

10
09

> Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol

*Aide à l'exécution destinée aux autorités d'exécution
et aux spécialistes de géothermie*



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

10
—
09

> Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol

*Aide à l'exécution destinée aux autorités d'exécution
et aux spécialistes de géothermie*

Valeur juridique de cette publication

La présente publication est une aide à l'exécution élaborée par l'OFEV en tant qu'autorité de surveillance. Destinée en premier lieu aux autorités d'exécution, elle concrétise des notions juridiques indéterminées provenant de lois et d'ordonnances et favorise ainsi une application uniforme de la législation. Si les autorités d'exécution en tiennent compte, elles peuvent partir du principe que leurs décisions seront conformes au droit fédéral. D'autres solutions sont aussi licites dans la mesure où elles sont conformes au droit en vigueur. Les aides à l'exécution de l'OFEV (appelées jusqu'à présent aussi directives, instructions, recommandations, manuels, aides pratiques) paraissent dans la collection «L'environnement pratique».

Impressum

Editeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)
L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Auteur

Walter J. Eugster*, Polydynamics Engineering, Zurich, représentant du Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur (GSP)

Groupe d'accompagnement

Riccardo Bernasconi, Büro Dr. R. Bernasconi, Sargans; Daniele Biaggi, Geotechnisches Institut, Berne; Hanspeter Gehring, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Zurich; Steve Hofer, Frutiger AG Tiefbohrungen, Uetendorf*; Eduard Jakob, Abteilung für Umwelt, Aarau; Paul-Otto Lutz, Amt für Umwelt, Herisau; Andreas Märki, Eberhard & Partner AG, Aarau; Michel Marrel, Service des Eaux, Sols, et Assainissement (SESA), Lausanne; Fabrice Rognon, Office fédéral de l'énergie (OFEN), Berne; Marc Schürch, Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne; Marc Wenger, B-I-G, Gümligen*; Frédéric Zuber, Service de la protection de l'environnement (SPE), Sion (* représentant du Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur (GSP), ° représentant de la Société Suisse pour la Géothermie (SSG)).

Conseiller OFEV

Section Protection des eaux souterraines

Référence bibliographique

OFEV 2009: Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol. Aide à l'exécution destinée aux autorités d'exécution et aux spécialistes de géothermie. L'environnement pratique n° 0910. Office fédéral de l'environnement, Berne, 51 p.

Traduction

Christian Marro, Haute-Nendaz

Graphisme, mise en page

Ursula Nöthiger, Uerkheim

Photo couverture

Benjamin Meylan, BAFU

Commande

OFEV
Centrale d'expédition
CH-3003 Berne
Fax +41 (0) 31 324 02 16
docu@bafu.admin.ch
www.environnement-suisse.ch/uv-0910-f

Numéro de commande: UV-0910-F
Cette publication est également disponible en allemand (UV-0910-D).

© OFEV 2009

> Table des matières

Abstracts	5
Avant-propos	7
Introduction	8

1	Réglementations et bases légales	9
1.1	Réglementations	9
1.2	Bases légales	9

2	Admissibilité et recommandations	11
2.1	Admissibilité	11
2.2	Recommandations	12

3	Sondes géothermiques	13
3.1	Problèmes posés à la protection des eaux par les sondes géothermiques	13
3.2	Evaluation du site	13
3.2.1	Périmètres dans lesquels les sondes géothermiques sont en principe admises (autorisation assortie d'obligations standard)	13
3.2.2	Périmètres dans lesquels des sondes géothermiques peuvent être admises moyennant certaines obligations spécifiques	13
3.2.3	Périmètres dans lesquels les sondes géothermiques ne sont pas admises	14
3.3	Obligations générales posées aux sondes géothermiques (obligations standard)	15
3.4	Obligations spécifiques	17

4	Circuits enterrés, corbeilles géothermiques, pieux énergétiques	18
4.1	Problèmes posés à la protection des eaux par les circuits enterrés et les corbeilles géothermiques ainsi que les pieux énergétiques et les autres éléments thermoactifs	18
4.2	Evaluation du site	18
4.3	Exigences	19

5	Exploitation de la chaleur des eaux souterraines	20
5.1	Problèmes posés à la protection des eaux par l'exploitation de la chaleur des eaux souterraines	20
5.2	Evaluation du site	20
5.2.1	Périmètres dans lesquels l'exploitation de la chaleur des eaux souterraines est en principe admise (autorisation assortie d'obligations standard)	20
5.2.2	Périmètres dans lesquels l'exploitation de la chaleur des eaux souterraines peut être admise moyennant certaines obligations spécifiques	21
5.2.3	Périmètres dans lesquels l'exploitation de la chaleur des eaux souterraines n'est pas admise	21
5.3	Obligations générales concernant l'exploitation de la chaleur des eaux souterraines (obligations standard)	21
5.4	Obligations spécifiques	23

Annexes	24
A1 Description du système	24
A2 Schémas	31
A3 Formulaires de demande d'autorisation	33
A4 Protocoles	41
A5 Indications à l'intention des maîtres d'ouvrages	45
A6 Liste des agents caloporteurs	46
A7 Exigences posées au remplissage des sondes géothermiques	47
A8 Recommandations concernant la procédure d'autorisation	48

Index	50
Glossaire	50
Figures	50
Tableaux	50
Bibliographie	51

> Abstracts

The Federal Government's implementation tool «Use of heat from soil and subsoil» is intended to ensure harmonisation of the approval practice for geothermal heat probes, groundwater heat pumps, soil recorders and geothermal energy cages and piles in Switzerland. It also defines the necessary conservation measures on the basis of ambient water protection legislation. This implementation tool does not cover deep geothermal bores because their approval must be considered on an individual basis. This implementation tool is primarily intended for the implementation authorities and specialists in geothermal energy use, but also for potential constructors.

Keywords:

borehole heat exchangers
groundwater heat pumps
horizontal loops
spiral ground heat exchangers
energy piles

Die Vollzugshilfe des Bundes «Wärmenutzung aus Boden und Untergrund» soll die Harmonisierung der Bewilligungspraxis für Erdwärmesonden, Grundwasserwärmepumpen, Erdregister, Erdwärmekörbe und Energiepfähle in der Schweiz sicherstellen. Zudem legt sie, gestützt auf die Gewässerschutzgesetzgebung, die erforderlichen Schutzmassnahmen fest. Nicht Gegenstand dieser Vollzugshilfe sind die tiefen Geothermiebohrungen, da deren Bewilligung individuell geprüft werden muss. Die Vollzugshilfe richtet sich primär an die Vollzugsbehörde und an Fachleute im Bereich Erdwärmenutzung aber auch an potenzielle Bauherrschaften.

Stichwörter:

Erdwärmesonde
Grundwasserwärmenutzung
Erdregister
Wärmekörbe
Energiepfähle

L'aide à l'exécution «Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol» vise à harmoniser l'octroi d'autorisations en faveur de sondes géothermiques, pompes à chaleur eau-eau, circuits enterrés, corbeilles géothermiques et pieux énergétiques en Suisse. Elle fixe également les mesures de protection à mettre en œuvre en vertu de la législation sur la protection des eaux. Mais elle ne porte pas sur la géothermie à grande profondeur, dont l'autorisation requiert un examen au cas par cas. Cette aide à l'exécution est destinée en premier lieu aux autorités d'exécution et aux spécialistes de l'énergie géothermique, ainsi qu'aux maîtres d'ouvrages intéressés.

Mots-clés:

sonde géothermique
pompe à chaleur eau-eau
circuits enterrés
corbeilles géothermiques
pieux énergétiques

L'obiettivo dell'aiuto all'esecuzione «Utilizzo del calore del suolo e del sottosuolo», pubblicato dalla Confederazione, è l'armonizzazione della procedura di autorizzazione per sonde geotermiche, pompe di calore geotermiche, circuiti interrati, canestri geotermici e pali energetici in Svizzera. Definisce inoltre le misure di protezione necessarie secondo la legge sulla protezione delle acque. Non sono oggetto di questo aiuto le perforazioni geotermiche di profondità, in quanto la relativa autorizzazione deve essere esaminata caso per caso. L'aiuto all'esecuzione è destinato in primo luogo alle autorità esecutive e agli specialisti del settore dell'energia geotermica nonché a potenziali committenti.

Parole chiave:

sonda geotermica,
pompa di calore
geotermica,
circuiti interrati,
canestro geotermico,
palo energetico

> Avant-propos

La production d'énergie à partir de ressources renouvelables, c'est le cas de l'énergie géothermique, revêt une grande importance pour la protection de notre environnement. L'utilisation de telles ressources contribue à limiter la consommation d'agents énergétiques fossiles, donc non renouvelables, tels le pétrole et le gaz naturel. Il en résulte aussi une diminution des émissions de CO₂.

Si l'importance de l'énergie géothermique n'est pas contestée par les milieux politiques, la construction et l'exploitation de telles installations doivent également tenir compte d'autres intérêts publics. L'exploitation de la chaleur terrestre peut représenter un certain danger pour l'environnement en général et pour les eaux souterraines en particulier. Il faut donc accorder une attention spéciale aux impératifs de la protection des eaux souterraines, notamment à l'alimentation en eau potable. La présente aide à l'exécution montre comment procéder – en appliquant les dispositions pertinentes de la législation sur la protection des eaux – pour respecter les exigences relatives aux eaux souterraines. Elle s'adresse en premier lieu aux autorités cantonales qui délivrent les autorisations portant sur l'extraction de chaleur dans le sol et le sous-sol, soit d'une manière générale aux services responsables de la protection des eaux. Elle est également destinée aux autorités communales s'occupant de l'utilisation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol, aux entreprises et aux spécialistes actifs dans le domaine de la géothermie (concepteurs, géologues, hydrogéologues, foreurs, installateurs, fabricants) et aux maîtres d'ouvrages intéressés.

Willy Geiger
Sous-directeur
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

> Introduction

La préservation des ressources en eau, soit la protection de leur qualité et de leur quantité, revêt une importance cruciale pour les générations à venir. L'exploitation de la chaleur terrestre peut menacer la qualité des eaux souterraines si les équipements géothermiques ne sont pas installés et exploités dans les règles de l'art. Aussi est-il impératif de les concevoir et de les réaliser avec grand soin.

La présente aide à l'exécution porte sur les exigences relatives à la protection des eaux devant être satisfaites par les installations qui exploitent la chaleur tirée du sol et du sous-sol. Les aspects purement techniques des sondes géothermiques et les critères d'assurance-qualité applicables aux sondes géothermiques sont traités dans la norme SIA 384/6 *sondes géothermiques*, élaborée parallèlement à la présente aide à l'exécution.

Le nombre d'installations extrayant la chaleur du sol, en particulier de sondes géothermiques, a considérablement augmenté depuis 1995. Dans ce contexte, il est très important de trouver des solutions durables, qui tiennent compte de l'évolution technique présente et future ainsi que des bases légales et des principes régissant actuellement la protection de l'environnement. Des solutions qui garantissent notamment une mise en œuvre aussi homogène que possible, à l'échelle de la Suisse, des modes d'exploitation les plus répandus. La présente aide à l'exécution a été élaborée dans ce but.

Elle remplace les *Directives pour l'exploitation de la chaleur au moyen de sondes géothermiques fermées* de 1994.

Cette aide à l'exécution a bénéficié d'une collaboration étroite entre l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), plusieurs services cantonaux, le Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur (GSP), la Société suisse de géothermie (SSG), des experts et des entreprises spécialisées.

Elle porte sur la partie enterrée de l'installation (à la source de chaleur). Les pompes à chaleur elles-mêmes et la répartition de la chaleur dans le bâtiment (circuit de chauffage) ne sont pas concernées par ce document.

