

Rapport final, 13 juin 2018

# **Note explicative «Modèle de soumission pour l'installation d'une sonde géothermique»**

**Auteurs**

Dr. Andreas Ebert, Geo Explorers AG

Christian Häring, Geo Explorers AG

**Experts**

Dr. Martin Bochud, GeoAzimut Sàrl

René Buchli, e-therm ag

Karl-Heinz Schädle, Schädle GmbH

Hansjakob Schächli, Progeo GmbH

**La présente étude a été élaborée pour le compte de SuisseEnergie.**

**La responsabilité du contenu incombe exclusivement aux auteurs.**

**Adresse**

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale : 3003 Berne

Infoline 0848 444 444, [www.suisseenergie.ch/conseil](http://www.suisseenergie.ch/conseil)

[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch), [www.suisseenergie.ch](http://www.suisseenergie.ch)

## Contenu

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Prestations de l'entreprise de forage.....</b>	<b>7</b>
2.1	Dimensionnement de la sonde géothermique .....	7
<b>3</b>	<b>Travaux préparatoires et accessoires .....</b>	<b>8</b>
3.1	Assurances et risques.....	8
3.2	Services optionnels .....	10
<b>4</b>	<b>Installation .....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Forage et installation de la sonde géothermique .....</b>	<b>12</b>
5.1	Processus de forage .....	12
5.2	Mise en place de la sonde .....	14
5.3	Injection du ciment de remplissage.....	15
5.4	Contrôle de la qualité .....	17
5.5	Implantation de la sonde .....	19
<b>6</b>	<b>Elimination des résidus de forage .....</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Conduites de liaison et raccordement au collecteur .....</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Remplissage du circuit de circulation de la sonde avec un fluide caloporteur .....</b>	<b>22</b>

# 1 Introduction

Le modèle de soumission et sa note explicative ont pour but d'accompagner pas à pas la maîtrise d'ouvrage dans l'installation d'un système de sondes géothermiques, et de mettre en avant les points particulièrement importants à respecter, depuis le forage jusqu'au raccordement électrique. Comme son nom l'indique, ce modèle de soumission est un modèle. Il peut être utilisé tel quel, ou être adapté selon les besoins, dans le cadre d'un appel d'offre.

Chacune des phases de l'installation d'une sonde géothermique est résumée sur le schéma ci-dessous:

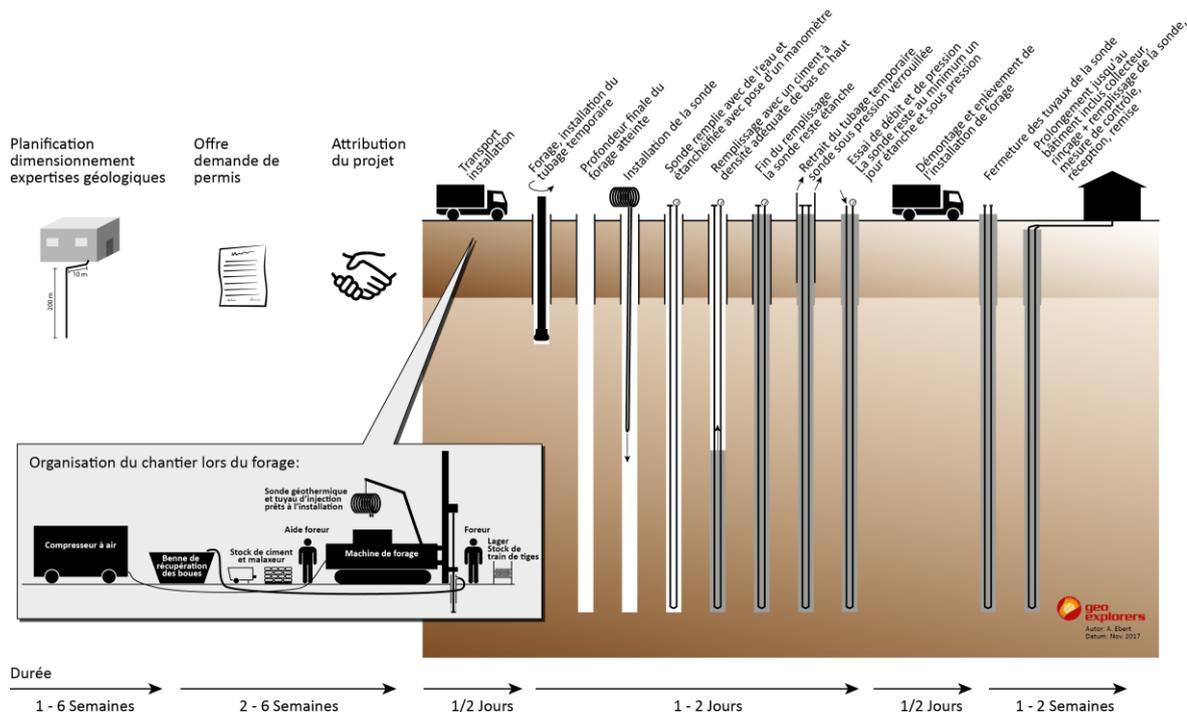


Figure 1 Etape de travail pour le forage d'une sonde géothermique

Lors d'un appel d'offre, deux cas de figure peuvent se présenter, à savoir : un forage pour une **nouvelle construction**, ou, un forage pour le **remplacement du système de chauffage** dans un bâtiment existant. Dans le cas d'un remplacement de chauffage, l'entreprise de forage peut intervenir en tant qu'entreprise générale et offrir également des prestations de tiers (suivi géologique, grue sur pneu si requis, travaux de fondations ou de percement mural).

