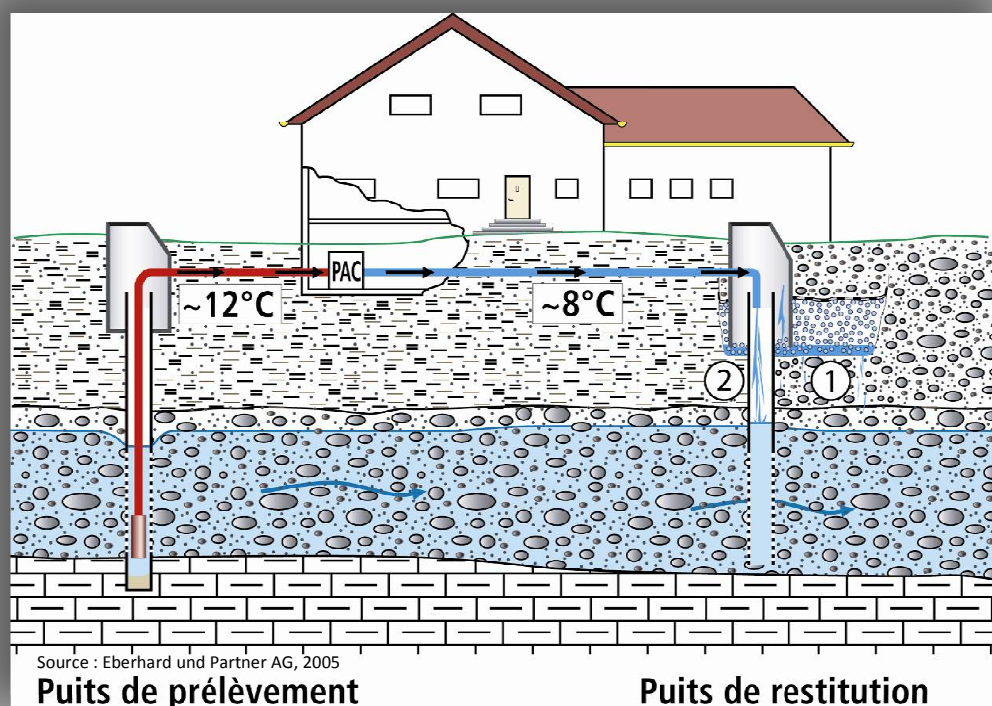




Programme cantonal de développement de la géothermie à Neuchâtel

Exploitation de la chaleur des nappes phréatiques de faible profondeur

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



Novembre 2009

Document établi par :

Groupe 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

Les nappes phréatiques de faible profondeur du canton de Neuchâtel sont d'extension limitée et sont pour la plupart déjà exploitées pour la production d'eau potable. Dans les secteurs autorisés, l'exploitation de l'eau souterraine des nappes phréatiques pour la production de chaleur ou de froid (hydrothermie) doit être encouragée car les eaux souterraines sont une ressource thermique d'excellente qualité et permettent de réaliser des systèmes à bonne efficacité énergétique.

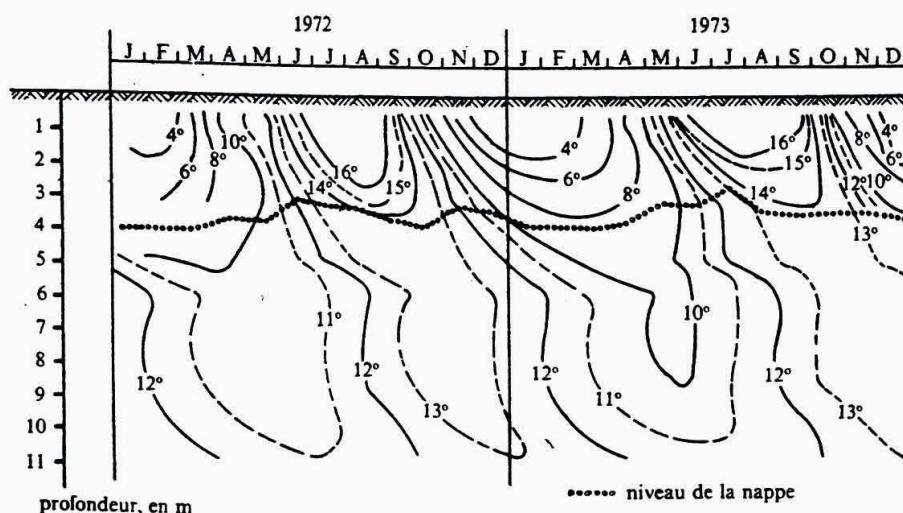
Ce guide d'aide au dimensionnement a pour objectif de promouvoir l'utilisation de la chaleur des nappes phréatiques et d'informer les utilisateurs (entreprises, propriétaires, professionnels actifs dans le domaine de l'énergie) sur les principes généraux d'exploitation. Le dimensionnement des installations sur nappe phréatique reste du ressort de spécialistes car l'entreprise est relativement délicate.