1 > Réglementations et bases légales

1.1 Réglementations

La présente aide à l'exécution expose les exigences de la protection des eaux lorsque de la chaleur est prélevée dans le sol, le sous-sol et les eaux souterraines. Elle indique des solutions applicables aux cas usuels qui tiennent compte des impératifs de la protection des eaux et de l'exploitation des énergies renouvelables. Elle s'applique également par analogie à l'apport de chaleur. Les critères d'octroi d'autorisations et les aides à la décision présentés ici contribueront à harmoniser le traitement des demandes d'exploitation de la chaleur terrestre.

Les applications de la géothermie à grande profondeur ne sont pas concernées par cette aide à l'exécution. Elles sont peu courantes, si bien que chaque cas doit faire l'objet d'un examen détaillé, visant à déterminer sa faisabilité et à fixer les obligations et les conditions à respecter.

1.2 Bases légales

Au niveau fédéral, l'exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol est régie uniquement par les lois et ordonnances sur la protection des eaux. Sur le plan cantonal, les lois sur l'exploitation et sur la gestion des eaux sont applicables en sus du droit de la protection des eaux, notamment en ce qui concerne l'exploitation des eaux souterraines.

Les bases légales suivantes sont déterminantes:

Constitution fédérale de la Confédération suisse du 18 avril 1999 (Cst., RS 101)

En vertu de l'art. 76 Cst., la Confédération fixe les principes applicables à la conservation et à la mise en valeur des ressources en eau, à l'utilisation de l'eau pour la production d'énergie et le refroidissement, et à d'autres interventions dans le cycle hydrologique; en outre, elle légifère notamment sur la protection des eaux.

En vertu de l'art. 76, al. 4, ce sont les cantons qui disposent des ressources en eau. Il leur incombe donc d'autoriser l'exploitation de celles-ci en concédant des droits d'utilisation.

Loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20)

La loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux comprend un devoir général de diligence dans son art. 3: chacun doit s'employer à empêcher toute atteinte nuisible aux eaux en y mettant la diligence qu'exigent les circonstances.

- > L'art. 4, al. d, LEaux définit la notion de «pollution» comme étant notamment une altération nuisible des propriétés physiques de l'eau.
- > L'art. 6 LEaux interdit de polluer des eaux.
- > L'art. 19, al. 2, LEaux exige une autorisation cantonale pour les constructions, installations, fouilles, terrassements et autres travaux exécutés dans des secteurs particulièrement menacés, lorsqu'ils sont de nature à menacer les eaux.
- > L'art. 43, al. 3, LEaux interdit la création de communications permanentes entre des nappes souterraines si une telle intervention peut diminuer les réserves en eaux souterraines ou altérer leur qualité.

Les art. 19 (secteurs de protection des eaux), 20 (zones de protection des eaux souterraines), 21 (périmètres de protection des eaux souterraines) et 45 (exécution par les cantons) de la LEaux doivent également être pris en compte.

Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201)

L'art. 32 OEaux concrétise l'obligation, stipulée à l'art. 19, al. 2, LEaux, de disposer d'une autorisation pour les installations situées dans des secteurs particulièrement menacés qui présentent un danger pour les eaux. S'agissant en particulier des forages implantés dans des secteurs comprenant des nappes souterraines exploitables, l'art. 32 OEaux mentionne explicitement l'obligation de disposer d'une autorisation. Le requérant est tenu de prouver que les exigences de protection des eaux sont respectées. Le service cantonal concerné pose des obligations et des conditions; il fixe en outre les exigences relatives à la mise hors service des installations. Il refuse la demande, lorsque aucune protection suffisante des eaux ne peut être garantie.

L'art. 31 OEaux soumet la construction d'installations dans des secteurs comprenant des nappes souterraines exploitables à la prise de mesures de protection particulières. Il mentionne comme telles les mesures figurant à l'annexe 4, ch. 2, OEaux, ainsi que les dispositifs de surveillance, d'alarme et de piquet.

L'annexe 2, ch. 21, OEaux pose les exigences générales concernant la qualité des eaux souterraines. Selon l'al. 3, l'apport ou le prélèvement de chaleur ne doit pas modifier la température des eaux souterraines de plus de 3 °C par rapport à l'état naturel; les fluctuations de température localement très limitées sont réservées. L'al. 4 expose les exigences à respecter lors d'infiltration d'eaux à évacuer et l'al. 5 prescrit que les installations d'infiltration et le prélèvement d'eau doivent autant que possible ne pas endommager les couches de couverture protectrices ni modifier l'hydrodynamique au point d'entraîner des effets nuisibles sur la qualité de l'eau.

L'art. 29 (détermination des secteurs de protection des eaux et délimitation des zones de protection des eaux souterraines) et l'annexe 4 (mesures d'organisation du territoire relatives aux eaux) de l'OEaux doivent également être pris en compte.

2 > Admissibilité et recommandations

2.1 Admissibilité

Tab. 1 > Tableau de référence pour l'exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol

	ÜB ³	A _U	Z _U ¹	Péri	S3	S2	S1
Sondes géothermiques	+	b		-	-	-	-
Circuits enterrés et corbeilles géothermiques ⁴	+	+ ⁴		„2/4	„b/5/4/7	-	-
Pieux énergétiques et autres éléments thermoactifs	+	b		„2/4	„b	-	-
Puits de prélèvement et ouvrages de restitution pour l'utilisation des eaux souterraines à des fins de chauffage ou de refroidissement	+	b		-	-	-	-
Puits coaxiaux	„ ⁶	„ ⁶		-	-	-	-

Signification des signes et des indices

+	Sans problème du point de vue hydrogéologique; ne nécessite pas une autorisation au sens de l'art. 32 OEaux; le respect d'autres prescriptions légales reste réservé.
b	Admis de cas en cas par l'autorité compétente; nécessite une autorisation au sens de l'art. 32 OEaux.
+ ^b	En principe sans problème; nécessite une autorisation en vertu de l'art. 32 OEaux.
+ ⁿ	Sans problème du point de vue hydrogéologique, moyennant les restrictions figurant en remarque; nécessite une autorisation en vertu de l'art. 32 OEaux.
-	Interdit.
„ ^b	Interdit; l'autorité compétente peut accorder une dérogation après examen du cas particulier.
„ ⁿ	Interdit; l'autorité compétente peut octroyer des autorisations exceptionnelles après examen du cas particulier, en tenant compte de la remarque.
¹	Les cantons prescrivent les mesures à prendre dans les aires d'alimentation Zu. S'appliquent également les dispositions et restrictions relatives aux secteurs de protection des eaux et aux zones de protection des eaux souterraines auxquelles elles se superposent. Lorsqu'une aire d'alimentation est déterminée dans le karst ou dans des roches fissurées en lieu et place d'une zone S3, les dispositions prévues pour cette dernière s'appliquent, à l'exception de celles qui concernent l'extraction de matériaux et l'exploitation de chaleur tirée du sous-sol.
²	Exceptionnellement, l'autorité compétente peut autoriser la construction d'un bâtiment ou d'une installation sur un bien-fonds correspondant à une future zone S3, si les études hydrogéologiques réalisées permettent déjà de fixer les limites des futures zones de protection des eaux souterraines. Les ouvrages ou installations autorisés à titre exceptionnel sont soumis aux restrictions prescrites dans les zones prévues (annexe 4, ch. 23, al. 2, OEaux).
³	Il est recommandé aux cantons d'étendre au secteur ÜB l'obligation de bénéficier d'une autorisation.
⁴	Les installations doivent être aménagées à 2 m au moins au-dessus du niveau piézométrique maximum des eaux souterraines.
⁵	Pas de pompe à chaleur à expansion directe. Les pertes de liquides doivent être faciles à détecter.
⁶	Les puits coaxiaux (systèmes semi-ouverts) peuvent s'avérer très dangereux pour les eaux souterraines. A la menace pesant directement sur l'exploitation des aquifères vient s'ajouter la formation de nouveaux cheminements d'eau verticaux, dont le tracé est incontrôlable, par défaut d'étanchéité le long des forages. Lorsque des puits coaxiaux sont mis en œuvre, des essais géophysiques et hydrologiques doivent fournir la preuve qu'il ne peut y avoir aucun transfert d'eau entre le terrain et le trou de forage, ni dans un sens, ni dans l'autre. Sinon, ils ne sont pas autorisés.
⁷	En zone S3, lorsque les circuits enterrés et les corbeilles géothermiques se trouvent dans le sol et non dans le sous-sol, une autorisation peut en principe être accordée.

Lorsque des sondes géothermiques, des circuits enterrés, des corbeilles géothermiques, des pieux énergétiques et d'autres éléments thermoactifs retirent de la chaleur d'un aquifère ou lui en apportent, le canton peut soumettre ces installations à une concession.

L'exploitation de la chaleur des eaux souterraines nécessite une concession inhérente à l'économie des eaux, en plus de l'autorisation au sens de la loi sur la protection des eaux. Un permis de construire délivré par la commune peut aussi être exigé.

2.2 Recommandations

Il est recommandé aux cantons d'établir des *cartes synoptiques de l'exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol*. Les systèmes d'extraction de chaleur (sondes géothermiques, pompes à chaleur eau-eau, circuits enterrés, etc.) admis dans les différents périmètres y seront précisés. Les périmètres requérant des études supplémentaires seront également désignés.

Les données géologiques et hydrogéologiques désormais accessibles aux offices concernés seront régulièrement interprétées et les périmètres adaptés en conséquence. Il est en outre recommandé aux cantons de veiller au respect des dispositions sur la protection des eaux et des obligations énoncées en procédant à des contrôles rapprochés durant les travaux.

Il est également recommandé aux cantons d'élaborer les principes d'une gestion régionale des eaux souterraines, qui régiront par exemple la détermination et la création d'installations centralisées de prélèvement et de restitution d'eaux souterraines dans les plans de zones communaux.

Les cantons tiennent un cadastre des forages autorisés.

3 > Sondes géothermiques

3.1 Problèmes posés à la protection des eaux par les sondes géothermiques

Les sondes géothermiques peuvent créer des cheminements de la surface au sous-sol ou inversement du sous-sol à la biosphère et provoquer ainsi des liaisons indésirables entre des niveaux aquifères revêtant des propriétés différentes. La mise en œuvre de sondes géothermiques présente également un danger pour les eaux souterraines par le forage et durant le remplissage du trou.

3.2 Evaluation du site

3.2.1 Périmètres dans lesquels les sondes géothermiques sont en principe admises

(autorisation assortie d'obligations standard)

Périmètres peu ou pas propices à l'exploitation d'eau potable, dans lesquels tout danger pour les eaux peut être exclu selon toute vraisemblance (aucun site pollué ni danger de nature géogène occasionné par du gaz naturel, des schistes bitumineux, des formations fluantes, des glissements de terrain, etc.):

1. secteurs üB
2. périmètres sans eaux souterraines attenants au secteur A_U de protection des eaux

Les obligations standard applicables à ces périmètres sont exposées au chapitre 3.3.

3.2.2 Périmètres dans lesquels des sondes géothermiques peuvent être admises moyennant certaines obligations spécifiques

Périmètres, dans lesquels on peut selon toute vraisemblance exclure un danger pour les eaux en énonçant des obligations spécifiques:

1. périmètres comprenant des aquifères peu épais (techniquement inexploitable pour l'alimentation en eau potable) situés dans un secteur A_U de protection des eaux.
2. périmètres urbains situés à l'intérieur de la partie exploitable d'un secteur A_U de protection des eaux qui ne peuvent pas être exploités pour l'alimentation en eau potable.

3. périmètres comprenant des aquifères superposés
→ Dans les périmètres comprenant plusieurs aquifères superposés, l'implantation de sondes géothermiques n'est généralement pas indiquée.
4. périmètres comprenant des eaux souterraines artésiennes
→ Dans les périmètres comprenant des eaux souterraines *artésiennes*, l'implantation de sondes géothermiques n'est généralement pas indiquée.
5. périmètres comprenant des nappes souterraines très minéralisées
→ Dans les périmètres comprenant des nappes souterraines très minéralisées, l'implantation de sondes géothermiques n'est généralement pas indiquée.
6. périmètres dans lesquels la constitution géologique ou hydrogéologique du sous-sol est insuffisamment connue et périmètres localement karstifiés ou fissurés.
7. périmètres équipés d'installations souterraines.
8. périmètres posant vraisemblablement des problèmes géogènes importants (p. ex. gaz naturel, schistes bitumineux, formations fluantes).
9. sites pollués, pour autant que les conditions figurant à l'art. 3 de l'ordonnance sur les sites contaminés soient satisfaites.

