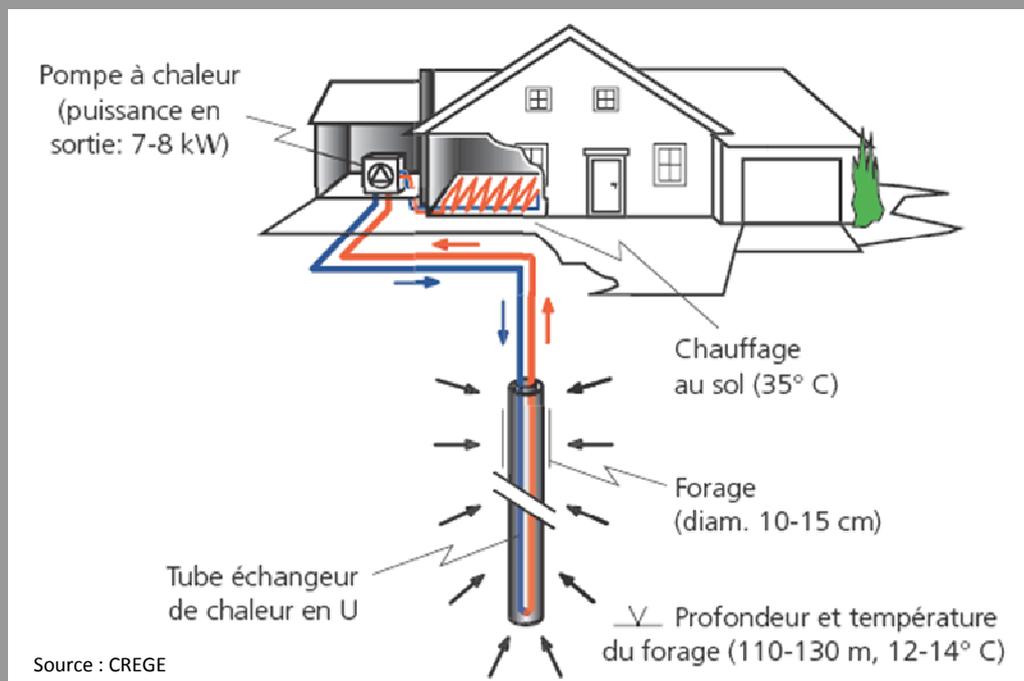




Programme cantonal de développement de la géothermie à Neuchâtel

Sondes géothermiques verticales :

Guide d'aide au dimensionnement des ouvrages de petite dimension et procédures d'autorisation dans le Canton de Neuchâtel



Novembre 2009

Document établi par :

Groupement PDGN,
Marc Affolter,
Bernard Matthey Ingénieurs-Conseils S.A.
La Grande-Fin 19
2037 Montezillon

Commande du document :

InfoEnergie@ne.ch 032 889 47 26

ou téléchargeable sur

www.ne.ch/energie Rubrique : Police des constructions, Formulaire, justificatifs, aides à l'application

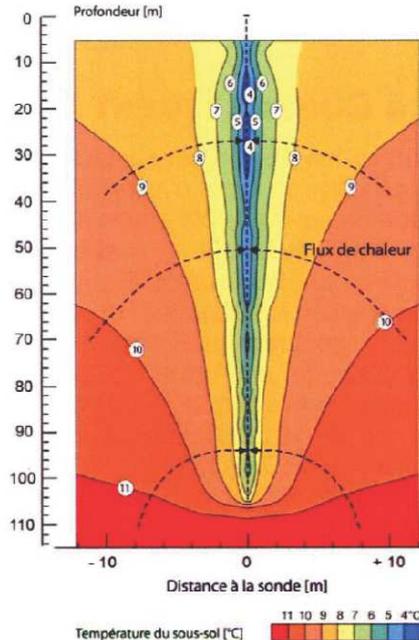


1. Objectifs

- L'utilisation de sondes géothermiques verticales pour l'alimentation de pompes à chaleur (PAC) est en fort développement en Suisse et dans le canton de Neuchâtel. Le soutien à une utilisation de la chaleur du sous-sol s'inscrit dans la politique cantonale énergétique et environnementale.
- Le guide d'aide au dimensionnement a pour objectif de promouvoir l'utilisation de la chaleur du sous-sol par sondes géothermiques verticales et d'informer les utilisateurs (entreprises, propriétaires, professionnels actifs dans le domaine de l'énergie) sur les principes d'exploitation et les règles de dimensionnement particulières à la géologie du Canton de Neuchâtel.