2. Principe d'exploitation

- L'eau des nappes souterraines est une excellente ressource thermique car sa température est stable toute l'année, avec des moyennes annuelles situées entre 7.5°C (Jura) et 13.0°C (Littoral). La température des nappes peu profondes enregistre les variations de températures saisonnières mais de manière atténuée et décalée de quelques mois par rapport à la surface. Dans le canton de Neuchâtel, la température des nappes est rarement inférieure à 6°C et ne dépasse que de manière exceptionnelle 15°C, ce qui en fait une ressource intéressante pour la production de froid également. A titre indicatif on peut dire que la température annuelle moyenne d'une nappe souterraine ou d'une source est de 1 degré supérieure à la température moyenne annuelle de l'air sur son bassin versant.

BASE DE DIMENSIONNEMENT DES SYSTEMES EXPLOITANT LA CHALEUR DU SOL A BASSE TEMPERATURE

Figure 2.4 Température de l'eau de la nappe des alluvions de l'Aar, région de Beznau, en 1972-73.
R. Veya et E. Hardy (1978).



Variation de la température du sous-sol avec la profondeur et en fonction de la saison illustrant l'influence de la nappe souterraine sur la stabilité saisonnière de la température. (source : SIA D025)

- En Suisse, l'exploitation hydrothermique des nappes phréatiques ne représente que le 2% des installations couplées à des pompes à chaleur (PAC). Dans le canton de Neuchâtel, on recense une trentaine d'installations dont la plupart sont utilisées pour la production de froid (freecooling). L'énergie totale exploitée est de 5 MWh/an (état en 2009). Il existe un fort potentiel de développement pour ce type d'installations.
- L'eau souterraine est généralement pompée par un ou plusieurs puits filtrant(s) profond(s) de quelques mètres et acheminée vers la PAC. L'eau est refroidie de 3 à 4°C dans l'évaporateur de la PAC et transmet