Les obligations spécifiques à ces périmètres figurent au chapitre 3.4.

3.2.3 Périmètres dans lesquels les sondes géothermiques ne sont pas admises

1. ressources en eau servant ou pouvant servir à l'alimentation en eau potable, à l'exception des périmètres mentionnés aux chiffres 3.2.1 et 3.2.2;
2. zones de protection des eaux souterraines;
3. périmètres de protection des eaux souterraines;
4. périmètres présentant une perméabilité très élevée (p.ex. cavités karstiques ou fissures fréquentes);
5. zones en glissement.

3.3

Obligations générales posées aux sondes géothermiques
(obligations standard)

1. Les sondes géothermiques seront conçues et installées conformément à la norme SIA 384/6.
2. La profondeur des forages doit être choisie de manière à respecter les limites d'application des matériaux introduits dans les trous de forages et garantir un remplissage parfait de ceux-ci.
3. La date d'exécution des forages sera communiquée à l'autorité qui a délivré l'autorisation et au géologue compétent avant le début des travaux de forage.
4. Seuls des engins et des procédés de forage adaptés au sous-sol local sont autorisés. On s'assurera que l'engin de forage et le personnel affecté au forage répondent aux obligations particulières et soient équipés pour faire face aux situations exceptionnelles. Seules sont autorisées les entreprises de forage appliquant les techniques les plus récentes (p. ex. entreprises bénéficiant du certificat de qualité GSP pour entreprises de forages de sondes géothermiques verticales). Il faut comprendre par là des foreurs bien formés, attentifs aux dispositions légales et instruits des difficultés qu'ils risquent de rencontrer et des mesures à prendre en cas d'urgence, des équipements et des moyens pour prévenir les accidents et pour y remédier, des installations adéquates pour l'entreposage des substances utilisées et pour l'évacuation des déchets produits sur le chantier.
5. L'engin de forage doit être équipé de tout le matériel nécessaire pour intervenir en cas de situation exceptionnelle. On accordera une attention particulière aux aquifères captifs et aux intrusions de gaz. Les matériaux utilisés doivent être adaptés à l'engin et au procédé de forage. Le déroulement chronologique des forages sera consigné par écrit par le chef d'équipe.
6. Si des eaux souterraines sont atteintes, l'entreprise de forage en informe immédiatement le géologue compétent et le service cantonal en charge de la protection des eaux, avant d'installer la sonde géothermique. Il en va de même dans toutes les autres circonstances susceptibles d'exercer un impact sur l'environnement, telles qu'intrusions de gaz, rencontre de cavités, de sites pollués ou de schistes bitumineux.
7. Dans le cas de forage à la boue, seuls des additifs sans danger pour l'environnement sont admis.
8. Lors des travaux d'excavation et de forage, il faut veiller à ce que les machines de chantier soient équipées de manière à éviter tout égouttage ou perte de carburant ou de lubrifiant. Les accidents concernant des substances susceptibles de polluer les eaux seront annoncés immédiatement à l'autorité en charge de la protection des eaux ou à la police si les substances écoulées ne peuvent pas être retenues par des moyens simples.
9. L'eau et la boue de forage récupérées doivent être éliminées conformément aux principes de la protection des eaux et de l'environnement, selon les instructions de la commune (d'après la norme SIA 431 et l'OTD). L'évacuation de l'eau usée doit

Phases de conception
et de construction

faire l'objet d'une autorisation communale. Elle transitera par un bassin de décantation suffisamment grand avant d'être déversée. La qualité des eaux à évacuer doit satisfaire aux dispositions de l'ordonnance sur la protection des eaux (annexe 3.3, ch. 23, OEaux).

10. Des échantillons du sous-sol seront prélevés selon les instructions de l'autorité cantonale qui a délivré l'autorisation pour permettre de lever le profil du forage. Il y a lieu de consigner ses caractéristiques hydrogéologiques. A l'issue des travaux, le chef d'équipe établira un protocole de forage complet conformément à la norme SIA 384/6 (annexe A4-1). Ce protocole sera remis au mandant pour qu'il le transmette à l'autorité compétente.

11. Les réseaux de tuyaux enterrés doivent être durables et résistants à la corrosion. Ils sont généralement constitués de matériaux plastiques. Tous les raccords enterrés, y compris le raccordement aux conduites de distribution, seront inséparables et résistants à la corrosion. La partie enterrée doit être homologuée pour les pressions qu'elle subira et soumise à une épreuve de pression. Les résultats de l'essai seront consignés dans un protocole d'essai et de réception conforme à la norme SIA 384/6 (annexe A4-2). Ce protocole sera remis au mandant pour qu'il le transmette à l'autorité compétente.

12. Aussitôt que la sonde géothermique est en place, le trou de forage est rempli complètement et sans discontinuité, du fond jusqu'à la surface, en injectant une suspension durcissante et non gélive. Pour ce faire, on utilisera un tuyau distinct, fixé au pied de la sonde, qui restera dans le trou de forage. Les valeurs indicatives figurant à l'annexe A7 sont applicables pour obtenir une suspension appropriée.

La quantité de suspension injectée doit être notée. Si elle dépasse le double du volume du trou de forage, il faut interrompre le remplissage et informer l'autorité compétente.

13. Lorsqu'un forage échoue avant la mise en place de la sonde, il faut remplir le trou de forage jusqu'au niveau du terrain en y injectant un matériau durablement étanche. Si la sonde est déjà en place, elle sera aussi entièrement noyée dans un matériau durcissant.

14. Seuls des liquides caloporteurs sans danger pour les eaux sont admis (voir annexe A6).

Phase d'exploitation

15. Tous les systèmes fermés enterrés doivent être munis de dispositifs automatiques de surveillance des fuites. En cas de fuite, la pompe de circulation se déclenche immédiatement et un signal de dysfonctionnement est émis. L'exploitant de l'installation est tenu de contrôler régulièrement si du liquide caloporteur s'en échappe. Dans ce cas, l'installation sera immédiatement mise hors service. Les défauts seront corrigés.

16. Lorsque de tels systèmes sont mis hors service, il faut vidanger le liquide caloporteur et l'éliminer de manière appropriée. Puis la sonde est entièrement noyée dans un matériau durcissant non gélif. L'autorité cantonale qui délivre les autorisations précisera les exigences applicables à la mise hors service.

Mise hors service

3.4

Obligations spécifiques

A l'intérieur des périmètres dans lesquels les obligations standard de protection des eaux souterraines sont insuffisantes, le canton peut définir des obligations supplémentaires (chapitre 3.2.2):

1. périmètres comprenant des aquifères peu épais situés dans un secteur A_U de protection des eaux
 - insertion d'un tubage permanent ou d'obturateurs, ou cimentation sous pression, selon les instructions de l'autorité ou du géologue mandaté;
2. périmètres urbains situés à l'intérieur de la partie exploitable d'un secteur A_U de protection des eaux, qui ne peuvent pas être exploités pour l'alimentation en eau potable.
 - limitation du nombre de sondes et/ou de leur profondeur et/ou du prélèvement de chaleur pour restreindre au maximum leur influence sur les nappes souterraines;
 - insertion d'un tubage permanent ou d'obturateurs, ou cimentation sous pression, selon les instructions de l'autorité ou du géologue mandaté;
 - utilisation d'eau comme liquide caloporteur (sans ajout d'antigel)
3. périmètres comprenant des aquifères superposés
 - limitation de la profondeur des sondes pour garantir que le forage se limite au niveau souterrain faisant l'objet de l'autorisation d'exploiter;
4. périmètres comprenant des eaux souterraines artésiennes:
 - limitation de la profondeur des sondes pour éviter que l'aquifère concerné ne soit perforé;
 - prévention de tout court-circuit hydraulique en appliquant un tubage permanent ou des obturateurs, ou en procédant à une cimentation sous pression, selon les instructions de l'autorité ou du géologue mandaté;
5. périmètres comprenant des nappes souterraines très minéralisées
 - limitation de la profondeur des sondes pour éviter que l'aquifère concerné ne soit perforé;
 - protection anticorrosion, adaptation de la composition des matériaux de remplissage aux eaux agressives.
6. périmètres dans lesquels la constitution géologique ou hydrogéologique du sous-sol est insuffisamment connue et périmètres localement karstifiés ou fissurés:
 - investigations hydrogéologiques supplémentaires.
7. périmètres déjà équipés d'installations souterraines
 - limitation de la profondeur des sondes pour éviter que ces installations ne soient menacées
8. périmètres posant vraisemblablement des problèmes géogènes importants (p. ex. gaz naturel, schistes bitumineux, formations fluantes)
 - limitation de la profondeur des sondes pour éviter de perforer ces formations
9. sites pollués
 - mesures empêchant que des polluants ne pénètrent dans les eaux souterraines (p. ex. insertion d'un tubage permanent)

4 > Circuits enterrés, corbeilles géothermiques, pieux énergétiques

4.1 Problèmes posés à la protection des eaux par les circuits enterrés et les corbeilles géothermiques ainsi que les pieux énergétiques et les autres éléments thermoactifs

En règle générale, les circuits enterrés et les corbeilles géothermiques ainsi que les pieux énergétiques et les autres éléments thermoactifs ne posent pas de problème à la protection des eaux souterraines lorsqu'une distance de 2 m avec le niveau piézométrique le plus élevé que la nappe d'eau souterraine puisse atteindre est respectée. Les pieux énergétiques en contact avec les eaux souterraines sont traités – dans la mesure où ils peuvent être admis – comme des constructions situées dans un aquifère, conformément à la législation sur la protection des eaux.

Les circuits enterrés avec évaporation directe présentent, en raison des huiles lubrifiantes y circulant, plus de risques pour les eaux que les installations à saumure. C'est pourquoi on n'y recourra qu'en dernier lieu.

4.2 Evaluation du site

Pour autant qu'il y ait une distance d'au moins 2 m jusqu'au niveau piézométrique le plus élevé que la nappe puisse atteindre, l'installation de *circuits enterrés et de corbeilles géothermiques* ne nécessite pas d'autorisation au sens de la loi sur la protection des eaux, ni dans les secteurs A_U de protection des eaux, ni dans les secteurs üB, à moins que les cantons n'en disposent autrement. En zone S3, une autorisation est en revanche requise en vertu de l'art. 32 OEaux. Lorsque les circuits enterrés et les corbeilles géothermiques se trouvent dans le sol et non dans le sous-sol, une autorisation peut en principe être accordée en zone S3.

Les pieux énergétiques et les autres éléments thermoactifs sont généralement traités dans le cadre de la procédure ordinaire d'octroi de permis de construire applicable aux pieux de fondation. L'installation et l'exploitation de pieux énergétiques dans un secteur A_U de protection des eaux nécessite une autorisation au sens de l'art. 32 OEaux. En zone S3, ils peuvent être admis de cas en cas par l'autorité compétente si l'on peut garantir que l'eau potable ne subira aucune atteinte.

4.3

Exigences

Lors des travaux d'excavation, il faut veiller à ce que les machines de chantier soient équipées de manière à éviter tout égouttage ou perte de carburant ou de lubrifiant. Les accidents concernant des substances susceptibles de polluer les eaux seront annoncés immédiatement à l'autorité en charge de la protection des eaux ou à la police si les substances écoulées ne peuvent pas être retenues par des moyens simples.

Phases de conception
et de construction

L'eau et la boue de forage récupérées doivent être éliminées conformément aux principes de la protection des eaux et de l'environnement, selon les instructions de la commune (d'après la norme SIA 431 et l'OTD). L'évacuation de l'eau usée doit faire l'objet d'une autorisation communale. Elle transitera par un bassin de décantation suffisamment grand avant d'être déversée. La qualité des eaux à évacuer doit satisfaire aux dispositions de l'ordonnance sur la protection des eaux (annexe 3.3, ch. 23, OEaux).

