
**Reconnaissance et essais
géotechniques — Essais
géothermiques — Détermination de la
conductivité thermique des sols et des
roches dans les sondes géothermiques**

*Geotechnical investigation and testing — Geothermal testing —
Determination of thermal conductivity of soil and rock using a
borehole heat exchanger*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 17628:2015](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/29b3f3f9-e142-4576-89b2-9b7f7f98d49f/iso-17628-2015)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/29b3f3f9-e142-4576-89b2-9b7f7f98d49f/iso-17628-2015>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 17628:2015

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/29b3f3f9-e142-4576-89b2-9b7f7f98d49f/iso-17628-2015>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2015, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
copyright@iso.org
www.iso.org

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles et abréviations	3
5 Installation de sondes géothermiques	4
5.1 Appareils de forage et équipements auxiliaires.....	4
5.1.1 Généralités.....	4
5.1.2 Exigences relatives aux appareils et équipements de forage.....	4
5.2 Matériaux des sondes géothermiques, de remplissage et de remplissage de l'espace annulaire.....	5
5.2.1 Matériau de la sonde géothermique.....	5
5.2.2 Fluide de forage pour tubes de sondes géothermiques.....	5
5.2.3 Matériau de remplissage de l'espace annulaire.....	5
5.3 Exigences générales avant l'installation.....	6
5.3.1 Exigences relatives au forage et au site d'installation.....	6
5.3.2 Choix des techniques de forage et des méthodes d'installation.....	6
5.3.3 Informations préliminaires requises avant le début du forage et de l'installation.....	6
5.3.4 Exigences environnementales.....	7
5.3.5 Exigences relatives à la sécurité.....	7
5.4 Exécution.....	8
5.4.1 Forage.....	8
5.4.2 Installation des sondes géothermiques.....	8
5.4.3 Remplissage de l'espace annulaire.....	8
5.4.4 Essais fonctionnels.....	9
5.4.5 Remise en état du site.....	12
6 Essais géothermiques	12
6.1 Généralités.....	12
6.2 Équipement d'essai.....	13
6.3 Mode opératoire de l'essai.....	13
6.4 Résultats d'essai.....	15
6.5 Évaluation des résultats d'essai.....	15
7 Procès-verbaux	16
7.1 Procès-verbal établi sur le site.....	16
7.1.1 Procès-verbal d'installation des tubes des sondes géothermiques.....	17
7.1.2 Procès-verbal de remplissage de l'espace annulaire.....	17
7.1.3 Procès-verbal de contrôle.....	18
7.1.4 Procès-verbal des valeurs mesurées et des résultats d'essai.....	18
7.1.5 Procès-verbal des résultats d'essai évalués.....	18
7.2 Procès-verbal des résultats.....	18
Annexe A (informative) Exemple de formulaire pour les informations préliminaires sur l'installation prévue d'une sonde géothermique	20
Annexe B (informative) Procès-verbaux établis sur le site	22
Annexe C (informative) Exemple de représentation graphique de la sonde géothermique installée et de la géologie le long du forage	27
Bibliographie	28

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).

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. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/patents).

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

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant : [Avant-propos - Informations supplémentaires](http://www.iso.org/standards)

L'ISO 17628 a été élaborée par le Comité Européen de Normalisation (CEN) Comité Technique CEN/TC 341, *Reconnaissance et essais géotechniques*, en collaboration avec l'ISO Comité Technique ISO/TC 182, *Géotechnique*, Sous-comité SC1, conformément à l'accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Reconnaissance et essais géotechniques — Essais géothermiques — Détermination de la conductivité thermique des sols et des roches dans les sondes géothermiques

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie les exigences relatives à l'essai de réponse géothermique. Cet essai comprend la détermination *in situ* de la conductivité thermique dans un sol et une roche saturés et non saturés à l'aide d'une sonde géothermique. Pour cet essai, des liquides caloporteurs ne subissant pas de changements de phase sont utilisés.

La conductivité thermique est un paramètre important utilisé dans la conception des systèmes de stockage et d'échange thermiques.