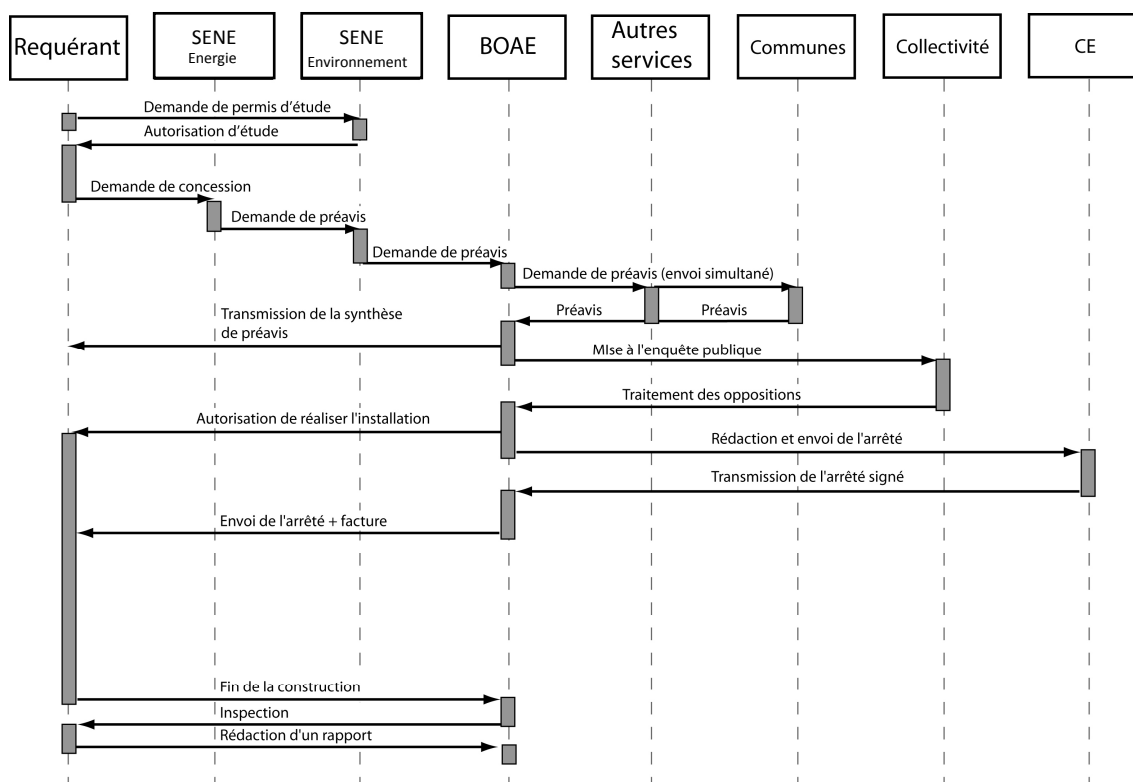
ainsi son énergie thermique. Lorsque l'eau de la nappe transite par un échangeur intermédiaire, on parle de système indirect.

- Les pompes à chaleur alimentées par la chaleur de l'eau souterraine sont des PAC eau/eau. Comme la production de chaleur dépend essentiellement du débit pompé et de la température de la ressource, on peut fournir des puissances considérables lorsque le sous-sol est très perméable (ordre de grandeur : jusqu'à 1 MW par installation).
- Les coefficients de performance des PAC sur eau de nappe sont très bons, car la température de la ressource est élevée, et qu'elle ne subit pas de dégradation sur la durée d'exploitation. Avec une installation de qualité, l'eau souterraine fournit environ 80% de l'énergie thermique à la sortie de la pompe à chaleur. Le 20% restant est fourni à la PAC sous forme d'électricité.

3. Procédure d'autorisation

3.1 Bases légales

- Les bases légales suivantes sont applicables pour l'exploitation hydrothermique des eaux souterraines :
 - 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)
 - L'Ordonnance sur la protection des eaux du 28 octobre 1998 (OEaux, RS 814.201)
 - 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)
- L'usage hydrothermique des eaux souterraines est soumis à concession.
- La demande de concession doit être précédée d'une étude faite sur le terrain. Le permis d'étude est accordé par le Département de la gestion du territoire sur la base d'une demande suffisamment détaillée.
- La procédure en vigueur dans le canton de Neuchâtel est détaillée sur le tableau suivant.



Procédure de demande de concession en vigueur dans le canton de Neuchâtel (source : BOAE). Abbrév. SENE : Service de l'énergie et de l'environnement ; BOAE : Bureau des ouvrages d'art et de l'économie des eaux (Service ponts et chaussées). CE : Conseil d'Etat.



3.2 Permis d'étude

- Conformément à la Loi cantonale sur les eaux du 24 mars 1953, une demande de permis d'étude est adressée au Service de l'énergie et de l'environnement (SENE) – Domaine environnement.
- Lorsque le requérant contacte le SENE – Domaine environnement pour demander le permis d'étude, il devra fournir les coordonnées du prélèvement et du rejet, le débit maximum prélevé et durée annuelle de fonctionnement de l'installation.
- Le Département de la gestion du territoire délivre le permis d'étude sous la forme d'une décision spéciale (autorisation permettant de réaliser un forage pour un essai de pompage d'une durée et d'un débit déterminé, de collecter toutes les données utiles pour évaluer la faisabilité du projet et pour la demande de concession).