Les réseaux de tuyaux enterrés doivent être durables et résistants à la corrosion. Ils sont généralement constitués de matériaux plastiques. Tous les raccords enterrés, y compris le raccordement aux conduites de distribution, seront inséparables et résistants à la corrosion. La partie enterrée doit être homologuée pour les pressions qu'elle subira et soumise à une épreuve de pression. Les résultats de l'essai seront consignés dans un protocole d'essai et de réception conforme à la norme SIA 384/6 (annexe A4-2). Ce protocole sera remis au mandant pour qu'il le transmette à l'autorité compétente.

Seuls des liquides caloporteurs sans danger pour les eaux sont admis (voir annexe A6). Cela s'applique par analogie aux installations à évaporation directe, au cas où celles-ci sont admises par les cantons: elles ne devraient fonctionner, dans la mesure du possible, qu'avec des agents réfrigérants naturels; la proportion d'huile lubrifiante sera aussi faible que la technique le permet.

Phase d'exploitation
et mise hors service

Tous les systèmes fermés enterrés doivent être munis de dispositifs automatiques de surveillance des fuites. En cas de fuite, la pompe de circulation se déclenche immédiatement et un signal de dysfonctionnement est émis. L'exploitant de l'installation est tenu de contrôler régulièrement si du liquide caloporteur s'en échappe. Dans ce cas, l'installation sera immédiatement mise hors service. Les défauts seront corrigés.

Lorsque de tels systèmes sont mis hors service, il faut vidanger le liquide caloporteur et l'éliminer de manière appropriée. L'autorité cantonale qui délivre les autorisations précisera les exigences applicables à la mise hors service.

Mise hors service

5 > Exploitation de la chaleur des eaux souterraines

5.1 Problèmes posés à la protection des eaux par l'exploitation de la chaleur des eaux souterraines

L'exploitation d'aquifères à des fins de chauffage ou de refroidissement présente un risque pour la qualité des eaux souterraines lorsque la construction et l'exploitation des installations ne sont pas appropriées. Des polluants peuvent emprunter le dispositif de restitution pour atteindre les eaux souterraines sans qu'on le remarque, en cas de défaut dans le système ou d'accident concernant des liquides pouvant polluer les eaux.

Compte tenu de l'intérêt public prépondérant, les différents besoins seront soigneusement évalués (pesée des intérêts). Les installations devront impérativement être construites et entretenues de manière appropriée. On privilégiera les grandes installations centralisées.

5.2 Evaluation du site

5.2.1 Périmètres dans lesquels l'exploitation de la chaleur des eaux souterraines est en principe admise (autorisation assortie d'obligations standard)

Périmètres peu ou pas propices à l'exploitation d'eau potable, dans lesquels tout danger pour les eaux peut être exclu selon toute vraisemblance (aucun site pollué ni danger dû à des crues):

1. secteurs de protection des eaux üB, tels que périmètres comprenant un aquifère de qualité naturellement insuffisante pour l'alimentation en eau potable;
2. périmètres comprenant des aquifères peu épais (techniquement inexploitable pour l'alimentation en eau potable) situés dans un secteur A_U de protection des eaux;
3. périmètres urbains situés à l'intérieur de la partie exploitable d'un secteur A_U de protection des eaux qui ne peuvent pas être exploités pour l'alimentation en eau potable.

Les obligations standard applicables à ces périmètres sont exposées au chapitre 5.3.

5.2.2 Périmètres dans lesquels l'exploitation de la chaleur des eaux souterraines peut être admise moyennant certaines obligations spécifiques

1. périmètres comprenant des aquifères superposés;
2. périmètres dans lesquels la constitution géologique ou hydrogéologique du sous-sol est insuffisamment connue;
3. périmètres exposés à un danger de crue;
4. périmètres à densité élevée d'exploitation des eaux souterraines;
5. périmètres équipés d'installations souterraines;
6. périmètres comprenant des nappes souterraines très minéralisées;
7. sites pollués

5.2.3 Périmètres dans lesquels l'exploitation de la chaleur des eaux souterraines n'est pas admise

1. zones de protection des eaux souterraines;
2. périmètres de protection des eaux souterraines;
1. périmètres comprenant des eaux souterraines artésiennes.

5.3 Obligations générales concernant l'exploitation de la chaleur des eaux souterraines (obligations standard)

1. L'eau doit être prélevée au moyen d'une installation comprenant un regard étanche aux dimensions minimales suivantes (voir annexe A2-1):
 - diamètre: 1,0 m
 - profondeur: 1,5 m
 - surélévation au-dessus du terrain avoisinant: 0,3 m – ou application d'un couvercle étanche et installation d'un puisard pour la pompe.

Le regard doit être muni d'un couvercle verrouillable marqué (mention «Eau souterraine») et d'un sol étanche comprenant un puisard pour la pompe et pour le nettoyage. Le passage des conduites d'entrée et de sortie, à travers le fond du regard, sera équipé d'un manchon étanche. Le puits filtrant doit être constitué de matériau durable et résistant à la corrosion (p. ex. matière plastique telle que PVC).
2. L'eau doit être restituée par une installation distincte (puits d'infiltration, galerie d'infiltration ou puits d'injection), en respectant l'ordre de priorité suivant:
 - infiltration diffuse dans la zone non saturée située sous la couche de couverture (galerie d'infiltration);
 - infiltration ponctuelle dans la zone non saturée située sous la couche de couverture (puits d'infiltration);
 - infiltration directe dans la zone saturée située sous la couche de couverture (puits d'injection).

Le regard sera exécuté, par analogie, en respectant les directives exposées au point 1 (voir annexe A2-2). Le couvercle portera la mention «Infiltration».

Phases de conception
et de construction

-
- | | |
|---|----------------------|
| 3. L'eau utilisée doit être restituée dans son intégralité, sans avoir été polluée, dans l'aquifère où elle a été prélevée. Si ce n'est pas possible, l'eau sera restituée dans l'émissaire correspondant. | |
| 4. L'installation de restitution ne devra en aucun cas recevoir des eaux météoriques, sous réserve de dispositions autres précisées dans la concession. | |
| 5. Les regards doivent toujours être accessibles pour les contrôles périodiques requis. | |
| 6. Seules des pompes d'alimentation lubrifiées à l'eau sont admises. | |
| 7. L'ensemble du système de prélèvement et de restitution d'eau doit être fermé. L'autorité cantonale précisera les installations qui doivent comprendre un circuit intermédiaire (entre l'eau souterraine et la destination de la chaleur). | |
| 8. Les autorisations pour les installations exploitant la chaleur des eaux souterraines par pompage nécessitent un rapport hydrogéologique préalable. Celui-ci décrira l'extension, l'épaisseur, la perméabilité et la productivité de l'aquifère, ainsi que la courbe de température, la direction d'écoulement, la vitesse d'écoulement et le chimisme des eaux souterraines. Les effets possibles sur des installations voisines seront aussi étudiés (annexe A3-3). | |
| 9. L'apport ou le prélèvement de chaleur ne doit pas modifier la température des eaux souterraines de plus de 3 °C par rapport à l'état naturel. La variation peut être supérieure à 3 °C aux alentours immédiats, soit dans un rayon de 100 m au maximum. | |
| 10. Contrôle périodique des puits (au moins tous les quatre ans) | Phase d'exploitation |
| 11. La régénération d'un puits exploitant un aquifère doit bénéficier d'une autorisation au sens de la loi sur la protection des eaux si des produits chimiques sont utilisés. | |
| 12. Lorsqu'une installation visant à exploiter la chaleur des eaux souterraines est mise hors service, le puits de pompage et le puits de restitution (infiltration) doivent être comblés de manière appropriée. L'autorité cantonale qui délivre les autorisations précisera les exigences applicables à la mise hors service. | Mise hors service |

5.4

Obligations spécifiques

1. Périmètres comprenant des aquifères superposés
 - limitation de la profondeur des forages pour éviter que l’aquifère inférieur ne soit perforé.
2. périmètres dans lesquels la constitution géologique ou hydrogéologique du sous-sol est insuffisamment connue
 - réalisation des investigations nécessaires.
3. périmètres exposés à un danger de crue
 - surélévation des regards (puits de pompage et de restitution) adaptée à la situation.
4. périmètres à densité élevée d’exploitation des eaux souterraines
 - détermination de la chaleur pouvant encore être prélevée sans concurrencer les utilisations existantes.
5. périmètres équipés d’installations souterraines
 - limitation de la profondeur des forages pour éviter que ces installations ne soient menacées.
6. périmètres comprenant des nappes souterraines très minéralisées
 - restitution dans la formation dont on a retiré l’eau.
7. sites pollués
 - mise en œuvre de mesures empêchant la mobilisation des polluants;
 - restitution de l’eau dans le sous-sol non pollué.

> Annexes

A1 Description du système

A1-1 Qu'est-ce que la chaleur terrestre?

La chaleur terrestre est l'énergie stockée sous forme de chaleur sous la surface solide de la Terre. Elle provient principalement du flux de chaleur dirigé de l'intérieur de la Terre vers sa superficie et de l'énergie calorifique rayonnée par le soleil. Le flux de chaleur terrestre est notamment dû à l'énergie libérée lors de la formation de la Terre et à celle qui est dégagée par la désintégration d'isotopes radioactifs. Au-dessous de la tranche influencée par le rayonnement solaire, soit à plus de 20 m du sol, la température croît en moyenne de 3 °C par 100 m de profondeur.

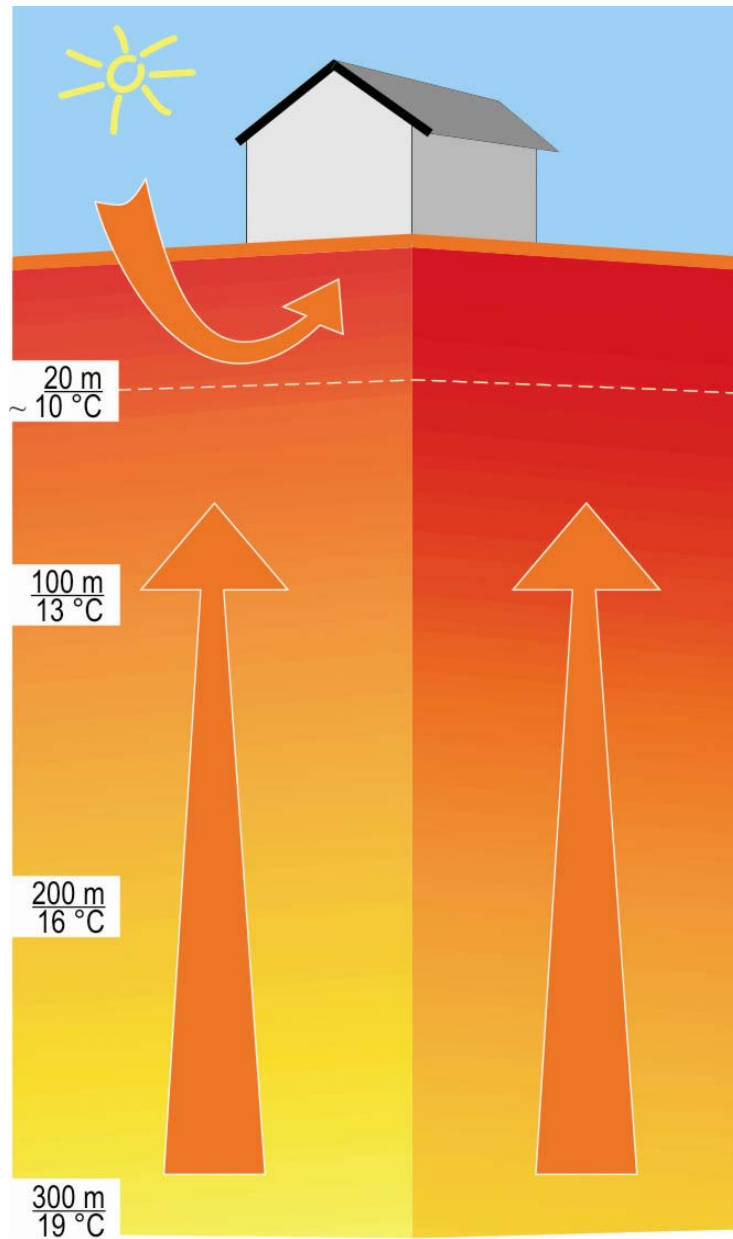
L'exploitation de l'énergie géothermique vise principalement à transporter de la chaleur des profondeurs à la surface de la Terre en utilisant des technologies appropriées. Dans certaines régions, cela se produit naturellement (p.ex. sources thermales) ou à l'occasion d'un ouvrage construit dans un autre but (p.ex. eaux drainées par des tunnels). Mais dans la grande majorité des cas, la chaleur terrestre doit être extraite au moyen d'installations techniques (p.ex. forages) et transportée à la surface par un fluide (p.ex. système de circulation d'eau).