2. Principe de fonctionnement

- L'exploitation de la chaleur du sous-sol par sondes géothermiques verticales pour l'alimentation d'une pompe à chaleur est le système le plus répandu en Suisse. En 2005, ce mode d'exploitation géothermique représentait le 77% de l'énergie géothermique exploitée en Suisse. Dans le canton de Neuchâtel, environ 300 installations ont été réalisées (état en 2009).
- A partir de 10 à 20 m de profondeur, la température du sous-sol est stable tout au long de l'année et plus élevée de 1°C environ que la température moyenne annuelle de l'air à l'altitude considérée. La température du terrain augmente ensuite progressivement sous l'influence du gradient géothermique (en moyenne 3°C/100 m). En surface, le rayonnement solaire influence la température du sous-sol jusqu'à environ 20 m de profondeur.



Profil dans le terrain illustrant l'influence d'une sonde géothermique verticale sur la température du sous-sol (Rybach 2001).



Température du sous-sol en fonction de la profondeur. Influence du flux géothermique et du rayonnement solaire moyen. (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, HLUg, Wiesbaden)

- Les sondes géothermiques soutirent la chaleur du sous-sol par échange thermique. Elles sont constituées le plus souvent de tubes en double U en PE Ø 32 mm dans lesquels on fait circuler un liquide caloporteur (généralement un mélange eau-glycol). Après s'être réchauffé dans le terrain, le fluide est



refroidi de 3-4°C dans l'évaporateur de la PAC. La PAC permet de valoriser l'énergie géothermique de basse température en assurant le chauffage des bâtiments, de préférence par chauffage au sol basse température, mais aussi pour la production d'eau chaude sanitaire.

- Pour une installation standard la profondeur des forages peut varier de 30 à 200 m, avec un diamètre foré de 130 à 200 mm. Une fois les sondes posées dans le forage, l'espace entre le forage et les sondes est comblé par l'injection d'un ciment à prise hydraulique. Ceci permet d'assurer un bon contact thermique entre la sonde et le terrain et évite le risque d'infiltration d'eau indésirable le long des tubes échangeurs.
- Avec une installation de qualité et correctement dimensionnée, le sous-sol fournit environ 70% de l'énergie thermique à la sortie de la pompe à chaleur. Le 30% restant est fourni à la pompe à chaleur sous forme d'électricité.

3. Procédure d'autorisation

3.1 Bases légales

- Les bases légales suivantes sont applicables pour l'implantation des sondes géothermiques verticales :
 - Loi sur la protection de l'environnement du 7 octobre 1983 (LPE, RS 814.01)
 - Loi fédérale sur la protection des eaux du 24 janvier 1991 (LEaux, RS 814.20)
 - Loi cantonale sur les eaux du 24 mars 1953 (LCE, RS 731.101)
 - Loi cantonale sur la protection des eaux du 12 octobre 1984 (LCPE, 805.10)
- En raison notamment du risque de porter atteinte aux eaux souterraines, la réalisation de forages pour sondes géothermiques verticales est soumise à autorisation (décision spéciale) du Département de la gestion du territoire.