3.3 Demande de concession

- La demande de concession se fait au moyen du justificatif EN-NE60 utilisation de pompe à chaleur (PAC) de la république et canton de Neuchâtel. Le formulaire est disponible sous :
 - > www.ne.ch/energie rubrique "Police des constructions"
 - > www.endk.ch rubrique "Professionnels"
- La demande de concession est accompagnée des résultats de l'étude préalable, sous la forme d'une note technique établie par un hydrogéologue diplômé.
- Le dossier de demande de concession 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

3.4 Renseignements à fournir avec la demande de concession

- L'étude préalable qui motive et justifie la demande de concession doit notamment renseigner sur :
 - Le descriptif exact de l'installation, avec localisation des points de prélèvement et de rejet, la quantité d'eau pompée et l'énergie soutirée à la nappe.
 - Les installations de captage voisines. Un inventaire des concessions existantes peut être demandé au Bureau des ouvrages d'art et de l'économie des eaux (BOAE)
 - Les données hydrauliques sur l'aquifère et l'impact éventuel sur les concessions voisines et sur la stabilité du milieu construit. Le degré de détail dépend du débit pompé et de la différence de température entre le prélèvement et la réinfiltration. Pour des différences de température entre le captage et le rejet supérieures à 3°C, la pose de 2 tubes piézométriques à l'aval des écoulements permettant de mesurer la température est exigée.

3.5 Octroi de la concession

- Au cours de la procédure, les services cantonaux et la commune sont consultés pour préavis. En cas de préavis positif, la concession est mise à l'enquête publique et un arrêté est rédigé par le Conseil d'Etat.
- La concession sur l'usage d'eau souterraine est octroyée pour une durée de 15 ans, renouvelable.

3.6 Permis de construire

- En cas de demande de permis de construire, la demande de concession est jointe à la demande. En principe, pour les petites installations, une demande de permis de construire spécifique en parallèle à la demande de concession n'est pas requise pour ce type d'installations de captage et de rejet.



4. Possibilités et restrictions dans le canton de Neuchâtel

4.1 Possibilités d'exploitation

- Les possibilités d'exploiter la ressource thermique des nappes souterraines dépend étroitement des propriétés du sous-sol comme :
 - La présence d'une zone saturée en eau et d'épaisseur suffisante
 - Les propriétés hydrauliques des graviers aquifères, qui doivent être suffisamment perméables pour pouvoir capter le débit souhaité
 - La qualité chimique et la température de l'eau souterraine

- Une carte sur les possibilités d'exploitation thermiques des nappes phréatiques dans le canton de Neuchâtel peut être consultée sur <http://sitn.ne.ch/index.html>

La carte a pour objectif de mettre en évidence les sites où l'exploitation de l'eau souterraine pour du chauffage ou du rafraîchissement peut être envisagée pour des installations de petite dimension. La carte ne donne aucune indication sur les débits réellement exploitables. Une évaluation plus précise des conditions hydrogéologiques est exigée pour la réalisation de tout projet (étude préalable).

- Dans le canton de Neuchâtel en particulier, un des moyens les plus élégants pour capter la chaleur de l'eau souterraine pourrait consister à exploiter la chaleur (ou le froid) de quelques grandes sources karstiques (Source de la Doux, de la Serrière, de la Noiraigue). Dans ce cas, c'est la législation régissant l'exploitation de la chaleur des cours d'eau qui s'applique.

4.2 Principales restrictions

- Les nappes phréatiques exploitables à faible profondeur ne sont présentes que sur 2% de la surface du canton et sont très souvent exploitées pour la production d'eau potable de qualité. Ces réserves d'eau potable doivent être protégées en priorité. La réalisation de captages hydrothermiques en zone S de protection des captages d'eau souterraine (S1, S2 et S3) est interdite pour des raisons légales.