Dans le cas d'une nouvelle construction, les prestations supplémentaires mentionnées ci-dessus peuvent être réalisées par les entreprises déjà présentes sur le chantier. Dans ce cas, il convient de garantir la bonne coordination des travaux.



Figure 2 Forage géothermique avec machine de forage, compresseur, benne de récupération des boues, ciment et sonde

### Déclaration et normes valables

Souvent, il n'existe pas de contrat préalable entre le maître d'ouvrage et l'entreprise de forage. C'est pourquoi l'appel d'offre représente un élément contractuel important entre les deux parties. Le prestataire doit attester par sa signature qu'il connaît et respecte les lois en vigueur (notamment les lois sur l'environnement) et qu'il respecte les normes SIA : SIA 118 : Conditions générales pour l'exécution des travaux de construction, SIA 431 : Evacuation et traitement des eaux de chantiers et **SIA 384/6 : Sondes géothermiques**. Cette dernière décrit l'installation d'une sonde géothermique en détail. De plus, le prestataire doit confirmer qu'il réalisera les travaux lui-même, ou qu'il se porte garant des prestations fournies par un sous-traitant désigné.

Le prestataire doit ensuite déclarer si:

- l'entreprise de forage possède la certification GSP
- l'entreprise de forage a besoin d'un raccordement au réseau électrique: certaines équipes de forage sont autonomes et ne nécessitent pas d'énergie complémentaire, ce qui peut représenter une décharge pour le maître d'ouvrage

Enfin, le prestataire, après avoir reçu le dossier d'autorisation, doit informer le maître d'ouvrage de tous les éventuels coûts supplémentaires dûs aux exigences cantonales. Par exemple, la mise en place d'une gaine ou d'un tubage permanent pour la protection des eaux souterraines, le forage par circulation directe ou la mesure de la déviation du forage.

Les documents qui doivent être rendus à la fin du projet doivent être identifiés. Ils comprennent : le protocole de réception dûment complété, les contrôles de qualité (tests de pression et de circulation du fluide caloporteur), ainsi que le protocole de forage. A ces documents s'ajoutent les fiches techniques des matériaux utilisés, c'est-à-dire le ciment de remplissage et la sonde, afin que le maître d'ouvrage soit en possession de l'ensemble des informations.

Au moment de l'établissement de son offre, le prestataire doit déjà pouvoir définir les matériaux qui seront utilisés. Ceci, d'une part, afin de pouvoir établir la documentation (fiches techniques,...), et, d'autre part, car les matériaux doivent être adaptés à la situation et que l'emploi de matériaux inappropriés peut mener à l'endommagement de la sonde. Par exemple, une sonde PN16 peut être installée dans des forages dont la profondeur maximale est d'environ 250m. Pour les forages plus profonds, il est conseillé d'installer une sonde PN20 qui, même si plus onéreuse, offre une meilleure résistance à la pression.

## 2 Prestations de l'entreprise de forage

### 2.1 Dimensionnement de la sonde géothermique

Le dimensionnement de la sonde géothermique selon la norme SIA 384/6 doit être réalisé par un ingénieur. Le calcul de la profondeur de forage est en général réalisé par un planificateur en chauffage, un chauffagiste, ou un géologue spécialisé, sur la base de la consommation de chaleur<sup>1</sup>, de la taille de la pompe à chaleur<sup>2</sup> et de la géologie<sup>3</sup>.

Au niveau de l'emplacement, il est nécessaire de respecter la délimitation de parcelles prédéfinies par le canton mais aussi les éventuelles influences thermiques des sondes à proximité. Il est recommandé de choisir le site d'implantation de la/des sonde(s) de telle sorte à garantir un éloignement suffisant avec les sondes déjà présentes. L'éloignement minimal dépend de la densité des sondes déjà présentes (nombre de sondes par m<sup>2</sup>), et de leur arrangement géométrique. Ainsi les perturbations à long terme seront faibles. Les forages peuvent, dans la majorité des cantons, être réalisés sous la dalle des bâtiments. Dans ce cas, il est nécessaire de vérifier que le forage ainsi que les conduites ne soient pas endommagés au cours de la construction. Certains cantons exigent, lorsque des sondes sont posées sous la dalle du bâtiment, que l'ensemble du système (sondes et conduites) soit étanche au gaz.

Lorsque le type de pompe à chaleur est mentionné dans l'appel d'offre, il est recommandé, pour l'entreprise de forage, d'effectuer un contrôle du dimensionnement de la sonde géothermique.

Dans le cas où un rapport géologique existe déjà, l'entreprise de forage peut réaliser une meilleure estimation de la faisabilité technique du forage. Par exemple, la longueur de tubage temporaire nécessaire dans les alluvions (roche meuble), les moyens d'évacuation des boues de forages, les paramètres de forage et, ainsi, économiser du temps.