3.2 Demande de préavis

- Il existe de nombreuses restrictions sur les possibilités d'implantations de sondes géothermiques verticales. Dans les secteurs autorisés, la profondeur de forage est limitée. Les restrictions sont d'ordre légal, géologique ou liées à l'environnement construit. Le requérant pourra se renseigner sur les possibilités de réaliser son projet en consultant :
 - La carte fixant les limites d'utilisation de la chaleur du sol par sondes géothermiques verticales (SGV) sur le territoire du canton de Neuchâtel sur : <http://sitn.ne.ch/index.html> (en préparation)
 - Cette information peut être obtenue auprès du Service de l'énergie et de l'environnement (SENE) – Domaine environnement, Rue du Tombet 24, 2034 Peseux tel. 032 889 67 30, Sene.Environnement@ne.ch

3.3 Demande d'autorisation

- Elle se fait par l'intermédiaire du justificatif EN-NE60. Les documents demandés ainsi que les instructions d'envoi sont détaillés sur le justificatif EN-NE60 utilisation de pompe à chaleur (PAC) de la République et canton de Neuchâtel. Le justificatif est disponible sous :
 - > www.ne.ch/energie rubrique "Police des constructions"
 - > www.endk.ch rubrique "Professionnels"Le justificatif EN-NE60 est transmis :
 - > En cas de transformation de l'installation de chauffage, au SENE – Domaine environnement
 - > En cas de demande de permis de construire elle fait partie intégrante du dossier de demande de permis de construire et suivra la même procédure que cette dernière
- Les travaux de forage ne peuvent pas être engagés avant la réception par le requérant de l'autorisation de forage (décision spéciale) du Département de la gestion du territoire.



3.4 Principe général en matière de restrictions

- Les restrictions établies sur l'ensemble du territoire neuchâtelois ont été déterminées de manière détaillée et concertée, de manière à préserver l'environnement et en particulier les ressources en eau souterraine.
- La carte fixant les limites d'utilisation de la chaleur du sol par sondes géothermiques verticales sur le territoire du Canton de Neuchâtel délimite les régions où l'implantation de sondes géothermiques verticales est interdite ou autorisée.
- Dans les régions autorisées, elle fixe la profondeur maximale autorisée de chaque forage, à partir de critères géologiques et hydrogéologiques.
- La carte ne renseigne pas sur les éventuelles restrictions locales, dues par exemple à la présence de droits privés existants (le droit des tiers reste préservé). Elle n'a donc pas valeur de référence juridique pour l'octroi ou le refus d'une autorisation de forage par l'autorité au moment du dépôt du permis de construire.

3.5 Critères de restriction dans le canton de Neuchâtel

Le territoire du canton de Neuchâtel est subdivisé en trois régions (carte disponible sur <http://sitn.ne.ch/index.html>) :

1. Régions où l'implantation de sondes géothermiques verticales est strictement interdite

- Projet situé en zone S de protection des captages d'eau souterraine (S1, S2 et S3).
- Présence d'ouvrages souterrains (galeries, tunnels) sous le site d'implantation des sondes.
- Présence ou proximité de sites pollués à l'aplomb du site prévu pour le forage.
- Remarque : les zones sujettes à des glissements de terrain et éboulements ainsi que les zones de dangers liées aux inondations n'étant pas encore connues de manière définitive, elles ne sont pas encore intégrées dans les zones interdites.

2. Régions où l'implantation de sondes géothermiques verticales est interdite. Une dérogation est possible sous certaines conditions

- Risque de porter atteinte aux nappes d'eau souterraine et de modifier les écoulements souterrains. Le canton de Neuchâtel est constitué d'une alternance de couches calcaires (souvent aquifères) et de couches marneuses (imperméables). Pour préserver au mieux tant d'atteintes qualitatives et quantitatives les eaux souterraines (qui couvrent le 90% de nos besoins en eau de boisson) il est important de ne pas altérer les couches imperméables (marnes) qui les protègent. La mise en contact de deux unités aquifères superposées par un forage est une atteinte irréparable et définitive. La carte fixant les possibilités de forages est un outil qui permet de déterminer la faisabilité d'un forage dans le respect de la protection des eaux.
- Possibilité de rencontrer en cours de forage de l'eau souterraine sous pression (artésianisme), avec les risques que cela comporte pour la ressource en eau souterraine et les difficultés techniques que cela représente pour contenir la pression d'eau souterraine.
- Caractéristiques des terrains traversés pouvant se révéler particulièrement problématiques pour la réalisation de forages.