Un essai de réponse géothermique mesure la réponse en température au forçage thermique d'une sonde géothermique ou l'extraction d'énergie thermique d'un forage. La réponse en température est liée aux paramètres thermiques du sol et du forage tels que la conductivité thermique et la résistance du forage ; elle est donc utilisée pour obtenir des estimations de ces paramètres importants.

La présente Norme internationale s'applique aux sondes géothermiques installées dans des forages verticaux ou inclinés d'une profondeur courante allant jusqu'à 400 m, par exemple, et d'un diamètre allant jusqu'à 200 mm.

2 Références normatives

Les documents suivants, en tout ou partie, sont référencés de façon normative dans le présent document et sont indispensables à son application. 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 14688-1, *Reconnaissance et essais géotechniques — Dénomination, description et classification des sols — Partie 1: Dénomination et description.*

ISO 14689-1, *Reconnaissance et essais géotechniques — Dénomination, description et classification des roches — Partie 1: Dénomination et description.*

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

EN 16228-1, *Machines de forage et de fondation — Sécurité — Partie 1: Prescriptions communes*

EN 16228-2, *Machines de forage et de fondation — Sécurité — Partie 2: Machines mobiles de forage de génie civil, de géotechnique, de forage d'eau, d'exploration de sol, d'énergie géothermique, de mines et carrières*

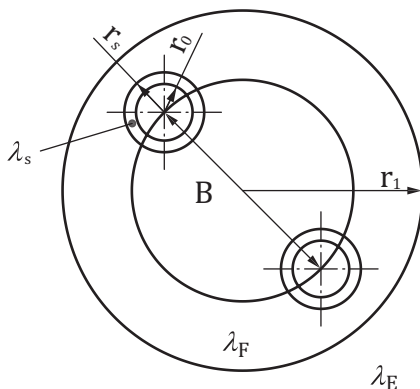
3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 22475-1 ainsi que les suivants s'appliquent.

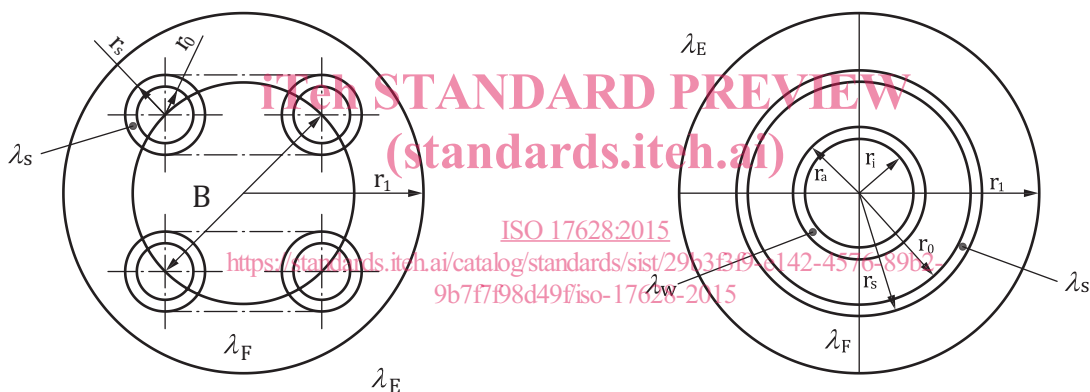
3.1 sonde géothermique

un ou deux tubes en U ou un tube coaxial dans un forage dans lequel circule le fluide échangeur

Note 1 à l'article: à l'article : Voir [Figures 1](#) et [2](#).