Une demande d'autorisation de forage avec un plan de situation est à déposer auprès de la commune ou du canton afin d'obtenir l'autorisation de forage avant le début des travaux.

Alors que les assurances en cas de forage artésien ou de rupture du forage peuvent être contractées via l'entreprise de forage, les assurances telles que la responsabilité civile du maître d'ouvrage et l'assurance de construction doivent être souscrites par le maître d'ouvrage lui-même.

De nombreux cantons subventionnent les pompes à chaleur sol/eau en remplacement d'un chauffage au mazout, au gaz ou d'un chauffage électrique. Il revient au maître d'ouvrage de s'informer quant aux mesures d'encouragement ou aux subventions. De plus amples informations sont présentes sur la page web suivante : <https://www.energie-experten.ch/fr/energiefranken.html>

---

<sup>1</sup> Demande de chaleur utile du bâtiment en kWh/a, prélèvement de chaleur de la sonde géothermique

<sup>2</sup> Puissance de la pompe à chaleur en kW, débit minimal dans l'évaporateur en kg/s

<sup>3</sup> Gradient de température et conductivité thermique des différentes formations géologiques

L'implantation et le marquage du point de forage doivent être réalisés par le maître d'ouvrage ou le chef de chantier après étude du cadastre des conduites. L'équipe de forage ne possède pas de plan des conduites et des canalisations, et ne peut implanter le forage qu'approximativement, grâce aux données transmises par le maître d'ouvrage. Dans le cas d'une rénovation, il arrive encore fréquemment que des conduites existantes soient percées. Un écart minimum de 2m doit être respecté par rapport aux bâtiments, et plus précisément par rapport aux avancées de toit (qui sont déterminantes).

Un raccordement au réseau d'eau courante est nécessaire pour réaliser le forage ainsi que pour la pose du ciment de remplissage. La plupart du temps, un raccordement d'eau extérieur suffit. Un raccordement électrique 400V/16A pour le mélangeur à injection est aussi souvent demandé, ainsi qu'un raccordement 220V pour les cabanes de chantier.

L'entreprise de forage peut être mandatée, en option, pour l'obtention de l'autorisation de forage, la réalisation des travaux géologiques et la mise en place d'une alimentation électrique, (v. point 2.2).

## 3 Travaux préparatoires et accessoires

### 3.1 Assurances et risques

Conformément au CC (Code Civil) et au CO (Code des Obligations), ainsi qu'aux normes SIA, c'est le maître d'ouvrage qui répond des risques inhérents à la géologie. Ceci étant, il existe plusieurs possibilités d'assurances contre les risques géologiques lors de forages géothermiques. Plusieurs sociétés d'assurance proposent des solutions pour les sondes géothermiques. Les conditions d'assurance précises doivent être demandées directement auprès des sociétés d'assurance. Certaines assurances, comme par exemple l'assurance contre l'artésianisme, sont en général contractées par l'entreprise de forage. Les descriptions suivantes, ainsi que le tableau 1, sont donnés ici à titre purement indicatif et se limitent aux trois solutions d'assurances les plus courantes :

La **responsabilité civile du maître d'ouvrage** est en principe recommandée. Pour les constructions nouvelles, cette assurance est en général conclue d'emblée. Pour les remplacements de chauffage, il est recommandé au maître d'ouvrage d'au moins étudier la pertinence de souscrire à une telle assurance.

L'**assurance puit artésien** est une assurance standard qui prend en charge les coûts engendrés par le forage d'une conduite déjà existante sous pression ou lors du percement d'une poche de gaz naturelle souterraine. La souscription d'une assurance puit artésien peut être recommandée dans tous les cas. Du reste, elle est généralement contractée. Alors que le risque de percement de petites poches de gaz naturel est minime, car les zones à risque sont connues et exclues, il arrive de devoir intervenir sur certains cas d'eau souterraine sous pression. L'utilisation du terme puit artésien est un raccourci pour évoquer l'eau souterraine soumise à un artésianisme, c'est-à-dire une nappe captive dont la pression hydrostatique est au-dessus du sol, et qui peut jaillir natu-

rellement hors du forage. Cette situation peut se trouver à flanc de montagne ou en vallée, et présenter des débits d'eau variables. L'entreprise de forage met alors en place les mesures d'interventions usuelles pour arrêter le jaillissement de l'eau. Ces mesures entraînent des frais supplémentaires qui sont pris en charge par l'assurance puit artésien, si le maître d'ouvrage a contracté une telle assurance. En contrepartie, l'entreprise de forage doit être capable de dévier immédiatement l'eau, et de visser un bouchon étanche sur le tubage, équipé d'un manomètre et d'un robinet, afin de fermer le forage et de stopper l'arrivée d'eau. La pression hydrostatique de la source artésienne ainsi que son débit doivent être estimés afin que des mesures soient prises pour garantir une protection durable du forage. Lors d'une arrivée d'eau ou de gaz sous pression dans le forage, il est nécessaire d'informer le service cantonal spécialisé pour la protection de l'eau.

La souscription à une **assurance pour interruption du forage** est moins fréquente. Une telle assurance doit cependant être au moins envisagée, dans les cas de géologie difficile. Et ce en particulier quand des cas problématiques sont connus dans l'environnement direct du forage. Les cas de sondes géothermiques non réalisables sont toutefois très rares.

