

cellule de pression enfouie

cellule de pression totale (3.1) qui est entièrement enfouie au sein d'un milieu

EXEMPLE Capteur enfoncé dans un sol meuble; «capteur tangentiel» dans un revêtement de tunnel en béton projeté (voir 4 de la [Figure 3](#)).

3.3

cellule de pression de contact

cellule de pression totale (3.1) placé au niveau d'un plan de contact entre deux milieux

EXEMPLE Capteur placé à la base de la fondation d'une dalle; «capteur radial» (voir [3.9](#)) dans un revêtement de tunnel en béton projeté.

3.4

cellule de pression en forage

cellule de pression totale (3.1) installé dans un trou de forage

Note 1 à l'article: Voir en 2 sur la [Figure 2](#).

3.5

rapport de forme

rapport entre la hauteur et la plus petite dimension latérale du compartiment sous pression

Note 1 à l'article: Dans le cas de compartiments rectangulaires, la plus petite dimension latérale est la largeur, dans le cas de compartiments circulaires, il s'agit du diamètre.

Note 2 à l'article: Les rapports de forme sont généralement de l'ordre de 1:20 à 1:40.

3.6 contrainte totale

contrainte dans le terrain exercée par la fraction solide (squelette) du terrain et l'eau interstitielle

Note 1 à l'article: Une *cellule de pression totale* (3.1) ne permet de surveiller qu'une seule composante de la contrainte (à savoir le changement de la contrainte normale totale $\Delta\sigma_n$).

Note 2 à l'article: Les changements des états de contrainte en 2-D et 3-D peuvent être surveillés en utilisant un groupe d'un nombre suffisant de compartiments de TPC orientés indépendamment, installés au niveau d'un site de mesure: Trois (3) compartiments pour un état de contrainte en 2-D, et six (6) compartiments pour un état de contrainte en 3-D.

Note 3 à l'article: Le fait de placer un compartiment de TPC avec son côté de détection vers la verticale permet de suivre directement la composante verticale de la contrainte normale σ_v .

3.7 contrainte effective

contrainte dans le terrain exercée par la fraction solide (squelette) du terrain

Note 1 à l'article: Il s'agit de $\sigma' = \sigma - u$

où

σ' = tenseur de contrainte effective;

σ = tenseur de contrainte totale;

u = pression de l'eau des pores.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

La formule ci-dessus ne s'applique qu'au sol saturé. ISO 18674-5:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/95d315eb-20b3-4b8d-a519-1e0bff31c584/iso-18674-5-2019>

3.8 contrainte de contact

composante de la contrainte qui agit normalement par rapport à un plan de contact

EXEMPLE Contrainte normale agissant à l'interface entre la fondation d'une dalle et le terrain.

Note 1 à l'article: Une *TPC* (3.1) ne permet pas de mesurer les contraintes de cisaillement qui agissent au sein du plan de contact.

3.9 contrainte radiale

contrainte de contact (3.8) spécifique entre le terrain et le revêtement d'un tunnel

Note 1 à l'article: Des *TPCs* (3.1) radiales («capteurs radiaux») sont spécialement conçus pour la surveillance des contraintes radiales.

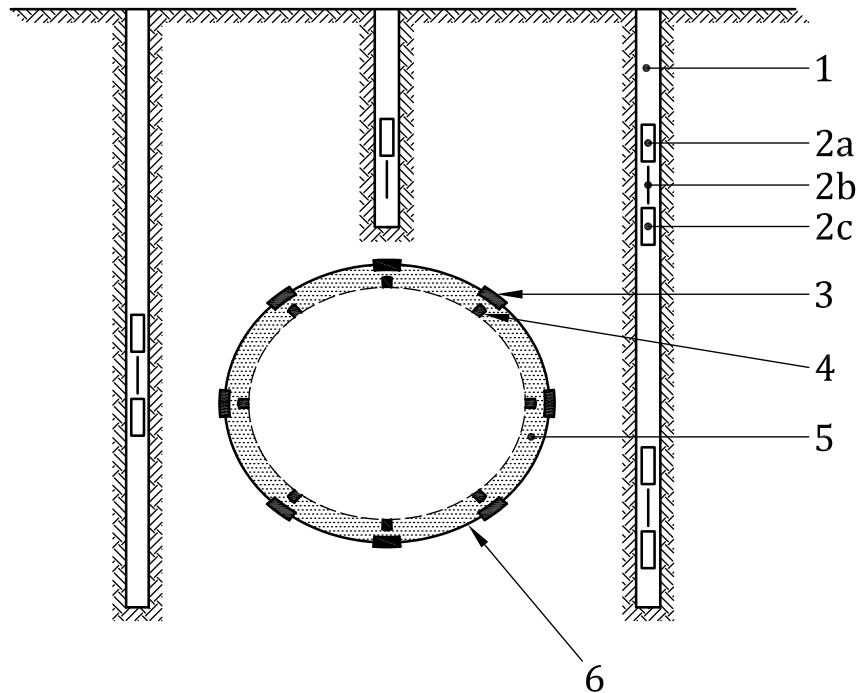
Note 2 à l'article: Voir en 3 sur la [Figure 2](#).