La répartition des zones de protection des eaux peut être consultée sur <http://sitn.ne.ch/index.html>

- Le respect des zones de protection n'est cependant pas suffisant pour éviter toute interaction avec les captages d'eau publics ou privés. A proximité de captages existants, on doit s'assurer de ne pas provoquer de dégradation de la quantité et la qualité d'eau pompée par une modification des écoulements souterrains.
- De plus, il faut éviter de provoquer un impact thermique significatif et préjudiciable (modification de la température de l'eau exploitée) sur les concessions hydrothermiques existantes.
- En cas de présence de site pollué à l'aplomb du site prévu pour le captage, l'installation pourra être interdite. Le cas échéant des précautions complémentaires pourront être exigées (sondages préalables, analyses chimique complètes,...).

Le cadastre des sites pollués du canton de Neuchâtel peut être consulté sur <http://sitn.ne.ch/index.html>



5. Règles de dimensionnement

5.1 Généralités

Les principes de dimensionnement et d'exécution sont détaillés dans des recommandations (p. ex. OFEV, 2009).

5.2 Règles de dimensionnement et exigences particulières

Rôle des professionnels

- La dynamique des eaux souterraines est un processus complexe et son interaction avec les eaux de surface, la biosphère et le milieu construit bien souvent difficile à évaluer. De plus, les impacts thermiques sont difficiles à maîtriser. C'est pourquoi le dimensionnement doit se faire au cas par cas par un spécialiste (hydrogéologue) et il n'existe pas de « règles du pouce » pour le dimensionnement de telles installations.
- Pour le choix de la pompe à chaleur, il existe un certificat de qualité.

Liste des PAC certifiées en Suisse : www.pac.ch

Calcul du débit d'exploitation

- Dans le cas où on alimente une pompe à chaleur, la puissance soutirée à la nappe souterraine ainsi que le débit d'exploitation sont calculés en fonction de la puissance de la pompe à chaleur et de son coefficient de performance.
- On calcule le débit d'exploitation $\dot{m}$ avec la relation suivante :

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{(T_1 - T_2) \cdot C} \quad \text{où :} \quad \dot{Q}_{evap} = \dot{Q}_{PAC} \frac{(COP - 1)}{COP}$$

avec : $\dot{m}$: Débit pompé en (kg/s)

$\dot{Q}_{evap}$: Puissance à l'évaporateur de la PAC en (W) ou (J/s)

$\dot{Q}_{PAC}$: Puissance thermique de la pompe à chaleur en conditions normalisées en (W) ou (J/s)

T_1 : Température de l'eau souterraine à l'entrée de la PAC en (K)

T_2 : Température de l'eau souterraine à l'entrée de la PAC en (K)

C : Chaleur spécifique de l'eau = $4.18 \cdot 10^3 \text{ (J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$

COP : Coefficient de performance de la PAC en conditions normalisées

Dans le cas où on exprime le débit en litres par minute et la puissance à l'évaporation en kW, et qu'on admet que la chaleur spécifique de l'eau est une constante, on a :

$$\dot{m} \text{ (l/min)} = \frac{\dot{Q}_{evap} \text{ (kW)}}{(T_1 - T_2)} \cdot 14,3$$

Exemple :

Puissance thermique de la PAC :	8.5 kW
COP en conditions normalisées W10/W35 :	5
Puissance à l'évaporateur de la PAC :	6.8 kW
T_1 :	12 °K
T_2 :	9 °K
soit ΔT d'exploitation :	3°K
Débit d'exploitation :	32 l/min



Installation de captage

- Les propriétés hydrauliques de la nappe et du sous-sol doivent être connues (gradient hydraulique et direction des écoulements, perméabilité), ou déterminées par un spécialiste.
- L'installation ne doit pas porter atteinte au milieu construit. L'abaissement du niveau de la nappe ou le dessablage progressif du terrain par pompage peut dans certains cas causer des dommages aux ouvrages ou bâtiments voisins.
- Les caractéristiques du puits de pompage (type d'ouvrage, profondeur, diamètre, détail des crépines) et son emplacement sont choisis en fonction des caractéristiques locales et du débit. En cas de terrains insuffisamment perméables ou en présence de terrains fins, on pourra réaliser plusieurs puits filtrants pour capter le débit nécessaire. Ces techniques de dimensionnement sont en principe maîtrisées par un hydrogéologue.
- Le plus souvent, l'installation sera constituée d'un puits filtrant semblable au schéma ci-dessous.