La sonde géothermique peut aussi être assurée pendant plusieurs dizaines d'années, par une **assurance « sondes géothermiques »**, contre les risques opérationnels. Les dégâts engendrés par des causes externes (par ex. tempête, animaux, modification géologique) ou internes (défaut du matériel ou de l'installation) sont assurés. Dans ce cas, les coûts supplémentaires d'un éventuel système de remplacement sont pris en charge par l'assurance

Tableau 1 Proposition de solutions d'assurance pour sonde géothermique

Type d'assurance	Qu'est ce qui est assuré ?	Qu'est ce qui n'est pas assuré ?	Remarques
<b>Responsabilité civile du maître d'ouvrage</b>	Ne concerne que les dommages aux parcelles voisines et à leurs constructions.  Les fissures, qui nécessitent une rénovation pour des raisons statiques (nécessite au préalable l'établissement d'un protocole de fissuration, à la charge du client).	Dégâts liés à des ruptures suite à une modification des conditions hydrogéologiques, par ex. les tassements.	Pour les constructions nouvelles, cette assurance est quasi-systématique, dans le cas de travaux de rénovation, elle n'est pas automatique.
<b>Assurance puit artésien</b>	La parcelle du maître d'ouvrage ainsi que les bâtiments qui s'y trouvent, coûts du forage en cas d'abandon, frais d'étanchéité du forage, temps d'arrêt de la machine de forage, frais d'experts.	Parcelles voisines et leurs bâtiments, pertes et abandon d'équipement dans le forage.	Assurance standard lors d'un forage géothermique, peut être souscrite par l'entreprise de forage, est toujours recommandée.
<b>Assurance pour interruption du forage</b>	L'interruption du forage est assurée si elle se fait à la suite de conditions géologiques /hydrogéologiques qui, malgré l'exploitation des techniques actuelles de forage, rendent impossible l'extraction de l'énergie ther-	Surcoûts liés à la répartition de la longueur totale de forage sur plusieurs forages. Surcoûts d'exploitation d'un système de chauff-	L'assurance en cas de rupture de forage n'intervient que dans le cas où le système de chauffage par sonde géothermique

Type d'assurance	Qu'est ce qui est assuré ?	Qu'est ce qui n'est pas assuré ?	Remarques
	<p>mique nécessaire, au moyen d'une sonde géothermique.</p> <p>L'interruption de forage est assurée si elle intervient à la suite d'une décision administrative ou sur décision des géologues compétents.</p> <p>La différence du coût d'investissement pour un système de chauffage alternatif</p> <p>Coûts du forage abandonné.</p> <p>Frais d'experts.</p>	<p>fage alternatif.</p> <p>Interruption de forage liée à une méthode de forage non appropriée pour l'emplacement en question.</p>	<p>n'est pas possible.</p> <p>Quand seules des sondes moins profondes peuvent être réalisées, cette assurance n'intervient pas.</p>
<b>Assurance sonde géothermique</b>	<p>Assure les installations en service pendant des années, respectivement des dizaines d'années contre les risques soudains et imprévisibles (phénomènes climatiques, animaux, changements géologiques). Les coûts pour la restauration à l'état d'origine sont pris en compte.</p>	<p>Pas d'assurance si la planification n'est pas réalisée selon la norme SIA 384/6, si les tests de débit et de pression n'ont pas été faits.</p>	<p>Doit être souscrite avant le début des travaux.</p>

### 3.2 Services optionnels

L'entreprise de forage peut, de manière optionnelle, être mandatée pour faire la demande d'autorisation de forage à la place du maître d'ouvrage. Un plan de situation ainsi que les coordonnées géographiques de l'emplacement du forage doivent être livrés avec le dossier. Lors du choix de l'emplacement du forage, les distances réglementaires avec les limites de parcelles voisines, les alignements, et le cadastre des canalisations sont à prendre en compte. De plus, un éloignement d'au moins 2m par rapport au bâtiment doit être respecté (afin de pouvoir facilement positionner la foreuse).

Dans certains cantons (ex: AG, GR), la mesure de déviation du forage est obligatoire car inscrite dans l'autorisation de forer. Cette prestation est en général réalisée ou sous-traitée par l'entreprise de forage, qui mandate une entreprise externe le cas échéant.

L'expertise géologique, le suivi géologique du forage et le relevé du profil de forage sont nécessaires lorsque certaines couches géologiques critiques ne doivent pas être forées. Ces couches sont par exemple des couches constituées de nappes d'eau potable ou des minéraux gonflants (par ex. l'anhydrite). Dans certains cantons, les forages doivent toujours faire l'objet d'une étude géologique, dans d'autres, les forages font l'objet d'un suivi géologique seulement pour certaines roches.

La plupart des entreprises de forage sont pourvues d'un groupe électrogène, si aucun raccordement électrique 400V/16A n'est disponible sur le chantier. Un tel groupe peut, le cas échéant, être loué à la journée.