a) Tube en U simple



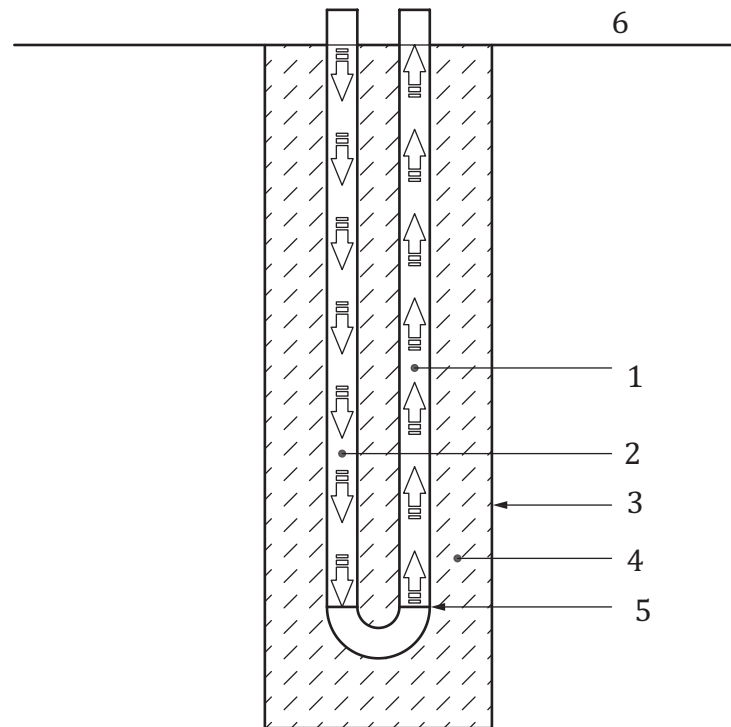
b) Tube en U double

c) Tube coaxial

Légende

r_1 rayon du forage	λ_F conductivité thermique du matériau de remplissage de l'espace annulaire
r_i rayon intérieur	λ_w conductivité thermique du tube intérieur de forage
r_a rayon extérieur	λ_s conductivité thermique du tube extérieur de forage
r_o rayon intérieur du tube extérieur	λ_E conductivité thermique du sol
r_s rayon extérieur du tube extérieur	B distance entre tubes

Figure 1 — Section transversale d'exemples de tubes de sonde géothermique



Légende

- 1 tube retour
- 2 tube aller
- 3 paroi du forage
- 4 remplissage de l'espace annulaire
- 5 raccordement
- 6 niveau du sol

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 17628:2015](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/29b3f3f9-e142-4576-89b2-9b7f7f98d49f/iso-17628-2015)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/29b3f3f9-e142-4576-89b2-9b7f7f98d49f/iso-17628-2015>

Figure 2 — Exemple de sonde géothermique incluant une étanchéité d'espace annulaire

3.2

essai de réponse géothermique

essai visant à obtenir la conductivité thermique

4 Symboles et abréviations

Tableau 1 — Liste des symboles et des abréviations

Symbole	Désignation	Unité
A	aire totale de la section transversale d'une surface conductrice	m^2
B	distance entre tubes	m
H	longueur de la sonde géothermique	m
k	pente	
m	masse d'une substance	kg
ρc_p	capacité thermique volumique	$J/m^3/K$
Q	puissance thermique	W
r_0	rayon du forage	m
r_i	rayon intérieur	m

Tableau 1 (suite)

Symbole	Désignation	Unité
r_a	rayon extérieur	m
r_o	rayon intérieur du tube extérieur	m
r_s	rayon extérieur du tube extérieur	m
Re	nombre de Reynolds	
R_b	résistance du forage	
T	température	°C
T_0	température du sol non remanié	°C
T_f	température du fluide au temps t	°C
t_1	durée minimale de l'essai	
x	épaisseur de la surface conductrice séparant deux températures différentes	m
λ	conductivité thermique	W/m/K
λ_E	conductivité thermique du sol	W/m/K
λ_{eff}	conductivité thermique effective	W/m/K
λ_{est}	conductivité thermique estimée	W/m/K
λ_F	conductivité thermique du matériau de remplissage de l'espace annulaire	W/m/K
λ_s	conductivité thermique du tube extérieur de forage	W/m/K
λ_w	conductivité thermique du tube intérieur de forage	W/m/K

(standards.iteh.ai)

5 Installation de sondes géothermiques

ISO 17628:2015

5.1 Appareils de forage et équipements auxiliaires

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/29b3f3f9-e142-4576-89b2-9b71f98d491/iso-17628-2015>

5.1.1 Généralités

Le matériel de forage sélectionné doit être de taille et de type appropriés afin d'obtenir la qualité requise.