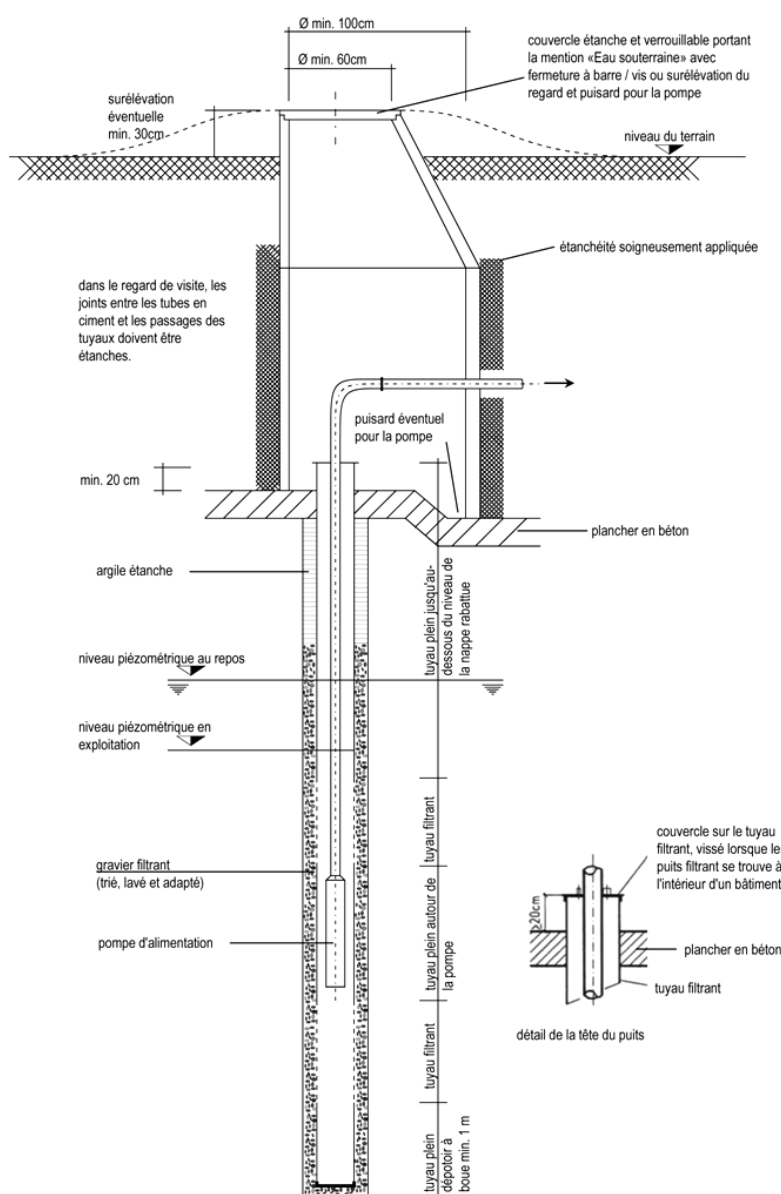


Schéma de principe d'un puits filtrant pour le captage des eaux souterraines (source : OFEV, 2009)



Installation de rejet

- La restitution de l'eau pompée permet de limiter l'impact sur le stock d'eau souterraine ainsi que sur le débit des ouvrages déjà existants.
- Après avoir été refroidie ou réchauffée, l'eau doit être restituée à la nappe, en général à l'aval des écoulements souterrains, par l'intermédiaire d'un ouvrage d'infiltration. L'infiltration peut être réalisée par puits ou tranchée d'infiltration si les premiers mètres du sous-sol sont suffisamment perméables, ou par puits d'injection de caractéristiques similaires au puits de pompage si les terrains superficiels sont peu perméables.
- Pour des cas exceptionnels (p.ex. surface limitée), une autorisation pourra être délivrée pour rejeter les eaux dans la rivière la plus proche.