©BMICSA
Venue d'eau souterraine sous pression - ou artésienne - le long d'un forage pour sondes géothermiques verticales, Val-de-Travers 2006.



©BMICSA
Difficultés d'avancement et limitation technique de la profondeur de forage en raison des caractéristiques des terrains rencontrés (limons très fins saturés en eau).

3. Régions où l'implantation de sondes géothermiques verticales est autorisée, avec limitation de la profondeur

- Dans les secteurs autorisés, la profondeur de forage est limitée à 60, 120 ou 180 m.
- En respectant les profondeurs prescrites, on évitera en principe les situations problématiques décrites plus haut. En raison de l'hétérogénéité et la diversité du sous-sol, les imprévus d'ordre géologique (cavités karstiques, venues d'eaux artésiennes locales, terrains instables) ne sont pas exclus.

3.6 Dérogation

- Dans les régions où l'implantation de sondes géothermiques est strictement interdite, **aucune dérogation n'est accordée**. Les services compétents se tiennent à disposition du requérant pour suggérer une solution alternative à l'alimentation de la pompe à chaleur ou un autre mode de production de chaleur.
- En cas de dépassement souhaité de la profondeur maximale prescrite ainsi qu'en région interdite avec dérogation possible, l'autorité compétente pourra octroyer une **autorisation exceptionnelle** sur la base d'une étude complémentaire avec coupe géologique prévisionnelle, justifiant l'absence de risque hydrogéologique et fixant la profondeur maximale des forages. En cas d'acceptation du projet, l'autorité pourra exiger un suivi géologique en cours de forage par un géologue diplômé aux compétences reconnues.

3.7 Annonce et transmission des données géologiques de forage

- La date d'exécution doit être annoncée au SENE – Domaine environnement et au géologue avant le début des forages.
- Un relevé géologique commenté est obligatoirement transmis au SENE – Domaine environnement. Celui-ci sera établi par un géologue diplômé sur la base des cuttings prélevés tous les 2 m par l'entreprise de forage. Un standard de qualité sera exigé.
- En cas d'événement exceptionnel (artésianisme, rencontre d'ouvrage souterrain ou de formation géologique non prévue), le requérant, l'entreprise de forage et le géologue informeront immédiatement le SENE – Domaine environnement (tel. 032 889 67 30) et proposeront les mesures qu'ils entendent appliquer pour remédier aux dommages et rétablir de façon durable la situation antérieure.



4. Dimensionnement des sondes géothermiques verticales

4.1 Importance d'une installation réalisée dans les règles de l'art

Les principes de dimensionnement et d'exécution sont détaillée dans des recommandations (OFEV, 2009 ; AWP, 1996 ; SIA D025 ; VDI 4640). Dès 2009 la norme SIA 384/6 impose des obligations générales à la réalisation de sondes géothermiques verticales On formulera en particulier les recommandations et exigences suivantes :

Rôle des professionnels

- Le forage et la pose des sondes sont réalisés par des entreprises spécialisées répondant à des critères de qualité. Le Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur – Centre d'information pour les pompes à chaleur décerne un certificat de qualité aux entreprises qui satisfont à ces exigences.

Liste des entreprises de forages certifiées en Suisse : www.pac.ch

- Les caractéristiques thermiques des roches traversées par le forage et leur état de saturation en eau jouent un rôle essentiel pour le dimensionnement de la longueur des sondes. Le calcul de la longueur de sonde adéquate en fonction de la puissance thermique de la PAC doit être fait par un professionnel selon les règles de l'art et en fonction des conditions géologiques locales.