5.1.2 Exigences relatives aux appareils et équipements de forage

Des appareils de forage ayant une stabilité, une puissance et un équipement appropriés, tels que tiges de forage, tubage, tube carottier et outils de forage, doivent être sélectionnés de manière à pouvoir obtenir la profondeur et la stabilité requises du forage.

L'appareil et l'équipement de forage doivent permettre un réglage précis de toutes les fonctions de forage.

Lorsque cela est spécifié, il convient de mesurer et d'enregistrer les paramètres de forage suivants en fonction de la profondeur :

- vitesse de fonçage (m/min) ;
- longueur forée (m) ;
- débit de récupération du fluide de rinçage (l/min) ;
- azimut et inclinaison en cas de forage incliné (degré) ;
- diamètre du forage (mm) ;
- tubage et longueur de tubage (m) ;
- fluide de rinçage.

5.2 Matériaux des sondes géothermiques, de remplissage et de remplissage de l'espace annulaire

5.2.1 Matériau de la sonde géothermique

Le matériau des tubes et du pied de la sonde géothermique doit être choisi en fonction de l'objectif et de la conception, en termes de :

- a) qualité ;
- b) durabilité ;
- c) corrosion ;
- d) résistance thermique ;
- e) résistance au choc ;
- f) résistance hydraulique ;
- g) force de compression ;
- h) résistance à la déformation ;
- i) sécurité liée à la contamination du sol et des nappes souterraines ;
- j) dimensions (diamètre, épaisseur de paroi et distance).

Les tubes en plastique doivent au moins avoir la qualité d'un tube PE 100 noir pour utilisation enterrée non potable et il convient de les fabriquer avec le même matériau que celui de l'échangeur de chaleur géothermique qui sera installé pour le réseau.

Des bagues d'écartement de tube doivent être fixées sur les tubes en U pour éviter les ponts thermiques. La distance minimale entre bagues d'écartement doit être de 2 m.

Les tubes doivent comporter des marques de longueur tous les mètres, par ordre numérique croissant de zéro jusqu'à l'extrémité des tubes, afin de pouvoir vérifier à tout moment la longueur installée.

5.2.2 Fluide de forage pour tubes de sondes géothermiques

Le fluide de forage pour tubes de sondes géothermiques doit satisfaire aux exigences de conception de l'essai et aux réglementations en matière d'environnement.

Il convient d'utiliser de l'eau potable ou de l'eau déminéralisée en raison de ses bonnes propriétés hydrodynamiques et parce qu'elle ne met pas en danger le sol et les nappes souterraines en cas de fuite de la sonde géothermique.

L'utilisation d'additifs antigels doit être justifiée. En cas d'utilisation, l'étanchéité de l'espace annulaire doit être adaptée aux conditions de gel et de dégel afin d'éviter les fissures.

La conception doit tenir compte de la température minimale du fluide caloporteur.

5.2.3 Matériau de remplissage de l'espace annulaire

Le matériau de remplissage de l'espace annulaire doit assurer le transfert thermique entre le sol et la sonde géothermique et vice versa. Il doit assurer l'étanchéité du forage jusqu'au niveau du sol pour empêcher l'entrée de polluants et protéger les aquifères susceptibles d'avoir été perforés. Le matériau de remplissage doit assurer l'intégration durable et stable, physiquement et chimiquement, de la sonde géothermique dans le sol. Il doit être adapté à toutes les températures de déploiement concernées.

Le matériau de remplissage doit être choisi en fonction de la conductivité thermique de l'encaissant et des eaux souterraines.

Il convient d'utiliser des matériaux de remplissage ayant une conductivité thermique $> 2 \text{ W/m/K}$.

Le matériau doit être chimiquement sans danger pour l'environnement et la santé.

5.3 Exigences générales avant l'installation

5.3.1 Exigences relatives au forage et au site d'installation

Les points de forage doivent être repérés sur le site avant le début du forage. Leur emplacement et leur élévation doivent être relevés correctement et selon les conditions du site, et intégrés dans un plan du site à la fin de l'installation.