## 4 Installation

Avant d'amener le matériel de forage sur le chantier, le chef de chantier de l'entreprise de forage visite le site afin d'évaluer les voies d'accès ainsi que les espaces disponibles. Si une surface plane ou des rampes d'accès sont nécessaires, le maître d'ouvrage doit faire appel à un entrepreneur en génie civil approprié. Dans le cas où une grue sur pneus est nécessaire pour déplacer la machine de forage, c'est l'entreprise de forage qui se charge de l'organiser. Le prix de l'installation du chantier pouvant fortement varier d'une situation à l'autre, il est indispensable d'apprécier correctement la situation et d'estimer les coûts, avant que les travaux ne soient confiés à une entreprise.

Le transport (vers le chantier, puis de retour à l'entreprise), et l'installation du dispositif de forage, comprennent en général la machine de forage, un compresseur, une benne de récupération des boues, des tiges de forages ainsi que des tuyaux, un mélangeur à injection, une caravane de chantier et un camion. L'espace requis pour l'ensemble de ce matériel est de minimum 60 m<sup>2</sup>.

D'éventuels travaux de couverture (par exemple protection de la façade du bâtiment) peuvent être nécessaires, ils seront facturés comme suppléments.



Figure 3 Installation à proximité d'un bâtiment avec façade recouverte

## 5 Forage et installation de la sonde géothermique



Figure 4 Dispositif de forage avec machine de forage, benne de récupération des boues, sonde, pompe mélangeuse et camion

### 5.1 Processus de forage

Une fois l'installation du chantier terminée, le forage est en général terminé dans les deux jours. Il est réalisé à l'aide d'un mélange **d'air sous pression avec un peu d'eau**, injecté à travers les tiges de forages vers la tête de forage. Ce mélange remonte ensuite à la surface dans l'espace annulaire compris entre la tige de forage et la paroi du trou de forage. Les cuttings de forage sont ainsi évacués lors de la remontée de l'air vers la benne de récupération des boues. Dans certains cas, par exemple lors d'instabilité du massif rocheux ou de fortes venues d'eaux, le forage peut être réalisé non pas à l'aide d'injection d'air, mais grâce à la méthode du forage à circulation directe comprenant un additif de forage (un mélange d'eau et de bentonite). Ce mélange peut avoir un effet stabilisant sur la roche. Si ce mélange est utilisé lors du forage, un supplément tarifaire est à compter par mètre linéaire.



Figure 5 Machine de forage, avec équipement en bord de route (benne de récupération des boues, tuyau, compresseur, conteneur de chantier, camionnette)

Seule une partie des machines de forages disponibles en Suisse pour le forage géothermique peuvent passer d'une injection à air comprimé, à une injection liquide. Même si ce procédé est rarement employé, il est important de le citer ici.

**Tubage de protection :** La partie supérieure du forage, à l'endroit des roches meubles (par ex. des alluvions quaternaires), est protégée (soutenue) par un tubage temporaire ayant un diamètre entre 152 et 159 mm. L'épaisseur des roches meubles peut varier de 0 à plus de 200m selon le secteur, mais n'excède généralement pas plus de 30m. Selon la puissance du couple, la force de traction de la machine de forage et la nature de la roche, le tubage de protection temporaire peut être mis en place jusqu'à 120m environ. Dans le prix au mètre linéaire du forage, on ne prend cependant en compte qu'un tubage de protection de 30m.

Dans le cas où il est nécessaire d'installer un tubage sur une plus grande profondeur, un **coût additionnel** doit être pris compte pour chaque mètre linéaire supplémentaire. Des informations géologiques relatives à l'épaisseur de formations superficielles peuvent être au préalable demandées par l'office cantonal, les géologues, ou bien l'entreprise de forage elle-même. Une fois que les formations superficielles ont été traversées, le forage continue dans la roche. La plupart du temps, la roche est stable et de ce fait, ne nécessite pas de tubage de protection. Dans certains cas, le tubage de protection temporaire ne peut plus être démonté. L'entreprise de forage doit donc prendre en charge les pertes qui en découlent, celles-ci ne peuvent en aucun cas être imputées au maître d'ouvrage.

## 5.2 Mise en place de la sonde

Dès que le forage est réalisé, les tiges ainsi que l'outil de forage sont démontés et la sonde est immédiatement mise en place. La plupart du temps, il s'agit d'une sonde duplex en U, avec pied de sonde lesté, qui est déroulée depuis une bobine. En d'autres termes, on installe deux tuyaux PE en forme de U, qui sont indépendants l'un de l'autre. Avant l'installation de la sonde, un rapide test de pression est réalisé pour exclure d'éventuels dégâts liés au transport ou au stockage.

De pair avec la sonde, on insère également au moins un tuyau de remplissage dans le forage. Pour les sondages profonds de plus de 250m, il est recommandé d'insérer un second tuyau jusqu'à au moins 50 m. La sonde doit dépasser le terrain d'au moins 1m, afin de permettre les travaux subséquents, ainsi que les mesures éventuelles qui pourront être réalisées. Après l'introduction de la sonde, celle-ci est remplie avec de l'eau, équipée d'un manomètre et fermée de manière à ce qu'elle soit étanche à la pression. Le forage doit immédiatement être cimenté après l'installation de la sonde, depuis le fond du forage (voir chapitre 4.3).