Puissance délivrée par mètre de sonde et longueur de sondes nécessaire

- La puissance thermique pouvant être fournie par mètre de sonde dépend de facteurs :
 - **Géologiques**, comme la nature des roches traversées et leur état de saturation en eau, la présence d'eau souterraine en mouvement, la valeur du flux géothermiques et l'altitude du forage (température initiale du terrain).
 - **Liés aux caractéristiques et à la géométrie de l'installation**, comme la durées de fonctionnement annuelle, l'agencement des forages (nombre, profondeur et espacement). La puissance fournie par le système peut être considérablement améliorée avec une recharge thermique estivale, par capteurs solaires thermiques ou rafraîchissement des locaux.
 - **Liés aux caractéristiques de la sonde**, comme la qualité du ciment de remplissage (conductivité thermique et résistance mécanique), le diamètre de la sonde, l'espacement suffisant entre les tubes aller et retour (utilisation de distanceurs).
- Un sous-dimensionnement de la longueur des sondes aura pour conséquence une baisse excessive de la température des sondes, avec une diminution du rendement de l'installation (surconsommation d'électricité). Dans les cas les plus extrêmes, cela pourra provoquer un gel des sondes et du sous-sol, et un affaissement du terrain au moment du dégel.
- Une longueur de sonde équivalente voire supérieure aux recommandations permettra d'optimiser consommation électrique de la PAC pour une puissance de chauffage donnée. Cela se traduira par une température moyenne à l'évaporateur de la PAC plus élevée et par et par un meilleur coefficient de performance de la pompe à chaleur, avec, au final, une diminution des frais de fonctionnement et une plus grande durabilité de l'installation.

Approximations (règles du pouce)

- Pour de petites installations et dans des conditions cadres bien définies des règles du pouce sont proposées dans les documents de référence (p. ex AWP 1996). Ces règles ne doivent être appliquées qu'en connaissance des limitations imposées par les conditions cadre (type de roche, altitude, durée d'exploitation).



Calcul et simulations numériques

- Un calcul détaillé ou une simulation numérique du comportement des sondes en fonction des particularités de l'installation sont recommandés.
- A partir d'une installation de 4 sondes, un dimensionnement détaillé est obligatoire (SIA 384/6). La méthode de calcul est détaillée dans la norme.
- Les logiciels spécialisés suivants permettent également de simuler de manière détaillée le comportement thermique des sondes géothermiques :
EED (www.buildingphysics.com), EWS (www.hetaq.ch), PileSim (www.geothermie.ch), WPCalc-EWS (www.hetaq.ch)

Distance à respecter entre les sondes

- Le prélèvement de chaleur par sonde géothermique provoque un cône d'influence thermique. Dans l'absolu, le rayon d'influence de la sonde après une exploitation de plusieurs dizaines d'années est égal à la moitié de sa profondeur.
- En pratique, la distance entre les sondes doit être supérieure à 5 m (SIA 384/6) et on recommandera un espacement minimal de 7 à 8 m.

Distance minimale à la bordure de parcelle

- Afin de limiter les influences thermiques sur les parcelles voisines, on respectera une distance de 5 m par rapport à la bordure de parcelle (directive cantonale).

Température admissible dans les sondes

- La température minimale dans les sondes au mois de février (moyenne du fluide caloporteur entre aller et retour) ne doit pas être inférieure à -1.5 °C. En pratique, pour gagner en efficacité énergétique, on recommande de prévoir une longueur de sonde suffisante pour ne pas descendre en-dessous de 0°C.

Qualité du ciment de remplissage

- Le ciment de remplissage doit répondre à des critères de résistance mécanique et de durabilité. Le rendement de la sonde (énergie soutirable) dépend fortement de la conductivité thermique du ciment de remplissage. On recommande l'utilisation de ciment conducteur ($\lambda \geq 2 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$) et de bonne résistance mécanique.

Optimisation

- Afin d'augmenter l'efficacité de la sonde, on préconise l'utilisation de distanceurs entre les tubes aller et retour.

Fluides caloporteurs

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

- 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		
- L'installation doit être pourvue d'un dispositif automatique de surveillance des fuites.