Les sites de forage et d'installation doivent faire l'objet d'une reconnaissance en ce qui concerne les dangers pertinents, les réseaux enterrés et le matériel de guerre inattendu et n'ayant pas explosé, et des mesures appropriées doivent être prises si nécessaire. Les emplacements d'installation sur un terrain contaminé doivent être traités par des procédures particulières.

L'impact environnemental du forage et de l'installation doit être étudié. Des principes particuliers doivent être appliqués dans :

- les zones d'alimentation en eau ;
- les zones présentant des conditions d'eaux souterraines artésiennes ou confinées ;
- les zones présentant de multiples aquifères ;
- les terrains comportant des roches ou des sols gonflants ou effondrables.

Il convient que la distance minimale par rapport aux bâtiments existants soit de 2 m ; la stabilité ne peut pas être compromise.

ISO 17628:2015

5.3.2 Choix des techniques de forage et des méthodes d'installation

Les techniques et méthodes de forage et d'installation doivent être choisies en fonction du but de la sonde géothermique en relation avec les conditions géologiques et hydrogéologiques attendues.

Si une installation dans un sol instable est nécessaire, des forages stables ou stabilisés sont requis, en utilisant des tubages ou des fluides de forage appropriés.

Les techniques d'échantillonnage et les procédures de transport et de stockage des échantillons doivent être choisies conformément à l'ISO 22475-1, en se basant sur la classe de qualité d'échantillon requise.

Il est nécessaire de connaître les conditions géologiques et hydrogéologiques pour interpréter les résultats de l'essai de réponse géothermique et pour choisir le matériau de remplissage de l'espace annulaire.

5.3.3 Informations préliminaires requises avant le début du forage et de l'installation

Les informations préliminaires suivantes doivent être disponibles avant le début du forage et de l'installation :

- a) emplacement prévu de la sonde géothermique ;
- b) exigences relatives à la numérotation des forages ;
- c) identification et profondeurs prévues des forages sur la base de l'avant-projet ;
- d) orientation, inclinaison et déviations acceptables des forages ;
- e) plan d'installation de la sonde géothermique, incluant l'étanchéité de l'espace annulaire ;
- f) tolérances sur la profondeur du forage et la longueur de l'installation ;

- g) conditions géologiques et hydrogéologiques attendues ;
- h) exigences en termes d'espace, accessibilité du site de forage, itinéraires de transport ;
- i) risques pour l'environnement et la sécurité associés, par exemple, aux fluides de rinçage ou aux suspensions devant être utilisés ainsi que réglementations concernant leur utilisation ;
- j) risques possibles, par exemple réseaux enterrés et aériens, circulation, matériel de guerre inattendu et n'ayant pas explosé, contamination ;
- k) préparation en vue de l'élimination de la boue et des cuttings ;
- l) approvisionnement en matériaux auxiliaires, eau et énergie ;
- m) méthode et catégorie d'échantillonnage prévues ;
- n) manipulation, conservation et transport des échantillons prévus conformément à l'ISO 22475-1 ;
- o) exigences concernant les mesurages prévus dans la sonde géothermique ;
- p) exactitude et incertitude de mesure requises ;
- q) fréquence des mesures ;
- r) essais *in situ* prévus ;
- s) remise en état du site ;
- t) protection de l'environnement ;
- u) dispositions en cas d'urgence ;
- v) éclaircissements concernant les autorisations nécessaires ;
- w) nom de la personne à contacter ;
- x) échange d'informations prévu.

iTech STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

5.3.4 Exigences environnementales

En ce qui concerne les nuisances et la protection de l'environnement, pour chaque situation particulière, les normes nationales, spécifications ou exigences réglementaires pertinentes ou les Normes internationales pertinentes doivent être appliquées.

5.3.5 Exigences relatives à la sécurité

En ce qui concerne la sécurité sur le site et la sécurité des pratiques de travail, les normes nationales, spécifications ou exigences réglementaires pertinentes ou les Normes internationales pertinentes doivent être appliquées.