En règle générale, plus la température qu'on veut atteindre est élevée, plus il faut forer profondément.

En Suisse, la chaleur terrestre est le plus souvent exploitée à l'aide de pompes à chaleur. La source calorifique est le sous-sol. On recourt généralement à l'installation de sondes géothermiques ou de capteurs horizontaux. L'utilisation directe (sans pompe à chaleur) est possible si la température exploitée correspond exactement à la température requise par l'usage prévu.

Fig. 1 > Zones d'influence des flux de chaleur solaire et terrestre

Au-dessous de 20 mètres, la température croît continuellement. Les températures mentionnées sont des valeurs indicatives, qui peuvent varier de cas en cas.



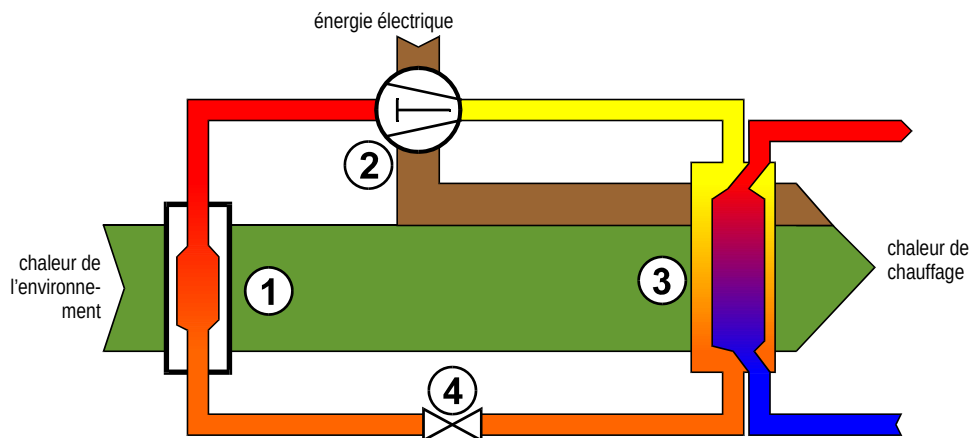
A1-2 Comment fonctionne une pompe à chaleur?

Une pompe à chaleur est un appareil qui réchauffe la chaleur prélevée au départ dans l'environnement. Les pompes à chaleur servent à chauffer des bâtiments, à préparer de l'eau chaude et à toutes sortes de procédés industriels.

Les pompes à chaleur recourent au même principe que les réfrigérateurs et les congélateurs. La différence réside uniquement dans le mode d'exploitation. Dans un réfrigérateur, la chaleur est extraite de l'intérieur et transmise à l'extérieur, alors qu'elle est «pompée» d'un milieu extérieur vers l'intérieur d'un bâtiment dans le chauffage au moyen d'une pompe à chaleur.

Fig. 2 > Schéma de principe d'une pompe à chaleur

- 1: dans l'évaporateur, l'agent réfrigérant à basse température prélève de l'énergie à la source de chaleur (p. ex. sonde géothermique) et s'évapore;
- 2: le compresseur comprime, en utilisant de l'énergie électrique, l'agent réfrigérant à l'état de vapeur, ce qui le réchauffe;
- 3: dans le condenseur, l'agent réfrigérant à l'état de vapeur «à haute température» transmet son énergie thermique au système de chauffage, ce qui le fait retourner à l'état liquide (condensation);
- 4: à la soupape de détente, l'agent réfrigérant se détend et sa température s'abaisse encore. Puis le cycle reprend à l'évaporateur.



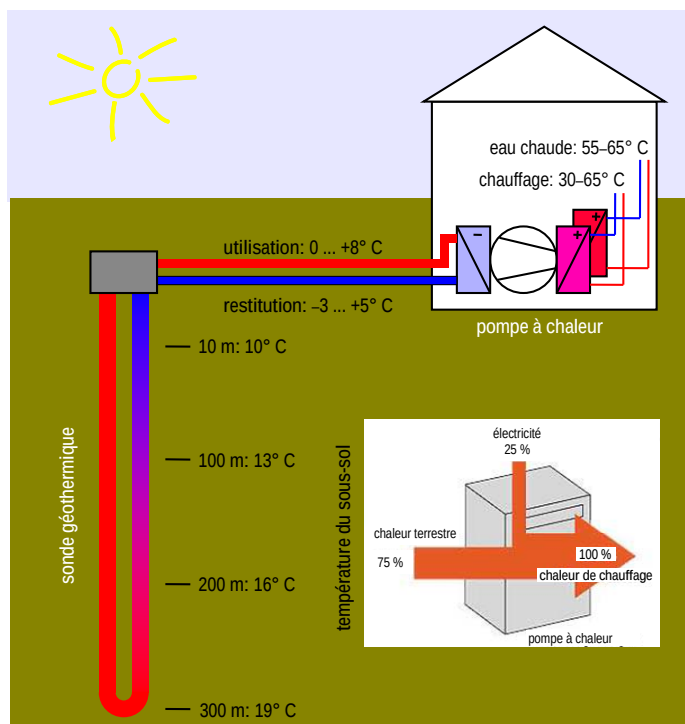
A1-3 Fonctionnement des sondes géothermiques

Les sondes géothermiques sont installées dans des forages de l'ordre de 100 m à 400 m de profondeur, pour un diamètre jusqu'à 160 mm. Elles se composent généralement de couples de tubes en U en matière plastique, qui sont connectés à une pompe à chaleur par un circuit collecteur proche de la surface. L'installation comprend donc trois circuits distincts:

1. le circuit de la source de chaleur, rempli d'un fluide caloporteur;
2. le circuit de travail de la pompe à chaleur, rempli d'un agent réfrigérant;
3. le circuit d'exploitation du système de chauffage.

Fig. 3 > Schéma de principe d'une sonde géothermique, avec indication des températures dans le sous-sol et à l'intérieur du système

Les températures mentionnées sont des valeurs indicatives, qui peuvent varier de cas en cas.



Capables de produire de la chaleur ou du froid, les sondes géothermiques peuvent servir au chauffage ou au refroidissement. Le fonctionnement du circuit de la source de chaleur et du circuit d'exploitation nécessite des pompes de circulation.

L'espace entre les tubes en U et les parois du forage qui subsiste lorsque les sondes ont été installées est entièrement rempli d'un coulis d'injection composé de bentonite et de ciment. Ce procédé permet, d'une part, d'assurer la liaison thermique entre les sondes et le sous-sol et, d'autre part, d'empêcher la modification des écoulements souterrains. Pour des raisons de protection des eaux souterraines, la mise en communication d'aquifères superposés ainsi que l'introduction depuis la surface de liquides pouvant polluer les eaux sont interdits par la loi.

Si l'installation est correctement dimensionnée et utilisée, l'exploitation d'une pompe à chaleur influence très peu l'équilibre thermique du terrain. La régénération du sous-sol est principalement assurée par conduction calorifique, ainsi que par transport de chaleur via la nappe dans la tranche saturée du sous-sol.

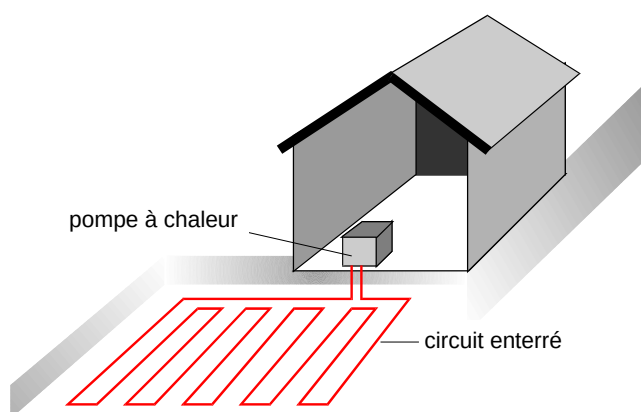
Les *tubes thermiques* constituent un cas particulier de sondes géothermiques. Il s'agit de tubes métalliques simples, fermés, généralement gainés de matériaux plastiques, qui sont remplis d'un fluide caloporteur (p. ex. CO₂ ou ammoniac), ce qui permet de les

exploiter sans pompage. Comme les sondes géothermiques, les tubes thermiques fonctionnent en circuit fermé et sont introduits dans le sous-sol en pratiquant un forage. Ils ne sont généralement utilisables que comme source de chaleur.

A1-4 **Fonctionnement des circuits enterrés, des corbeilles géothermiques et des pieux énergétiques**

Dans le cas des *circuits enterrés*, les tuyaux en matière plastique servant au transfert de chaleur sont posés horizontalement à une profondeur maximale de 2 m sous le niveau du sol. Fonctionnant selon le même principe que les sondes géothermiques, ils sont moins fréquemment mis en œuvre en raison de la grande surface qu'ils nécessitent. Les circuits enterrés exploitent principalement l'énergie calorifique rayonnée par le soleil. Un mélange d'eau et de produit antigel y circule. Ils peuvent produire aussi bien de la chaleur que du froid.

Fig. 4 > Schéma de principe d'une pompe à chaleur couplée à un circuit enterré



Les circuits enterrés peuvent aussi être mis en œuvre comme *évaporateurs directs* (p.ex. avec du propane). Dans ce cas, l'agent réfrigérant passant par la pompe à chaleur est acheminé directement dans le sol, où il s'évapore, généralement en empruntant des tuyaux en cuivre gainés de matériaux plastiques. Notons que les agents réfrigérants utilisés contiennent habituellement des lubrifiants à base d'huile pouvant présenter un danger pour les eaux souterraines.

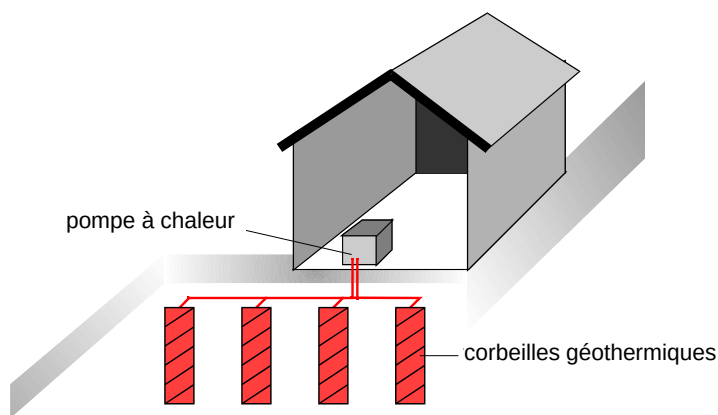
Les *pieux énergétiques* (pieux géothermiques) sont des pieux de fondation (forés ou battus) contenant des tuyaux utilisés pour transférer de la chaleur. Ils sont introduits dans des pieux en béton coulé sur place ou dans des pieux évidés, avant de procéder à l'injection. Ils peuvent produire aussi bien de la chaleur que du froid. Les pieux énergétiques ne sont utilisés que pour les bâtiments nécessitant des fondations sur pieux.