Vitesse de circulation dans les sondes

- La vitesse du fluide caloporteur circulant dans les sondes a une influence sur le rendement de l'installation. Lorsque le débit est suffisant pour que le fluide entre en régime turbulent, l'échange avec



la paroi de la sonde et le terrain sera nettement amélioré. Dans la pratique, on recherchera le début du régime turbulent en adaptant la configuration des sondes, disposées en parallèle ou en série, tout en limitant les pertes de charge et la puissance de la pompe de circulation. Pour un tube PE Ø 32 mm, avec utilisation de monopropylène glycol 33%, la vitesse devrait être ≥ 0.7 m/s pour atteindre le régime turbulent.

- Les fluides peu visqueux, comme l'eau, le méthanol, le carbonate de potassium 25-33% et le chlorure de calcium sont intéressants car ils entrent plus facilement en régime turbulent.

4.2 Impact thermique des sondes à long terme

- La ressource en chaleur du sous-sol est limitée. Les interactions possibles avec des installations voisines de prélèvement de chaleur/froid doivent être prises en considération, et ceci particulièrement en milieu urbain. Le requérant se renseignera sur la présence d'ouvrages existants aux abords du lieu d'implantation de(s) la sonde(s). En cas d'interaction possible et/ou de prélèvements thermiques supérieurs à la capacité de régénération saisonnière du sous-sol, le requérant proposera toute mesure utile pour compléter, régénérer et sauvegarder la ressource géothermique.
- Une installation standard correctement dimensionnée provoque un abaissement moyen de 1 à 4 °C de la température du terrain à proximité immédiate de la sonde. Après quelques années d'exploitation, le système atteint un équilibre et la température se stabilise. Cette baisse de température pourra entraîner une légère baisse du coefficient de performance et une augmentation des coûts d'exploitation. Les résultats de simulation indiquent qu'il faudrait arrêter l'installation sur une durée égale à la période d'exploitation (p.ex. 50 ans) pour que le terrain retrouve sa température initiale. Cette règle ne s'applique pas aux systèmes utilisant un système de recharge thermique et en présence d'une nappe souterraine active.
- La durée de vie prévue des sondes est de 50 ans (SIA 384/6) alors que celle des PAC sera d'environ 20 ans. En prévoyant une longueur de sonde supplémentaire, on pourra dans 20 ans satisfaire à la demande thermique de PAC à meilleurs coefficients de performance.

4.3 Règles de dimensionnement particulières au canton de Neuchâtel

Conductivité thermique des roches

En dehors des restrictions citées plus haut, la grande majorité des roches que l'on rencontre dans le sous-sol neuchâtelois ont des caractéristiques favorables à l'implantation de sondes géothermiques verticales. Les terrains sont constitués en majorité de roches marno-calcaires, en partie de molasse tertiaire (grès, limons, argiles et craies) et de terrains meubles limités à quelques dizaines de mètres d'épaisseur (graviers, sables et limons).

Type de roches		Conductivité thermique W/m*K	
		Sec	Saturé
Roches meubles	Argile	0,2 - 0,3	1,2 - 1,6
	Limon	0,2 - 0,3	1,4 - 2,5
	Sable	0,3 - 0,4	2,0 - 3,2
	Gravier	0,3 - 0,4	2,5 - 3,3
Roches cohérentes	Calcaire (non fracturés)	2,8 - 3,3	2,8 - 3,3
	Marne	1,5 - 1,8	2,3 - 2,9
	Grès	1,8 - 3,5	2,3 - 4,0
	Dolomie	2,8 - 3,8	3,5 - 4,5

Conductivité thermique des roches : Tables et documents divers. Documents SIA D025 et D0136



Calcul de la puissance soutirable et longueur des sondes

La table suivante, donnée à titre d'exemple, permet de calculer la puissance maximum soutirable par mètre de sonde en double U en fonction de la conductibilité thermique des roches et des caractéristiques de l'installation.