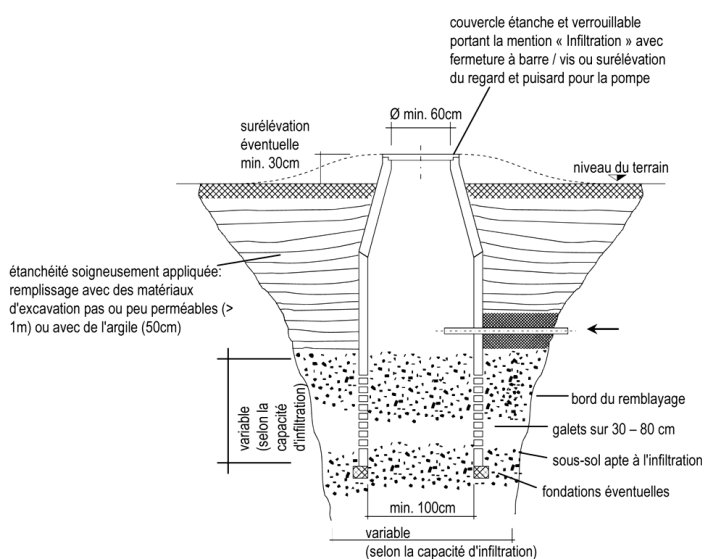


Schéma de principe d'un puits d'infiltration (source : OFEV, 2009)

Chambres d'accès

- Les ouvrages de prélèvement et de rejet doivent être accessibles par chambre d'accès et doivent satisfaire aux obligations standards (profondeur, diamètre, détail d'exécution).

Influence thermique du rejet

- Le rejet des eaux refroidies (ou réchauffées) dans le milieu souterrain va modifier localement la température de la nappe. L'influence du rejet thermique dépendra notamment du débit prélevé-rejeté, de l'épaisseur de l'aquifère et de la vitesse des écoulements souterrains. En règle générale, un rejet de chaleur dans une nappe à écoulements rapide sera plus rapidement dispersé et aura moins d'influence à long terme sur la température de la nappe.
- L'impact thermique du rejet doit répondre aux exigences légales : la modification de la température de la nappe par rapport à son état naturel doit être inférieure à **3°C** (mesuré dans un rayon de 100 m à partir du point de rejet). Aux abords immédiats du puits, le refroidissement/réchauffement peut être plus important.
- Le rejet doit être suffisamment éloigné du captage pour éviter les phénomènes de recyclage thermique (les eaux froides rejetées influencent la température des eaux captées). Dans ce cas, on assistera à un refroidissement progressif de la ressource avec une perte de rendement de la PAC voire un arrêt forcé de l'installation en raison du risque de gel. L'espacement minimal doit être calculé avec le plus grand soin au moyen de formules appropriées.
- On s'assurera également que le site du projet n'est pas sous l'influence d'un rejet thermique voisin.



Stockage de chaleur - régénération thermique de l'aquifère

La production de froid en été peut contribuer à maintenir l'équilibre thermique de la nappe. Cette solution n'est en principe efficace que si les vitesses d'écoulement de la nappe sont relativement faibles.

En cas de production de chaleur en hiver et de froid en été, la nappe souterraine peut être utilisée comme stockage saisonnier de chaleur. Une solution intéressante consiste à alterner les sites de pompage et de rejet en fonction de la saison (systèmes de doublet réversibles), avec pour effet une amélioration de l'efficacité énergétique de la PAC en hiver.

Regroupement des installations

Pour une question de coûts, ce type d'installation est en général recommandé pour de grandes puissances (immeubles, bâtiments publics, centres commerciaux,...). Pour une exploitation optimale des ressources thermiques de la nappe et afin de limiter les influences réciproques, on aura intérêt à regrouper l'exploitation en centralisant le captage et en desservant les utilisateurs (p.ex. un quartier de villas) par un réseau de distribution d'eau de nappe.