Le type de sonde, le fabricant, ainsi que la longueur de la sonde sont imprimés à intervalles réguliers d'environ un mètre, sur la sonde. Ces informations peuvent donc être lues à tout moment. Il est ainsi possible de contrôler que le matériel employé est le bon, et que la sonde est de la bonne longueur.



Figure 6 Tuyau de la sonde avec tuyau pour l'injection du ciment de remplissage sur le dérouleur. Le pied de sonde est lesté

### 5.3 Injection du ciment de remplissage

Une injection correcte du ciment de remplissage est déterminante pour une installation performante et durable de la sonde géothermique. Les points les plus importants à respecter sont:

- Un mélange homogène et une bonne densité du ciment
- Le ciment de remplissage doit être injecté du bas vers le haut du forage, sans vide, à l'aide d'un tuyau d'injection,
- Les sondes doivent être fermées de manière étanche à la pression pendant et après le remplissage.



Figure 7 Pompe mélangeuse à mortier simple (à gauche) et malaxeur colloïdal (à droite)

L'injection complète du ciment de remplissage étanchéifie entièrement le forage, ce qui est primordial par rapport à la protection des eaux souterraines. De plus, le ciment de remplissage joue le rôle de conducteur thermique entre la sonde et la roche, ce qui est important pour atteindre l'efficacité énergétique souhaitée. Le matériau de remplissage est généralement livré « prêt à l'emploi » sous forme de mélange de ciment et de bentonite. Le fabricant et le produit doivent être déclarés par l'entreprise de forage. Il existe aussi des entreprises de forages qui fabriquent leur propre mélange de ciment et de bentonite.

Lors de l'injection du ciment de remplissage, il convient de tenir compte absolument du point suivant: le mélange doit être de bonne qualité avant d'être injecté dans le forage. Pour ce faire, il existe des malaxeurs colloïdaux, des pompes malaxeuses ou des cuves de malaxage. Dans la pratique, le malaxeur colloïdal semble produire de meilleurs mélanges, plus homogènes. Le ciment et la bentonite sont mélangés avec l'eau pour former une suspension homogène. Cette suspension doit conserver tout au long de la phase d'injection des caractéristiques constantes. Il est important que les indications du fabricant concernant la densité du mélange soient respectées.

Dans la pratique, les ciments de remplissage sont souvent trop épais, ce qui conduit à une densité trop élevée. Cette densité, à son tour, engendre une pression trop importante sur la sonde. Il est de ce fait primordial que la densité du mélange de ciment soit mesurée et documentée, avant d'effectuer le remplissage.

Avant le processus d'injection, la sonde géothermique doit être entièrement **remplie d'eau, fermée de sorte qu'elle soit étanche à la pression, et pourvue d'un manomètre**. La sonde ne doit en aucun cas être comprimée lors de l'injection du ciment de remplissage. Une telle compression provoquerait un endommagement de la sonde et réduirait fortement sa durée de fonctionnement.

Le ciment de remplissage est injecté dans le forage, à l'aide du tuyau de remplissage, du bas vers le haut. Il est important que l'injection soit réalisée jusqu'à ce que le ciment de remplissage atteigne la surface. Ce n'est qu'ainsi, que le remplissage est complet. Le processus de remplissage ne peut être interrompu que lorsque la pression sur le manomètre de la sonde excède les 16 bar (21 bar sur de courtes périodes).

## 5.4 Contrôle de la qualité



Figure 8 Cimentation complète du forage, Le ciment est visible depuis la surface

Une fois l'injection du ciment de remplissage terminée, on peut effectuer le test de qualité selon la norme SIA 384/6. Etant donné que la sonde géothermique en tant que telle est entièrement dans le sol, et donc que d'éventuels défauts ne sont pas visibles, le contrôle qualité de la sonde après injection du ciment de remplissage est primordial pour le maître d'ouvrage. Le contrôle doit être effectué tant que le ciment de remplissage n'a pas encore pris, et qu'il est encore liquide. En d'autres termes, le contrôle doit être fait directement après l'injection et le démontage du tubage temporaire. S'il est nécessaire de démonter les raccords de pression pour retirer le tubage temporaire, il est impératif de les remonter immédiatement après, et de remettre la sonde sous pression.



Figure 9 Les sondes restent étanches à la pression après le remplissage. Le ciment de remplissage s'est quelque peu affaissé dans le trou, et ce dernier doit être complété

Selon la norme SIA 384/6, il faut rincer la sonde et faire deux contrôles de qualité. Le protocole de mesures exact se trouve dans la norme, et est présenté ci-dessous de manière simplifiée :

1. **Rinçage** : La sonde doit être rincée à l'aide du raccord au réseau d'eau ou à une bouche à incendie, afin de retirer toute éventuelle particule de saleté. La durée de rinçage doit être telle, que chaque circuit est rincé entièrement au moins une fois.
2. **Essai de débit** : Un essai de débit définitif est réalisé, à une pression prédéfinie, dans la sonde. Au cours de l'essai, la pression à l'entrée et à la sortie de la sonde sont mesurées. Si la sonde est écrasée (par ex. dans le cas où le ciment de remplissage est trop dense), elle présente une résistance à l'écoulement supplémentaire visible dans le cadre de l'essai. L'essai dure de 10 à 15 minutes. L'essai peut aussi être réalisé après la prise du ciment de remplissage et avant le raccordement de la sonde à la pompe à chaleur.
3. **Essai de pression** : La pression d'essai de la sonde est dépendante de la densité du ciment de remplissage et de la profondeur du forage. Une fois la sonde mise sous pression, elle s'allonge légèrement dans le ciment encore liquide, ce qui implique généralement une légère chute de la pression. Si la sonde était sérieusement endommagée, la pression chuterait rapidement. La mesure de pression complète dure environ 1 heure 30. Précisons qu'un essai de pression peut également être réalisé une fois que le ciment a pris. Dans ce cas, la sonde est mise sous pression (par ex. 5 bar) pendant plusieurs jours.