Conductivité thermique du terrain λ (W/mK)	Puissance maximum soutirable du terrain en Watts par mètre de sonde en double U (sonde unique altitude 400 m.s.m.)			
	Avec production d'eau chaude 2'200 heures par an		Sans production d'eau chaude 1'800 heures par an	
	Sans nappe souterraine	Avec une nappe souterraine active	Sans nappe souterraine	Avec une nappe souterraine active
1.0	29.8	35.0	31.6	36.6
1.1	30.9	36.2	32.8	37.8
1.2	32.1	37.3	34.0	39.0
1.3	33.2	38.5	35.1	40.2
1.4	34.2	39.6	36.2	41.3
1.5	35.3	40.6	37.3	42.4
1.6	36.3	41.7	38.4	43.4
1.7	37.3	42.7	39.4	44.5
1.8	38.3	43.8	40.5	45.6
1.9	39.4	44.8	41.6	46.7
2.0	40.4	45.8	42.6	47.7
2.1	41.4	46.8	43.7	48.7
2.2	42.4	47.8	44.7	49.7
2.3	43.4	48.8	45.6	50.7
2.4	44.3	49.7	46.6	51.6
2.5	45.3	50.6	47.6	52.5
2.6	46.2	51.5	48.5	53.4
2.7	47.1	52.4	49.4	54.3
2.8	47.9	53.3	50.3	55.1
2.9	48.8	54.0	51.2	55.9
3.0	49.7	54.8	52.0	56.7
3.1	50.5	55.6	52.9	57.5
3.2	51.3	56.4	53.7	58.3
3.3	52.1	57.2	54.7	59.1
3.4	52.9	57.8	55.3	59.8
3.5	53.7	58.6	56.3	60.5
3.6	54.4	59.3	56.8	61.1
3.7	55.2	60.0	57.5	64.7
3.8	55.9	60.6	58.3	65.5
3.9	56.6	61.2	59.0	63.1
4.0	57.3	61.7	59.7	63.7

Référence B Sanner, D-35390 Giessen, en utilisant le modèle de calcul EED.

- Ces valeurs sont le résultat de simulation avec le logiciel EED et sont applicables à des installations d'une puissance de chauffage de l'ordre de 10 kW ou inférieures à une altitude correspondant au Bas du canton.
- Le calcul est valable pour une sonde unique exécutée dans les règles de l'art selon les conditions précitées. Il n'est pas tenu compte d'interactions entre des sondes en terre qui s'influenceraient mutuellement.



- Dans le cas d'installations de puissance supérieure à 10 kW, en particulier dans le cas d'immeubles locatifs bien isolés, un surdimensionnement des sondes est nécessaire pour couvrir la part de la production d'eau chaude qui devient prépondérante.
- Considérer que ces valeurs sont des maxima qui ne doivent pas être dépassées. En cas de doute, choisir la conductivité thermique la plus basse.

Exemple :

Puissance de la PAC	8.5 kW
COP de la PAC	3.5
Puissance extraite du terrain	6.1 kW soit 6'100 W
Conductivité du terrain (marnes et calcaires non saturés)	2.2 W/mK
Eau souterraine en mouvement	non
Production d'eau chaude sanitaire	oui
Puissance nominale selon table	42.4 W/m
Longueur de la sonde (6'100/42.4)	144 mètres

Altitude de l'installation et température moyenne de l'air

- Le canton de Neuchâtel est constitué de régions aux caractéristiques climatiques différentes. La durée de la période de chauffage doit être prise en compte dans le dimensionnement de l'installation (nombre et répartition des degrés-jour).
- La température moyenne annuelle de l'air influence la température du sous-sol à une profondeur donnée. Ce facteur a une très grande influence sur le dimensionnement des sondes.
- Pour des sondes uniques de 30 à 180 m de profondeur, il convient de réduire la puissance exploitable par mètre de sonde de **-2.5 à -3.0 W/m** par degré d'abaissement de la température annuelle moyenne de l'air par rapport à une installation dans le Bas du canton. Cet abaissement est d'environ 0.55 degrés par 100 m d'altitude. Un calcul précis devrait être effectué en utilisant la norme SIA 384/6 ou un logiciel spécialisé.
- Pour une petite installation, l'adaptation de longueur des sondes sera de **~+25 %** à la Chaux-de-Fonds et de **~+35 %** à la Brévine.