Une solution de substitution aux pieux énergétiques consiste à utiliser des *éléments en béton en contact avec le sol (géosstructures)*. Dans ce cas, la chaleur est généralement extraite par des éléments de construction immergés dans la partie saturée du sous-sol.

Les pieux énergétiques, comme d'autres éléments thermoactifs placés dans le sous-sol, exploitent le déplacement en profondeur de la température superficielle: la température maximale de l'été se trouve entre 2 et 4 m du sol au début de l'hiver suivant, tandis que la situation s'inverse au printemps: c'est alors le «froid hivernal» qui est exploitable à cette profondeur.

Dans le cas des *corbeilles géothermiques*, des tuyaux de gros diamètre sont placés dans le terrain excavé. Des tubes en spirale sont disposés à l'intérieur des tuyaux, puis l'ensemble est comblé. Ce système est inclus dans les circuits enterrés en raison de sa position proche de la surface.

Fig. 5 > Schéma de principe d'une pompe à chaleur couplée à des corbeilles géothermiques



A1-5 **Fonctionnement des pompes à chaleur eau-eau**

Si les conditions hydrogéologiques sont favorables, on peut aussi exploiter directement l'eau des nappes souterraines pour en extraire de la chaleur. Dans ce cas, un puits de pompage est aménagé dans la nappe, sous la direction d'un bureau d'hydrogéologues. L'eau est prélevée par une pompe immergée, puis acheminée vers la pompe à chaleur. L'eau refroidie est ensuite rendue à l'aquifère exploité au moyen d'un ouvrage d'infiltration (puits ou tranchée). Pour éviter tout court-circuit thermique, le puits de pompage et l'ouvrage d'infiltration devront être correctement implantés, à une distance suffisante qui sera fixée par l'hydrogéologue en fonction des caractéristiques de l'aquifère et du débit prélevé. Les sources peuvent également être utilisées comme source de chaleur, sous réserve du respect du droit des tiers.

Les pompes à chaleur eau-eau peuvent tirer parti toute l'année d'une source de chaleur à température constante, de 8 à 10 °C. En règle générale, elles permettent d'éviter les pertes de chaleur pouvant se produire dans le sous-sol (par ex. lors du passage dans les sondes du liquide caloporteur réchauffé en profondeur vers la surface plus froide). L'exploitation de l'eau des nappes permet d'obtenir un coefficient de performance annuel élevé, ce qui est économiquement intéressant par rapport aux sondes géothermiques, particulièrement pour les installations d'une puissance calorifique à partir de

10 kW. C'est pourquoi l'extraction de chaleur au moyen d'une pompe à chaleur eau-eau est recommandée dès qu'un aquifère approprié est proche de la surface. Comme les coûts de construction et d'exploitation des puits croissent considérablement avec leur profondeur, le seuil de rentabilité de l'exploitation des nappes d'eau souterraine se situe le plus souvent entre 20 et 50 m, selon la taille de l'installation et les caractéristiques du sous-sol.

Les installations de grande puissance thermique sont généralement exploitées et entretenues par des professionnels. C'est pourquoi leur fonctionnement est généralement plus sûr que celui des petites installations équipant les villas.

Le débit pompé, principalement tributaire des caractéristiques hydrogéologiques locales, doit être garanti en période d'étiage et de bas niveau de nappe pour assurer le bon fonctionnement de la pompe à chaleur tout au long de l'année. Ce débit est de l'ordre de 0,3 m³/h par kW de puissance à l'évaporateur, pour un refroidissement de la nappe (production de chaleur) ou un échauffement (production de froid) de 6 degrés Kelvin au maximum. A titre d'exemple, un débit de 1, 2 l/s (72 l/min) est suffisant pour une villa dont les besoins calorifiques sont de l'ordre de 15 kW.

L'utilisation de ce type de pompe peut être restreinte en raison des propriétés des eaux souterraines. Les eaux peu oxygénées riches en fer et/ou en manganèse risquent en effet de provoquer des dépôts dans le puits, tandis que les eaux agressives sont susceptibles de corroder l'échangeur de chaleur. C'est pourquoi les propriétés chimiques de l'eau prélevée doivent être contrôlées à l'aide de paramètres choisis.

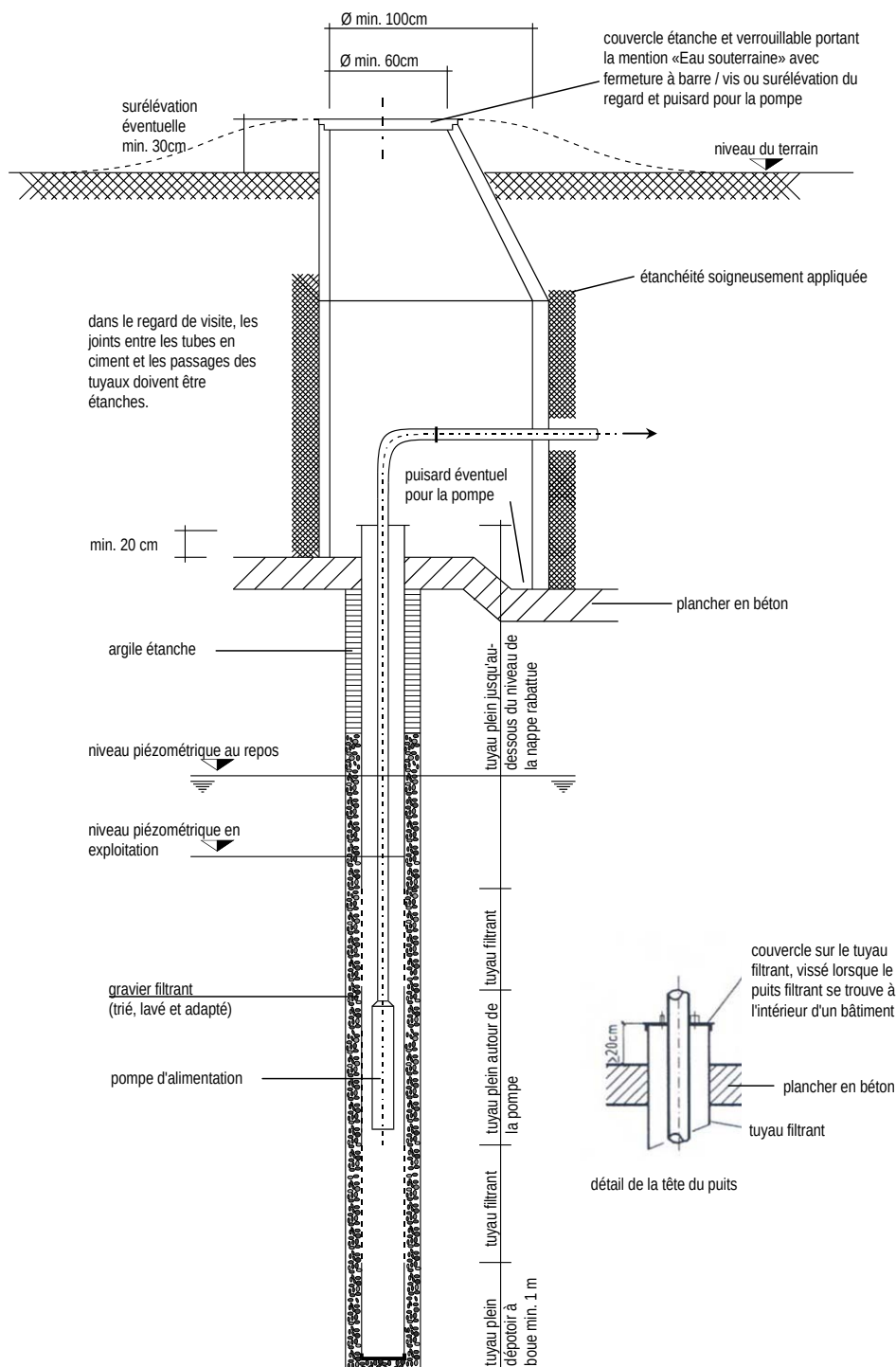
Fig. 6 > Schéma de principe d'une pompe à chaleur eau-eau



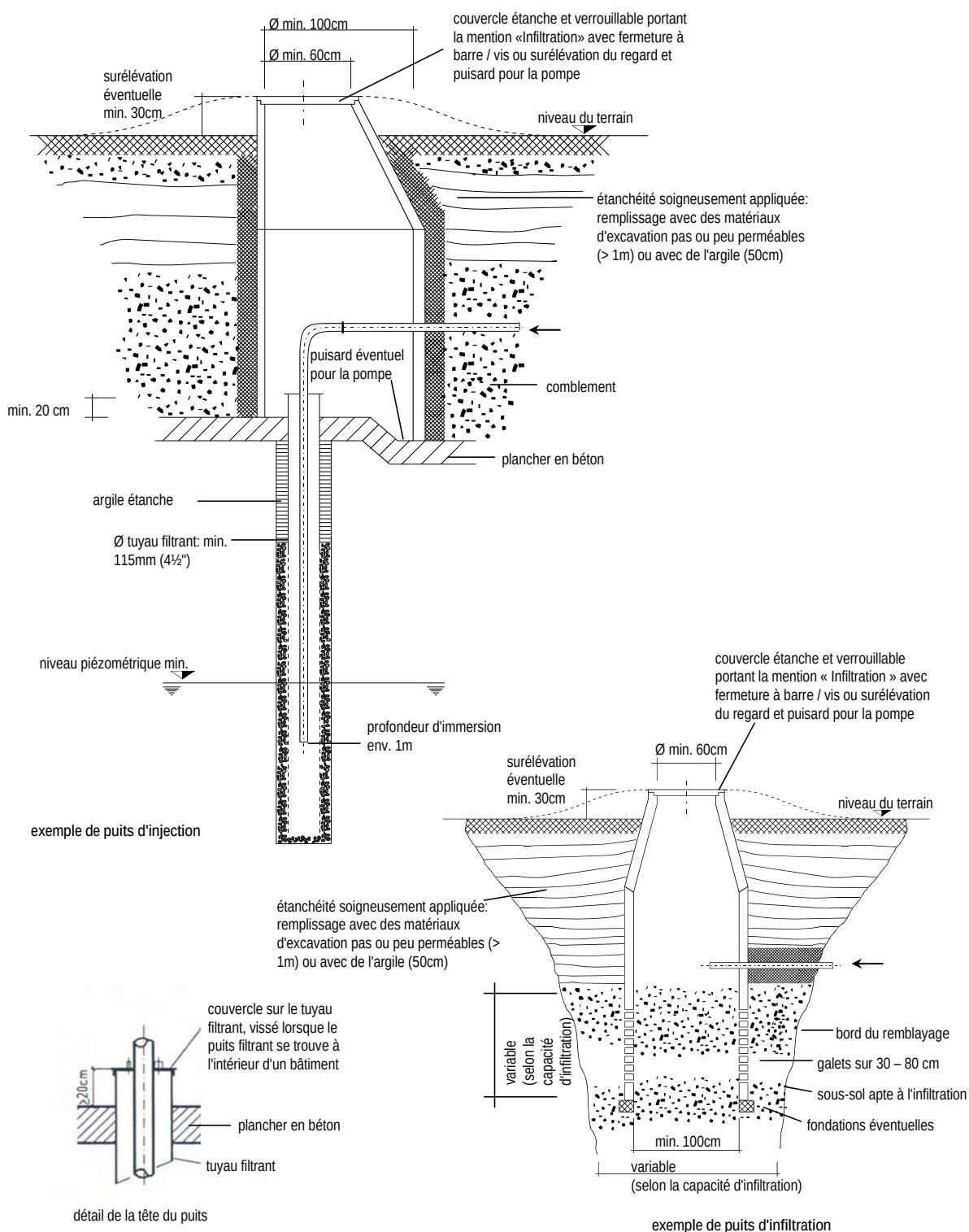
Source: Bundesverband Wärmepumpe e.V.