Les appareils de forage doivent être conformes à l'EN 16228-1 et l'EN 16228-2.

Chaque forage doit être clôturé ou obturé de façon provisoire et sûre jusqu'à la fin de l'installation.

5.4 Exécution

5.4.1 Forage

Les méthodes de forage doivent être sélectionnées en fonction de la géologie attendue. Lorsque le forage n'est pas stable, il doit être stabilisé par un fluide stabilisateur (par exemple suspension de bentonite) ou par un tubage.

NOTE Dans les sols appropriés, une technique de fonçage peut être utilisée à la place du forage. Si nécessaire, l'inclinaison du tubage et du forage peut être vérifiée par mesure à l'aide d'un inclinomètre.

Une possibilité d'échantillonnage des cuttings doit être offerte. Si plusieurs appareils de forage sont utilisés sur le même site, les appareils doivent être installés à une distance suffisante les uns des autres afin de réduire au minimum l'interaction pendant le forage et l'injection de coulis.

5.4.2 Installation des sondes géothermiques

La sonde géothermique doit être préfabriquée pour éviter tout soudage sur le site d'installation. Elle doit avoir un certificat d'essai de pression. Les dommages mécaniques pendant le transport, le stockage et l'installation doivent être évités.

Les tubes de la sonde géothermique doivent être remplis d'eau et obturés de façon étanche avant l'installation. Il faut déterminer si un poids supplémentaire est requis au pied des tubes de la sonde géothermique. La masse volumique du fluide de rinçage, s'il est utilisé, doit être contrôlée pour s'assurer de sa conformité au poids prédéterminé sélectionné. La sonde géothermique doit être retenue au départ lorsqu'elle est placée dans le forage afin d'éviter qu'elle ne glisse trop rapidement. Les tubes ne peuvent pas être enfoncés depuis le niveau du sol. Les tubes peuvent uniquement être tirés en position droite par un dispositif adapté qui applique une force directement au niveau du pied de la sonde géothermique. Les repères métriques sur les tubes doivent être consignés.

Dans les cas où le trou de forage est sec, il convient de ne pas remplir le tube de la sonde géothermique avant son installation.

Il convient que les tubes d'injection de coulis pour remplir l'espace annulaire soient placés dans le forage avec la sonde géothermique en tenant compte des dimensions de l'espace résiduel. Plusieurs tubes d'injection de coulis peuvent être nécessaires selon la profondeur du forage pour assurer une injection continue de coulis. Le nombre et la longueur des tubes d'injection de coulis doivent avoir été définis au préalable lors de la conception. Les tubes d'injection de coulis doivent être clairement marqués, c'est-à-dire que la profondeur ou la longueur du tube doit être visible au niveau du sol.

Pendant les périodes de gel prolongées, les tubes peuvent également être remplis d'un fluide antigel compatible avec la conception du réseau au sol.

L'installation doit être enregistrée conformément à 7.1.2.

5.4.3 Remplissage de l'espace annulaire

Après l'installation de la sonde géothermique, l'espace annulaire doit être rempli à l'aide de matériaux ayant une perméabilité inférieure ou égale à celle du sol environnant, par exemple pour stabiliser le forage, pour assurer un bon transfert thermique et pour empêcher toute contamination et connexions entre des aquifères et le drainage vertical le long des tubes de la sonde géothermique.

Le coulis doit être mis en place au moyen d'un tube d'injection descendu jusqu'à la base du forage. Il convient que le tube d'injection reste dans le trou de forage. Si celui-ci est retiré, il convient de le faire qu'après avoir constaté le débordement du matériau de remplissage avec une densité égale à celle à laquelle il a été injecté. L'injection doit être continue durant le retrait du tube d'injection.

Si les conditions du sol et des nappes souterraines ont une influence sur le processus de remplissage, des exigences techniques particulières doivent être spécifiées à l'avance pour le remplissage. Aucune cavité ne doit se former lors de la mise en place du matériau de remplissage dans le forage.