Autres exigences et recommandations

- Les ouvrages de captage et de rejet sont dimensionnés pour un débit d'exploitation donné en fonction des caractéristiques de la nappe. Le débit d'exploitation maximum du puits ne doit pas être dépassé (risques d'ensablement).
- Le puits de captage doit être correctement nettoyé et développé (absence de sable et de fines) avant la mise en service. Pour cela, un essai de pompage de plusieurs jours est recommandé.
- Un filtre (simple ou à lavage à contre courant), un bypass temporaire avant la PAC ainsi qu'un échangeur intermédiaire sont recommandés si l'on observe du sable dans les eaux pompées.
- Les nappes phréatiques peuvent parfois contenir des eaux réactives, peu oxygénées et chargées en fer et manganèse. Ces eaux ont un fort pouvoir incrustant qui peut conduire à de sérieuses difficultés d'exploitation, voire à une impossibilité d'exploiter les eaux, d'autant plus si aucune précaution n'est prise au niveau de l'exploitation et des installations techniques (échangeurs, filtres, type de pompe, système de circulation,...). Pour les grandes installations, un système de traitement des eaux peut résoudre la question.
- Une analyse chimique des eaux pompées (pH, oxygène dissous, fer, manganèse, dureté, carbone organique dissous, ...) devrait être effectuée lors de l'étude préalable.
- En cas de doute sur la qualité des eaux (eau dure, sable, fer dissous), il est préférable de travailler en circuit fermé et d'éviter tout contact avec l'air ambiant. On choisira d'installer un échangeur intermédiaire ou une PAC avec échangeurs tubulaires résistant à l'encrassement.
- La température de l'eau pompée doit être suffisante lors des extrêmes saisonniers. De plus, lors de l'exploitation, il faut éviter de modifier la température du milieu en attirant des eaux plus froides ou plus chaudes en provenance de systèmes connectés (rivières, lac, plans d'eau).

Calcul et simulations numériques

- Un calcul détaillé ou une simulation numérique du comportement thermique de la nappe est recommandé.
- Le logiciel GED (www.colenco.ch/eng/depts/ge/ged_order.html) permet de simuler de manière relativement simple le comportement thermique de la nappe en fonction des caractéristiques de base de l'installation.



6. Contacts et documentation

Recherche d'informations, conseils et documentation

- 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
- Conférence romande des délégués à l'énergie : www.crde.ch
- Groupement promotionnel suisse pour la pompe à chaleur : tel. 021 310 30 10, www.pac.ch
- Société suisse de géothermie : www.geothermie.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/chiffres_02.html Liste des pompes à chaleur certifiées

Etude préalable, questions relatives aux zones de protection des eaux et du sous-sol

- Service de l'énergie et de l'environnement – Domaine environnement, Rue du Tombet 24, 2034 Peseux
tel. 032 889 67 30, Sene.Environment@ne.ch

Concessions existantes et suivi du dossier de concession

- Service des Ponts et Chaussées, Bureau des ouvrages d'art et de l'économie des eaux (BOAE), Pourtalès
13, 2000 Neuchâtel tel. 032 889 67 10, Service.PontsChaussees@ne.ch

Pour en savoir plus. ..

- 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
www.bafu.admin.ch/publikationen
- VDI-Richtlinien 4640: Thermische Nutzung des Untergrundes Blätter 1-4. 2000/2001. Beuth Verlag GmbH, Berlin. www.beuth.de
- Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen AWP 2007: T3: Wärmequellennutzung Grundwasser. Technische Arbeitsblätter AWP. Zürich. www.awpschweiz.ch
- J.-P. Sauty, 1981 : Du comportement thermique des réservoirs aquifères exploités pour le stockage d'eau chaude ou la géothermie de basse enthalpie. Thèse, institut national polytechnique, Grenoble. Pour ceux qui souhaitent connaître les fondamentaux de la thermodynamique des écoulements souterrains.