3.10 contrainte tangentielle

contrainte circonférentielle surveillée au sein de revêtements de tunnels en béton ou béton projeté

Note 1 à l'article: Les *TPCs* (3.1) tangentielles («capteurs tangentiels») sont spécifiquement conçus pour la surveillance des contraintes tangentielles au sein des revêtements de tunnels. On parle également de «TPC pour béton».

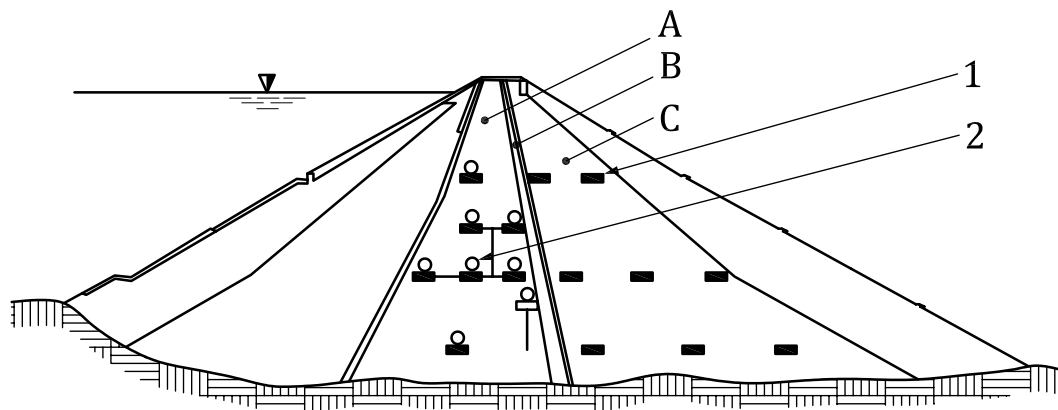
Note 2 à l'article: Voir en 4 sur la [Figure 2](#).



Légende

- 1 trou de forage (aval-pendage verticalement; remblayé).
- 2a, 2b, 2c réseau de trois TPCs en forage, orientées différemment, permettant la surveillance des contraintes horizontales dans le terrain.
- 3 TPCs radiales au niveau de l'interface entre le terrain et le revêtement de béton projeté.
- 4 TPCs tangentielle dans le revêtement de béton projeté.
- 5 revêtement de béton projeté.
- 6 contour de l'excavation du tunnel.

Figure 2 — Exemple d'agencement de TPC dans un tunnel situé à proximité de la surface



Légende

- A noyau d'argile
- B zone de filtre
- C remblai rocheux
- 1 TPC (unique ou en groupe)
- 2 piézomètre

NOTE Les zones A et C disposent de systèmes indépendants de routage des câbles (voir 6.1.2.5).

Figure 3 — Exemple (schématique) d'un agencement de TPCs dans un barrage en terre

4 Symboles

| Symbole | Nom | Unité |
|----------------------|--|------------------|
| C | facteur de correction des effets de bord | — |
| E | module d'Young | MPa |
| h_1 | élévation de la station de mesure dans la méthode par compensation | m |
| h_2 | Elévation de la TPC dans la méthode par compensation | m |
| p_a | pression dans la chambre externe du dispositif de mesure | MPa |
| p_F | Pression d'une mesure de suivi | MPa |
| p_h | différence de pression hydrostatique entre la station de mesure externe et la TPC | MPa |
| p_i | Pression du liquide dans le compartiment et dans la chambre interne du système de mesure | MPa |
| p_L | perte de charge dans la ligne d'alimentation de la compensation | MPa |
| p_{p-t} | Pression de pré-contrainte | MPa |
| p_R | pression de la mesure de référence | MPa |
| p_{read} | pression lue au niveau de la station de mesure extérieure | MPa |
| u | pression interstitielle | MPa |
| γ_{fluide} | pois spécifique du fluide de compensation | N/m ³ |
| $\sigma_n \sigma_n'$ | contrainte normale (totale; effective) | MPa |
| $\Delta\sigma_n$ | différence de contrainte normale totale | MPa |
| σ_v | contrainte verticale | MPa |
| σ_H | contrainte horizontale maximale | MPa |
| σ_h | contrainte horizontale minimale | MPa |