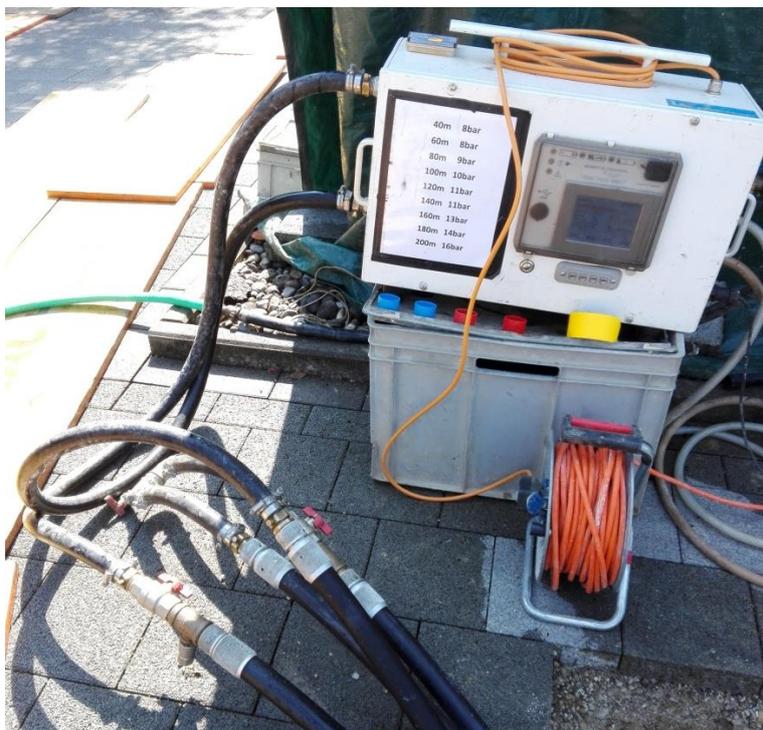


Figure 10 Appareil numérique de test de la pression pour le contrôle de qualité. Il est nécessaire de choisir une pression de test plus grande lorsque la profondeur de forage est grande.

Sur un chantier, il est difficile de remplir les conditions de test requises en utilisant un appareil de mesures analogue. Selon l'emplacement du forage, la pression d'eau et le débit peuvent varier, ce qui influence de manière importante la qualité et la pertinence des mesures. C'est pourquoi, on utilise de plus en plus des **instruments de mesures numériques**. L'avantage de ces instruments est que la mesure ne peut pas être manipulée et qu'elle se fait toujours dans les mêmes conditions. Pour le maître d'ouvrage, l'utilisation d'appareils de mesure numériques présente aussi la garantie que les processus et les conditions de mesures sont réalisés exactement selon la norme SIA 384/6. Le résultat des contrôles de qualité est consigné dans un protocole d'essai, qui est non modifiable, et qui doit être remis au maître d'ouvrage. Etant donné la forte valeur ajoutée liée à l'utilisation d'un appareil de mesures numérique (par opposition à un appareil de mesures analogue), pour effectuer les mesures, l'appareil numérique est présenté comme nécessaire, et non optionnel, dans le présent document.

## 5.5 Implantation de la sonde

Si la sonde n'est pas implantée à l'emplacement initialement prévu (planifié), le nouvel emplacement doit être relevé par le foreur, le géologue ou le chef de chantier. Ceci afin que les coordonnées précises du forage puissent être enregistrées dans le cadastre cantonal des forages, comme l'exigent aujourd'hui la plupart des cantons.

## 6 Élimination des résidus de forage

Les matériaux issus du forage sont généralement constitués d'un mélange boueux d'eau et de débris de roches, récupérés dans une benne de 7 à 40 m<sup>3</sup>. L'entreprise de forage est responsable de l'élimination adéquate de ces matériaux. La plupart du temps, la benne à boue est ensuite vidée grâce à un camion-citerne qui aspire le mélange boueux et l'achemine vers des presses à boue. Les matériaux issus du forage sont de moins en moins acceptés dans les décharges à ciel ouvert, car ils présentent des risques pour la décharge.

Dans le modèle d'appel d'offre, l'élimination des résidus de forage est indiquée en m<sup>3</sup>. Si de l'eau souterraine apparaît dans le forage, et que celle-ci ne peut pas être déversée dans les canalisations d'eaux usées, cette eau devra être éliminée avec les matériaux de forage. La quantité de matière à éliminer augmentera alors de manière importante. Si l'entreprise de forage propose un prix forfaitaire pour l'élimination des résidus de forage, il convient par conséquent de tenir compte d'une marge de sécurité. En revanche, si la facturation se fait en fonction des quantités effectives de matériaux éliminés, c'est le maître d'ouvrage qui porte le risque et qui doit s'acquitter des coûts réels. Dans le modèle d'appel d'offre, la facturation est réalisée selon les coûts effectifs, car il s'agit de l'option la plus équitable pour les deux parties.