A2 Schémas

A2-1 Schéma d'un puits de pompage



A2-2 Schéma d'un ouvrage de restitution



A3 Formulaires de demande d'autorisation

A3-1 Sondes géothermiques, circuits enterrés, corbeilles géothermiques et pieux énergétiques

Demande d'autorisation pour la construction et l'exploitation d'une installation géothermique fermée

Maître de l'ouvrage:

Nom et prénom/société:

Rue: Tél.:

Commune: NPA:

Requérant:

Nom et prénom/société:

Collaborateur/collaboratrice:

Rue: Tél.:

Commune: NPA:

e-mail:

Adresse de facturation (si différente de celle du maître de l'ouvrage):

Nom et prénom/société:

Rue: Tél.:

Commune: NPA:

Relevé du profil de forage/hydrogéologue conseil:

Nom et prénom/société:

Collaborateur/collaboratrice:

Rue: Tél.:

Commune: NPA:

Emplacement de l'installation:

Commune: NPA:

Rue: N° du bien-fonds:

Coordonnées: (±10 m)

Objet (villa, logement collectif, etc.)

Pompe à chaleur:

Agent réfrigérant:

Quantité: kg

Puissance calorifique: kW

Puissance frigorifique: kW

Introduction de chaleur dans le sol: ☐ oui ☐ nonConsommation d'électricité: kW
(à des fins de refroidissement)Label de qualité: ☐ oui ☐ non☐ **Sondes géothermiques:**

Entreprise de forage:

.....

Marque de la/des SG:

Ø des tuyaux: mm

Nombre de forages: pces

Profondeur: m

Matériau de remplissage: ☐ Mélange standard☐ Produit fini:Entreprise certifiée: ☐ oui ☐ non

Type de certificat:

☐ **Circuits enterrés:**

Marque/type

.....

Installateur:

.....

Nombre de boucles: pces

Longueur des boucles m

Matériau (tuyaux):

Ø des tuyaux: mm

☐ **Corbeilles géothermiques:**

Marque/type

.....

Installateur:

.....

Nombre de corbeilles: pces

Profondeur des corbeilles m

Matériau (tuyaux):

Ø des tuyaux: mm

☐ **Pieux énergétiques:**

Type:

Fabricant:

Entreprise (forage/fourniture):

.....

Nombre de pieux: pces

Profondeur des pieux: m

Matériau (tuyaux):

Longueur des pieux:

Ø des tuyaux: mm

Liquide caloporteur:

Quantité: litres

Concentration: %

Pression nominale: bar

Chauffage de piscine extérieure: ☐ Oui ☐ Non

Mesures de sécurité et possibilités de contrôle:

Circuit de la sonde

- ☐ Contrôleur de pression/de niveau
- ☐ Vannes de fermeture (Chaque sonde, pieu, corbeille et circuit enterré doit pouvoir être fermé individuellement.)
- ☐ Indication de la température

Lieu, date:

Signatures:

Le requérant/la requérante:

Pour le maître de l'ouvrage:

.....

.....

☒ Impératif

à joindre à ce formulaire:

- ☒ Un plan à l'échelle 1: 5000–1: 25 000 avec emplacement de l'installation
- ☒ Un extrait du plan cadastral avec emplacement de la sonde/des sondes
- ☒ Matériel de remplissage utilisé

A3-2 Exploitation de la chaleur des eaux souterraines

Demande d'autorisation concernant des sondages forés et des essais de pompage visant à construire une installation de pompage d'eau souterraine

Maître de l'ouvrage

Nom et prénom/société:

Rue: Tél.:

Commune: NPA:

Hydrogéologue conseil:

Nom et prénom/société:

Rue: Tél.:

Commune: NPA:

Collaborateur/collaboratrice: Fax:

Emplacement des sondages:

Commune:

Rue/lieu-dit:

Secteur de protection des eaux:

Site potentiellement contaminé: ☐ oui ☐ non n°

Secteur d'activité si zone industrielle et artisanale:

Propriétaire du terrain Nom et adresse	n° de parcelle	Coordonnées	Prof. du forage [m]	Equipement du forage

Début approximatif des travaux de forage:

Durée des essais de pompage prévus:

Débits retirés lors des essais de pompage (min/max en l/min.):

Lieu d'acheminement de l'eau pompée:

Analyse de l'eau souterraine prévue: ☐ oui ☐ non

Date:

.....

Signature:

.....

Requérant(e):

.....

Annexe:

- > Un plan à l'échelle 1: 5000–1: 25 000 avec emplacement de l'installation
- > Un extrait du plan cadastral (p. ex. 1: 500 ou 1: 1000) avec emplacement des sondages forés
- > Autres: ...

A3-3

Demande d'autorisation pour construire et exploiter une installation utilisant la chaleur des eaux souterraines**Maître de l'ouvrage:**

Nom et prénom / société:

Rue: Tél.:

Commune: NPA:

e-mail:

Propriétaire du terrain:

Nom et prénom / société:

Collaborateur/collaboratrice:

Rue: Tél.:

Commune: NPA:

Demande déposée par:

Nom et prénom / société:

Rue: Tél.:

Commune: NPA:

Auteur du projet:

Nom et prénom / société:

Rue: Tél.:

Commune: NPA:

Hydrogéologue conseil:

Nom et prénom / société:

Collaborateur/collaboratrice:

Rue: Tél.:

Commune: NPA:

Emplacement du captage:

Commune: NPA:

Rue: n°Cadastral du terrain:

Coordonnées: (à 10 m près)

Objet: (villa, logement collectif, etc.)

Emplacement de la pompe à chaleur:

Commune:

NPA:

Rue:

G Numéro du terrain:

Pompe à chaleur:

Fournisseur:

Typ:

Agent réfrigérant:

Quantité: kg

Puissance calorifique: kW

Puissance frigorifique: kW

Introduction de chaleur dans l'aquifère: ☐ oui ☐ nonConsommation d'électricité: kW
(à des fins de refroidissement)Label de qualité: ☐ oui ☐ non**Circuit intermédiaire:**

Liquide caloporteur:

Exploitation de l'aquifère (système indirect avec circuit intermédiaire):

Fournisseur de la pompe immergée:

Typ:

Prélèvement max. d'eau:l/min

Profondeur: m (en sous-sol)

Utilisation à fin de chauffage:

Température minimale de l'eau avant utilisation: °C

Température minimale de restitution: °C

Refroidissement maximal de l'eau: °C

Puissance calorifique maximale tirée de l'eau: kW

Prélèvement annuel maximal de chaleur dans les eaux: kWh

Utilisation à fin de refroidissement:

Température maximale de l'eau avant utilisation: °C

Température maximale de restitution: °C

Réchauffement maximal de l'eau: °C

Chaleur maximale transmise à l'eau: kW

Restitution annuelle maximale de chaleur dans les eaux: kWh

Mesures de sécurité et possibilités de contrôle:

Pompe à chaleur

☒ Contrôleur de haute/basse pression

Circuit intermédiaire

☒ Contrôleur de pression

☐ Manomètre

☐ Vase d'expansion

Circuit d'eau

☒ Contrôleur de température

☒ Dispositif de fermeture automatique

☒ Dispositif de mesure de la température

☐ Contrôleur d'écoulement

☐ Robinets pour le prélèvement d'échantillons

Lieu, date:

Signatures:

Le requérant/la requérante:

Pour le maître de l'ouvrage:

.....

☒ Impératif

Documents à transmettre au service cantonal compétent pour ce projet:

☒ Etude hydrogéologique préalable, effectuée par:

☒ Demande d'autorisation concernant des sondages forés et des essais de pompage, y compris un plan d'ensemble et une copie du cadastre avec emplacement des sondages forés, établie par:

☒ Protocole de forage, établi par:

☒ Protocole d'essai de pompage avec courbe(s) de rabattement, établi par:

☒ Preuve de conformité légale du refroidissement/réchauffement de l'aquifère, établie par

A4 Protocoles

A4-1 Protocole de forage

Protocole de forage / liste des formations																	
© FWS (Modèle Annexe 8.3)																	
n° d'autorisation:			du:			n° de mandat:											
Maître foreur:			Objet:			Localité/commune:											
Début du forage:			Fin du forage:			Coordonnées:			Altitude: Forage no. de forages selon schéma								
Profon- deur	Description des cuttings / liste des formations				Humidité s.-sol			Type	mouillé / sec		Remarques	Incidents importants pour la protection des eaux					
Jusqu'à	Type, caractéristiques	Couleur			mo uillé	hu mide	se c	B / A	foré	Observations		VE	PF	PI	C	G	Profondeur
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	
												☐	☐	☐	☐	☐	

A4-2 Protocole d'essai et de réception de sonde(s) géothermique(s)

Entreprise de forage:		Protocole d'essai et de réception de sonde(s) géothermique(s)									
Objet:		n° de commande:									
Sonde géothermique	n°										
Numéro d'identification (usine)	ID:										
N° de la paire de rouleaux de tubes (p. ex. 0040)	n°										
Longueur (sonde installée)	m										
Diamètre extérieur / épaisseur de la paroi	mm	/			/			/			
Essai de débit		Date de l'essai									
		ci.1/ci.2	ci.1	ci.2	ci.1/ci.2	ci.1	ci.2	ci.1/ci.2	ci.1	ci.2	
Débit d'eau	l / min.										
Différence de pression	bar										
Condition remplie:	oui / non										
Essai de pression		Date de l'essai									
SN EN 805		Valeur de consigne			Valeur réelle			Valeur de consigne			
Précision de lecture 0,01 bar		ci.1/ci.2			ci.1			ci.1/ci.2			
Déroulement en minutes		8,0			8,0			8,0			
Procédé d'essai pour:											
Remplissage sonde (eau)											
0	Pression d'essai atteinte	12,0			12,0			12,0			
10	Pression après maintien pression	12,0			12,0			12,0			
60	Fin chute de pression (max. 30 % de la pression d'essai)	> 8,4			> 8,4			> 8,4			
	Pression après réduction (réduction env. 2,0 bar)										
	Quantité d'eau évacuée										
65	Pression mesurée										
75	Pression mesurée										
90	Pression mesurée										
Condition remplie:		oui / non									
Injection		Standard: 100 kg bentonite, 200 kg ciment, 900 l eau									
		Date									
		Bentonite	Ciment	Eau	Bentonite	Ciment	Eau	Bentonite	Ciment	Eau	
Quantité de bentonite, ciment, eau		kg									
ou mélange fini: marque, eau / 100 kg mat. sèche											
Quantité totale injectée		kg									
		oui/non	m manquants		oui/non	m manquants		oui/non	m manquants		
Injection jusqu'au niveau du terrain (oui/non) Si non: m manquants											
Réception		Norme SIA 118			Contremaître:						
Lieu et date:					Direction des travaux:						

A4-3

Profil de forage

Profil de forage 1:1000 (0 – 200 m)				
	Objet:		Date d'exécution:	
	Maître de l'ouvrage:		Coordonnées:	
	Entreprise de forage:		Cote de forage:	
	Maître de forage:		Relevé du profil:	
Type de forage	Identification géologique	Profondeur	Description lithologique	Remarques
				Tubage temporaire jusqu'à m Tubage permanent jusqu'à m Pertes de fluide de forage - à env. m - à env. m Venues d'eau - à env. m - à env. m autres remarques:
				Réf.no. :
				Projet :
				Date :
				Signe :

Profil de forage 1:1000 (200 - m)

	Objet:		Date d'exécution:	
	Maître de l'ouvrage:		Coordonnées:	
	Entreprise de forage:		Cote de forage:	
	Maître de forage:		Relevé du profil:	
Type de forage	Identification géologique	Profondeur	Description lithologique	Remarques
				
				Réf.no. :
				Projet :
				Date :
				Signe :

A5 Indications à l'intention des maîtres d'ouvrages

Lorsque l'implantation d'une sonde géothermique est envisagée, il faut savoir que le risque lié au site est assumé par le maître de l'ouvrage. Si, lors du forage, se pose un problème dû à la présence d'une nappe artésienne ou de gaz naturel, il incombe au maître de l'ouvrage d'y remédier, ce qui peut s'avérer très onéreux. Aussi est-il vivement recommandé de contracter une assurance contre ce risque.