ISO 18674-5:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/95d315eb-20b3-4b8d-a519-1e0bf31c584/iso-18674-5-2019>

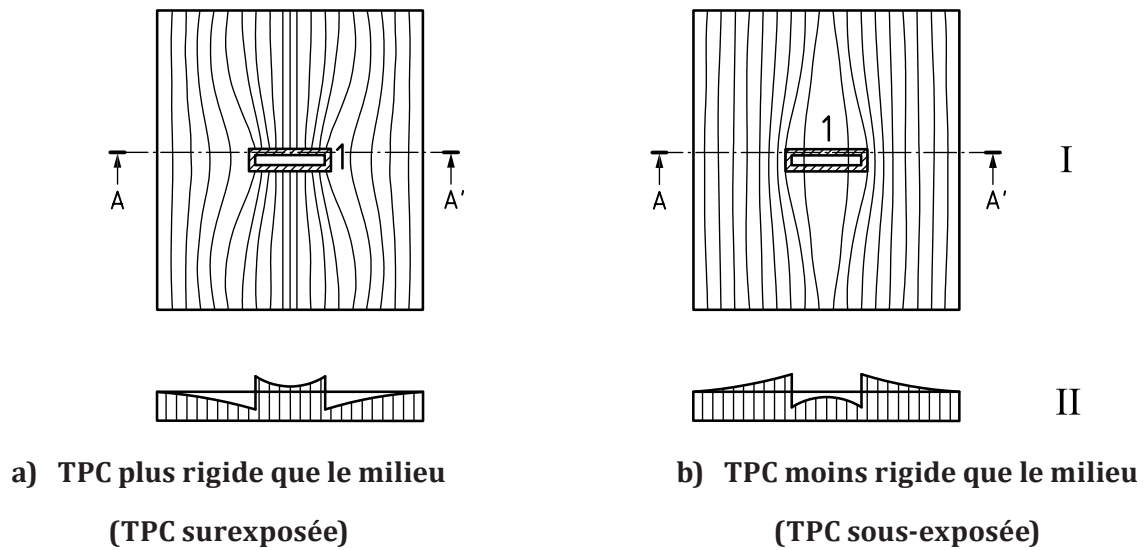
5 Instruments

5.1 Généralités

5.1.1 Il est à noter que les mesures obtenues à l'aide de TPCs sont sujettes à des erreurs importantes, car la présence du capteur dans le milieu tend à créer des changements importants dans le champ de contrainte qui fait l'objet de la mesure.

NOTE 1 Voir la [Figure 4](#) (Référence [5]).

NOTE 2 La sélection d'instruments appropriés, le respect de leur domaine d'application et des procédures d'installation appropriées sont des éléments critiques qui permettent de réduire ces erreurs à des niveaux acceptables (voir [5.4](#) et [5.6](#)).



Légende

- I trajectoires des contraintes autour d'une TPC. 1 compartiment sous pression enfoui dans un milieu.
 II profil de contrainte normale selon A — A'

Figure 4 – Enregistrement de l'effet des TPCs enfouies

(standards.iteh.ai)

5.1.2 Il convient de distinguer les méthodes de mesure par déformation et par compensation (voir le [Tableau 1](#)).

ISO 18674-5:2019

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/95d315eb-20b3-4b8d-a519->

Tableau 1 — Caractéristiques de surveillance associées aux méthodes de mesure des TPCs

| Méthode de mesure | Rigidité du TPC | Stabilité à long terme du signal du capteur | Compensation de la pression atmosphérique | Acquisition automatique des données | Vitesse d'enregistrement des données |
|--|----------------------|---|--|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Déformation (voir 5.2) | tend à être flexible | dépend, entre autres, du type de capteur électrique utilisé | une surveillance indépendante de la pression barométrique peut être nécessaire les capteurs hydrauliques à évent ne sont généralement pas fiables | souple | comparativement rapide |
| Compensation (voir 5.3) | tend à être rigide | tend à être stable à long terme | les capteurs hydrauliques à évent sont généralement fiables | encombrant; comparativement coûteux | comparativement lent |

5.1.3 Tout changement de la contrainte normale totale $\Delta\sigma_n$ agissant sur la face plate d'un compartiment sous pression (1 sur la [Figure 1](#)) doit être associé de manière univoque à un changement de la pression du liquide dans la cavité interne du compartiment.