Si l'entreprise de forage facture en fonction des quantités de matériaux éliminés, elle doit absolument indiquer dans son offre la quantité considérée. Sans quoi, les offres ne pourront pas être valablement comparées entre elles par rapport à cette prestation.

Les quantités à éliminer peuvent augmenter massivement si des eaux souterraines affluent dans le forage et sont ramenées à la surface par la circulation du mélange air comprimé-eau. Beaucoup de cantons autorisent que les eaux souterraines propres soient redirigées vers les canalisations d'eaux usées. Cela requiert cependant l'accord préalable du fontainier de la commune, ainsi que le passage par un bassin de décantation pour séparer l'eau et les boues de forage. Les eaux troubles ne doivent en aucun cas être redirigées dans les canalisations, sans quoi l'entreprise de forage pourrait faire l'objet d'une dénonciation.

## 7 Conduites de liaison et raccordement au collecteur

Le raccordement de la sonde géothermique à la pompe à chaleur est réalisé soit par l'entreprise de forage soit par un sous-traitant. La différence entre une construction nouvelle, ou le remplacement d'un système de chauffage existant, est non négligeable pour cette étape :

**Dans le cas d'une construction nouvelle**, on installe généralement, sous ou directement dans la dalle, une gaine, entre le forage et le local technique. Ceci permet de pénétrer très simplement dans la maison. Une autre solution serait que les sondes soient introduites, par carottage à travers un mur, directement dans le bâtiment en place. Les frais supplémentaires pour le prolongement de la sonde sont moindres du fait que les outils nécessaires pour les tranchées ou les carottages sont

pour la plupart déjà présents sur le chantier. Dans ce cas, une coordination appropriée du chef de chantier est alors requise.

**Dans le cas d'un remplacement de système de chauffage**, il faut généralement percer un trou à travers le mur du bâtiment, au niveau de l'accès du bâtiment. Pour cela, il faut creuser une tranchée depuis l'extérieur, en enlevant la couche supérieure (asphalte, pavés, gazon, etc), avant de pouvoir percer un passage au travers du mur. L'entreprise de forage peut soit réaliser ces travaux elle-même, soit mandater une tierce entreprise.

Chacun des 2 tuyaux d'arrivée et des 2 tuyaux de retour de la sonde géothermique sont raccordés avec un Y, connecté à une conduite d'arrivée et une conduite de retour. Ces deux conduites (la conduite d'arrivée et la conduite de retour) doivent être placées environ 80cm en dessous du terrain naturel de manière à ce qu'ils soient à l'abri du gel. De plus, elles doivent avoir un diamètre plus grand que les tuyaux de la sonde géothermique.



Figure 11 Les deux tuyaux d'arrivée et de retour des sondes sont connectés à l'aide d'un Y, et raccordés au collecteur à l'aide de conduites PE50

Lorsque les conduites passent à travers un mur, pour pénétrer dans le bâtiment, il convient d'analyser s'il est nécessaire ou pas de mettre en place une gaine étanche à l'eau et au gaz, autour des conduites.

Pour le remplissage du système de sondes, il faut mettre des raccords de remplissage et de vidange au niveau du collecteur.

## 8 Remplissage du circuit de circulation de la sonde avec un fluide caloporteur

Le fluide caloporteur utilisé, permettant le transport de la chaleur depuis le sous-sol vers la pompe à chaleur, est dans la plupart des cas un mélange d'eau et d'éthylène-glycol. Il est généralement constitué d'un mélange à 75% d'eau et à 25% d'éthylène-glycol. Ce mélange est antigel afin de s'assurer que la sonde ne gèle pas, même sous l'effet d'un important prélèvement de chaleur en hiver lorsque la température de restitution après la pompe à chaleur tombe en dessous de 0°C.

Il est aussi possible d'utiliser un **fluide caloporteur constitué à 100% d'eau**. Dans ce cas, cette option doit être prise en compte dès le début, car cela influe sur le dimensionnement des sondes. Les avantages de l'eau en tant que fluide caloporteur sont un meilleur coefficient de performance (COP), un meilleur pouvoir calorifique, et une économie financière liée au fait qu'il ne faut pas acheter d'antigel. De plus, l'eau est un fluide caloporteur naturellement respectueux de l'environnement. Pour être sûr que le dispositif est toujours exploité hors gel, les sondes doivent être plus longues.

Avant que la sonde ne soit remplie du fluide caloporteur, une purge complète doit être réalisée avec de l'eau. Le temps de purge minimale est fixé de manière à ce l'eau puisse réaliser une circulation complète dans le circuit de la sonde. Cette procédure est importante car elle permet l'évacuation de toutes les éventuelles particules de saleté présentes à l'intérieur du système. Après le remplissage avec le fluide caloporteur, l'installation doit être dégazée.

Après remplissage et dégazage de la sonde, un test de pression est effectué selon la norme SIA 384/6, pour garantir l'étanchéité dans les conduites d'alimentation.