Emplacement de l'installation et température moyenne de l'air	Adaptation de la puissance exploitable par rapport à une sonde implantée dans le bas du canton (indicatif)	Adaptation de la longueur de sonde nécessaire en fonction de l'altitude de l'installation (indicatif)
	W/m	%
Neuchâtel (10.2 °C)	0.0	0
La Chaux-de-Fonds (7.1°C)	- 9.3	+25
La Brévine (5.8°C)	-13.2	+35

Effet de la température annuelle moyenne sur le dimensionnement de la longueur des sondes Résultats de simulation EED. Calcul pour une sonde unique en double U, approximation pour une installation de faible puissance.

Rendement réduit des sondes dans les massifs calcaires

- Les reliefs du canton sont souvent constitués de massifs calcaires dont une partie de la chaleur est drainée et évacuée par les sources karstiques. Dans certains secteurs, le flux géothermiques est réduit et l'élévation de la température avec la profondeur est quasiment nulle jusqu'à une profondeur de quelques centaines de mètres.
- Pour des petites installations implantées dans ces conditions, avec forages de 30 à 120 m de profondeur, on comptera une longueur de sonde supplémentaire de l'ordre de **+15%**.
- Pour les forages plus profonds que 120 m, la longueur de sonde supplémentaire peut atteindre **+30%**.



- Les régions où il faut tenir compte d'une réduction du flux géothermique sont en général situées sur les reliefs, en dehors des zones densément peuplées. Pour s'informer si l'on doit tenir compte de cet effet dans le dimensionnement de l'installation, le projeteur consultera un spécialiste du sous-sol.

Sondes multiples

- La multiplication du nombre de sondes exigera que l'on maintienne une distance suffisante entre les sondes afin d'éviter la surexploitation thermiques et que l'on revienne à la baisse la puissance extraite par mètre de sonde. Dans le cas de champs de sondes, le stockage de chaleur-ou la recharge thermique durant l'été est la règle et permet d'augmenter la puissance extraite du terrain en hiver.

5. Contacts et documentation

Recherche d'informations, conseils et documentation

- Service de l'énergie et de l'environnement – Domaine environnement, Rue du Tombet 24, 2034 Peseux tel. 032 889 67 30, Sene.Environnement@ne.ch
- Centre de conseils InfoEnergie du canton de Neuchâtel : tel. 032 889 47 26, InfoEnergie@ne.ch
- Service de l'énergie et de l'environnement – Domaine énergie
Tivoli 16, 2000 Neuchâtel, tel. 032 889 67 20, Sene.Energie@ne.ch
- Groupement promotionnel suisse pour la pompe à chaleur : tel. 021 310 30 10, www.pac.ch
- Société suisse de géothermie : www.geothermie.ch
- Conférence romande des délégués à l'énergie : www.crde.ch
- Conférences des directeurs cantonaux de l'énergie : www.endk.ch
- Conseils pour des économies d'énergie : www.energie.environnement.ch
- Association Neuchâteloise d'information en matière d'énergie : www.animenergie.ch

Choix des partenaires

- Groupement promotionnel suisse pour la pompe à chaleur : tel. 021 310 30 10, www.pac.ch
Liste des entreprises de forage et des pompes à chaleur certifiées

Pour en savoir plus ..

- Norme SIA 384/6, Sondes géothermiques. A paraître en automne/hiver 2009.
- Office fédéral de l'environnement 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 la géothermie.
- SIA 1988. Doc. SIA D025 Base de dimensionnement des systèmes exploitant la chaleur du sol à basse température. www.sia.ch
- SIA 2003. Doc. SIA D179. Energie aus dem Untergund. Erdreichspeicher für modern Gebäudetechnik. www.sia.ch
- Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen, 1996. Merkblatt T1: Wärmepumpen-heizenanlagen mit Erdwärmesonden. AWP Zurich. Download: www.pac.ch
- VDI-Richtlinien 4640: Thermische Nutzung des Untergrundes Blätter 1-4. 2000/2001. Beuth Verlag GmbH, Berlin. www.beuth.de