5.1.4 Il est recommandé que la rigidité du compartiment sous pression dans la direction de détection soit faible en comparaison de la rigidité du tube de pression et du logement du dispositif de mesure de la pression.

5.1.5 La forme et l'emplacement du dispositif de mesure de la pression ne doivent pas affecter la contrainte normale totale σ_n du milieu qui agit sur le compartiment sous pression.

NOTE Une solution technique courante consiste en une TPC dans lequel le dispositif de mesure est placé suffisamment à distance du compartiment sous pression, et dans lequel le compartiment sous pression et le dispositif de mesure sont reliés par un tube de pression rigide.

5.1.6 Le dispositif de mesure de la pression (3 à la [Figure 1](#)) est généralement un transducteur de pression à membrane. La cavité formée par les composants interconnectés, compartiment, tube et dispositif de mesure doit être entièrement remplie, en termes d'ingénierie, d'un liquide incompressible et désaéré. La différence d'altitude entre le compartiment et le dispositif de mesure doit être si faible qu'elle peut être négligée dans la procédure d'évaluation (voir [A.1.1](#)).

5.1.7 Il est recommandé que le logement du dispositif de mesure de la pression soit suffisamment rigide pour que même des pressions élevées du terrain agissant sur la face externe du dispositif n'affectent pas le comportement mécanique de la membrane, en particulier ses caractéristiques d'étalonnage.

NOTE L'expérience dans des remblais de grande hauteur a montré que la poussée des terres, qui s'exerce sur le logement d'un transducteur de pression, peut provoquer un décalage significatif du zéro et une variation par rapport à la linéarité du transducteur.

5.2 Méthode de mesure par déformation

5.2.1 La mesure de la déflexion de la membrane du dispositif de mesure de la pression (voir 3c sur la [Figure 1](#)) peut être utilisée comme une méthode de mesure de la pression du liquide dans les cavités internes.

NOTE Couramment, la membrane qui sépare la chambre interne et la chambre externe coïncide avec la membrane de mesure d'un transducteur de pression électrique.

5.2.2 La pression dans la chambre externe du dispositif de mesure (voir 3b sur la [Figure 1](#)) doit être soit constante, soit atmosphérique.

5.2.3 Si les mesures de la TPC sont influencées par des changements de pression atmosphérique, il convient que ces changements soient suivis indépendamment.

NOTE Les tentatives visant à contourner ce problème par l'intégration d'un petit tube d'évent dans la conduite de mesure (voir 6 sur la [Figure 1](#)) sont souvent entachées de difficultés, car ces tubes tendent à se trouver bloquer par de l'eau de condensation. Cela vient en contraste de la méthode de mesure par compensation (voir [5.3](#) et le [Tableau 1](#)).

5.2.4 Il est recommandé d'éviter de réaliser les mesures de déformation directement au niveau des plaques du compartiment sous pression, par ex. au moyen d'une jauge de déformation ou de capteurs à corde vibrante, car cette procédure conduira généralement à des compartiments présentant des rapports de forme élevés ce qui conduit à des conditions d'enfouissement défavorables (voir [6.1](#)) et à des facteurs de correction des effets bord mal définis (voir [A.1](#)).

5.3 Méthode de mesure par compensation

5.3.1 Dans les systèmes de TPC à mesure par compensation, tout changement de la distance entre les plaques du compartiment sous pression dû à $\Delta\sigma_n$ doit être compensé par une pression p_a appliquée de l'extérieur.

NOTE Dans la pratique courante, une pression hydraulique de p_a est appliquée à des niveaux de pression comparativement élevés et une pression pneumatique de p_a est appliquée à des niveaux de pression comparativement bas.

5.3.2 Il convient d'appliquer une compensation au niveau de la membrane (3c sur la [Figure 1](#)) du dispositif de mesure de la pression. Toute déflexion de la membrane, telle que décrite en [5.2.1](#), doit être compensée par une pression p_a agissant dans la chambre externe du dispositif.