Tous les systèmes fermés enterrés doivent être équipés d'un dispositif automatique de surveillance des fuites. En cas de fuite, la pompe de circulation se déclenche immédiatement et un signal de dysfonctionnement est émis. L'exploitant de l'installation est tenu de contrôler régulièrement si du liquide caloporteur s'en échappe. Dans ce cas, l'installation sera immédiatement mise hors service.

Lorsque de tels systèmes sont mis hors service, il faut vidanger le liquide caloporteur et l'éliminer de manière appropriée. Puis la sonde est entièrement noyée dans un matériau durcissant non gélif. L'autorité cantonale qui délivre les autorisations précisera les exigences applicables à la mise hors service.

A6 Liste des agents caloporteurs

Les produits contenant les substances de base suivantes conviennent comme agents caloporteurs:

- > propylène glycol
- > éthylène glycol
- > polyéthylène glycol
- > alcool éthylique (éthanol)
- > alcool méthylique (méthanol)
- > chlorure de calcium
- > chlorure de magnésium
- > chlorure de potassium
- > carbonate de potassium
- > acétate de potassium
- > formiate de potassium
- > chlorure de sodium
- > carbonate de sodium

Dans les fluides caloporteurs, aucune substance peu biodégradable, ni composé chloré, ni sel de métal lourd ne peut être utilisé comme additif (p.ex. comme inhibiteur de corrosion).

A7 Exigences posées au remplissage des sondes géothermiques

Le remplissage des sondes géothermiques doit satisfaire aux exigences suivantes:

1. Stabilité du mélange
 - Le mélange doit être suffisamment thixotrope et ne permettre aucune sédimentation ni séparation des composants.
 - Retrait: max. 2 % de la profondeur du forage, pour un maximum de 5 m
2. Facteur de perméabilité maximal
 - $K_f \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s
3. Densité de la suspension
 - La densité du produit fini n'est pas imposée. Le fabricant prescrit une densité minimale pour la suspension. Ses indications concernant le mélange doivent être respectées strictement.
 - Mélange sur le chantier: poids spécifique de la suspension égal à 1,1–1,2 g/cm³ à l'entrée dans le trou de forage
 - Un protocole de mélange sera établi. Le poids du mélange doit être contrôlé sur le chantier au moyen d'une balance de ménage et d'un récipient étalonné.
4. Durabilité
 - Résistance aux sulfates: doit être garantie dans les roches sulfatées. Directives émises par les services compétents
5. Résistances initiale et finale
 - Résistance à la pression après 3 jours: $\geq 0,3$ N/mm²
 - Résistance à la pression après 7 jours: $\geq 1,0$ N/mm²
 - Résistance à la pression après 28 jours: $\geq 1,5$ N/mm²
6. Respect de l'environnement
 - Les composants du remplissage doivent être sans danger pour l'environnement.
7. Conductivité thermique
 - Aucune prescription
8. Fluidité, possibilité de pompage
 - Aucune prescription
9. Gélivité
 - Aucune prescription pour l'instant
 - En cas de nécessité, des prescriptions pertinentes peuvent être émises par les associations professionnelles et ordonnées par les services en charge de la protection des eaux.

Mélange de remplissage standard selon le GSP:

100 kg de bentonite + 200 kg de ciment + 900 kg d'eau = 1 m³ de suspension

A8 Recommandations concernant la procédure d'autorisation

Les présentes recommandations portent en premier lieu sur l'autorisation délivrée en vertu du droit sur la protection des eaux.

Etude préalable

Le maître de l'ouvrage vérifie, en déposant auprès du service cantonal de protection des eaux une demande avec indication des coordonnées exactes:

- > si l'installation prévue à l'emplacement choisi est admissible ou non du point de vue du droit régissant la protection des eaux et
- > si d'autres clarifications sont nécessaires.

Clarifications recommandées en vue d'une exploitation de la chaleur tirée du sol:

- > extension, épaisseur et perméabilité de l'aquifère
- > épaisseur de la couverture de l'aquifère
- > direction et vitesse d'écoulement
- > état thermique naturel des eaux souterraines
- > état thermique actuel des eaux souterraines
- > évaluation du potentiel thermique
- > variations annuelles du niveau piézométrique et de la température
- > teneur en oxygène et conductivité électrique spécifique des eaux souterraines
- > chimisme des eaux souterraines
- > estimation de l'extension du panache d'eau chaude ou d'eau froide restitué.
- > estimation des effets sur d'autres utilisations
- > effets sur les droits de tiers (p. ex. tassement)
- > évaluation de la conformité de l'installation prévue à la loi

Le formulaire A3-2 peut être utilisé en vue d'obtenir l'autorisation cantonale pour les sondages forés et les essais de pompage.

Dépôt de la demande

Contenu de la demande:

- > résultats de l'étude préalable
- > description du projet (formulaire A3-1 ou A3-3)

Octroi de l'autorisation

L'autorisation qui se fonde sur le droit de la construction et celle qui relève du droit régissant la protection des eaux doivent être coordonnées. Une autorisation de construire n'est être délivrée que si les conditions d'octroi de l'autorisation en vertu de la législation sur les eaux sont réunies.

La décision concernant l'autorisation en matière de protection des eaux mentionne:

- > pour les sondes thermiques: les charges énumérées au chap. 3.3 et éventuellement 3.4
- > pour les circuits enterrés, corbeilles géothermiques et pieux énergétiques: les charges énumérées au chap. 4.3
- > pour l'exploitation de la chaleur des eaux souterraines: les charges énumérées au chap. 5.3 et éventuellement au chap. 5.4.

Les travaux prévus ne peuvent pas débiter avant l'octroi de l'autorisation de construire.

Si les sondes thermiques prélèvent ou renvoient de la chaleur dans les aquifères, il est possible qu'une concession hydraulique cantonale doive être sollicitée.

Mise en œuvre et documentation

Les conditions et charges générales des autorités délivrant l'autorisation doivent être entièrement remplies. Les autorités veillent au respect des conditions et charges.

Le début des travaux de forage doit être communiqué aux autorités avant le début des travaux. Tout problème lié à du gaz naturel ou à de l'eau sous pression (nappe artésienne) doit être immédiatement signalé aux autorités.

Le requérant informe les autorités de la mise en service de l'installation en actualisant les indications contenues dans la demande (p. ex. en remettant les protocoles de forage ou de réception, cf. A4).

> Index

Glossaire

Aquiclude

Formation géologique peu perméable qui s'oppose au passage de l'eau ou ne la conduit que très lentement.

Aquifère

Formation géologique saturée en eau, poreuse et perméable, dont l'étendue et l'épaisseur autorisent une exploitation des eaux souterraines. Sa limite supérieure correspond au niveau piézométrique le plus élevé que la nappe d'eau souterraine puisse atteindre. Un aquifère est constitué soit de terrains meubles (graviers, sables, etc.), soit de roches consolidées – fissurées ou karstiques (calcaire, dolomie, etc.).

Aquifères superposés

Stratification des unités géologiques se traduisant par une superposition d'aquifères et d'aquicludes. Les nappes inférieures sont généralement alimentées par les nappes supérieures et/ou par des apports latéraux.

Artésien

Des eaux souterraines sont considérées comme artésiennes (jaillissantes) lorsque leur pression leur permet de s'élever au-dessus de la surface du sol.

Chaleur terrestre

Energie contenue dans les roches du sous-sol. L'énergie stockée sous forme de chaleur sous la surface solide de la Terre.

Eaux souterraines

Eaux qui remplissent de manière continue les vides du sous-sol (pores, fissures, cavités). Les eaux souterraines sont alimentées par l'infiltration des précipitations et des eaux superficielles; elles s'écoulent en suivant les lois de la gravité.

Flux de chaleur géothermique

Flux de chaleur naturel se propageant verticalement, par conduction thermique, de l'intérieur chaud vers la surface froide de la Terre. Il est égal au produit du gradient de température par la conductivité thermique.

Karst, région karstique

Type de relief modelé par des phénomènes de dissolution actifs. Par extension, roche comportant des cavités, parfois importantes puisqu'elles peuvent atteindre la taille de cavernes. La karstification touche les roches carbonatées (calcaire, dolomie) et les évaporites (gypse, sel gemme).

Profil de forage

Description géologique de la succession, de l'épaisseur et de la constitution des formations traversées lors du forage. Attribution des couches rencontrées aux unités stratigraphiques.

Le profil de forage est levé par le géologue mandaté en étudiant les débris de forage. Lorsqu'aucun suivi géologique n'est prévu, un profil simplifié est établi par le maître foreur.

Protocole de forage

Protocole établi par le chef d'équipe (maître foreur) durant le forage. Le protocole de forage comprend un profil de forage simplifié.

Figures

Fig. 1	zones d'influence des flux de chaleur solaire et terrestre	25
Fig. 2	schéma de principe d'une pompe à chaleur	26
Fig. 3	Schéma de principe d'une sonde géothermique, avec indication des températures dans le sous-sol et à l'intérieur du système	27
Fig. 4	schéma de principe d'une pompe à chaleur couplée à un circuit enterré	28
Fig. 5	schéma de principe d'une pompe à chaleur couplée à des corbeilles géothermiques	29
Fig. 6	schéma de principe d'une pompe à chaleur eau-eau	30

Tableaux

Tab. 1	Tableau de référence pour l'exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol	11
---------------	--	----

Bibliographie

OFEFP 2004: Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne. 143 pages. Numéro de commande: VU-2508-F. www.environnement-suisse.ch

Société suisse des ingénieurs et des architectes SIA 2000: Alimentation en eau – Exigences pour les réseaux extérieurs aux bâtiments et leurs composants. Norme suisse SN EN 805 2000. Zurich: www.sia.ch.

Autres ouvrages

Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen AWP 2007:
T1: Wärmepumpenheizungsanlage mit Erdwärmesonden. Technische Arbeitsblätter AWP. Zürich. <http://www.awpschweiz.ch/>

Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen AWP 2007:
T2: Wärmepumpenheizungsanlage mit horizontalen Erdkollektoren, Erdwärmekörpern und Kompaktkollektoren. Technische Arbeitsblätter AWP. Zürich. <http://www.awpschweiz.ch/>

Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen AWP 2007:
T3: Wärmequellennutzung Grundwasser. Technische Arbeitsblätter AWP. Zürich. <http://www.awpschweiz.ch/>

Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen AWP 2007:
T9: Kühlen mit Wärmepumpen. Technische Arbeitsblätter AWP. Zürich. <http://www.awpschweiz.ch/>

Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur GSP 2004: Règlement relatif au Certificat de qualité pour entreprises de forages de sondes géothermiques verticales. Berne. www.pac.ch

Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein SIA 1996: Grundlage zur Nutzung der untiefen Erdwärme für Heizsysteme. SIA-Dokumentation D0136. Zürich. www.sia.ch

Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein SIA 2003: Energie aus dem Untergrund. Erdreichspeicher für moderne Gebäudetechnik. SIA-Dokumentation D0179. Zürich. www.sia.ch

Société suisse des ingénieurs et des architectes SIA 2005: Utilisation de la chaleur du sol par des ouvrages de fondation et de soutènement en béton. Documentation SIA D0190. , Zurich 2005: www.sia.ch

Société suisse des ingénieurs et des architectes SIA: Sondes géothermiques. Norme SIA en préparation, SIA 384/6. Zurich. www.sia.ch

VDI-Richtlinie 4640: Thermische Nutzung des Untergrundes, Blatt 1: Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte, Entwurf, Juni 2008. Blatt 2: Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, September 2001 (in Überarbeitung). Beuth Verlag GmbH, Berlin. www.beuth.de