



EHESP

Ingénieur d'Études Sanitaires

Promotion : **2007 - 2008**

Date du Jury : **septembre 2008**

**Géothermie, qualité des eaux
souterraines et périmètres de
protection :
Quelle compatibilité ?**

Manuel RODICQ

Remerciements

Qu'il soit petit ou grand, logistique, intellectuel ou moral votre soutien mérite bien quelques mots.

M. Christian MANNSCHOTT, Ingénieur du Génie Sanitaire et chef du service santé environnement de la DDASS de Meurthe-et-Moselle, pour les conseils et la proposition d'un sujet passionnant.

M. Jean CARRE, enseignant, chercheur et expert en hydrogéologie et Santé Publique à l'EHESP pour l'apport de données et le suivi à distance.

Tout le personnel du service santé environnement de la DDASS de Meurthe-et-Moselle pour la bonne humeur quotidienne et des conditions de travail remarquables. A ce propos un merci particulier à Gwladys pour m'avoir supporté dans son bureau.

Je n'oublierai pas les partenaires qui ont acceptés de m'aider dans ma tâche :
M. Jean-Luc JANEL et Mme Anne-Catherine LADERRIERE (DDAF 54), M. Xavier MARLY (DIREN Lorraine), M. Robert MAZZOLENI (DRIRE Lorraine), Mme Christelle MEIRISSONE (DDASS 57), Mlle Gaëlle CHATEAU (DGS), Mme Anne NOVELLI (AFSSA), la société sas-raffner et les hydrogéologues agréés du département de Meurthe-et-Moselle.

Merci également à Claire, Florent et Rémi et aux familles Rodicq Gérard et Saint-Mard pour l'accueil à Nancy.

Et merci à Juliette et à Nino

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
1 ELEMENTS DE CONTEXTE.....	3
1.1 Le cadre de travail.....	3
1.2 Le département.....	3
1.3 Le cadre géologique et hydrogéologique de la Meurthe et Moselle.....	4
1.4 La protection des ressources en eau en Meurthe et Moselle.....	5
2 ELEMENTS TECHNIQUES CONCERNANT LA GEOTHERMIE.....	5
2.1 Les procédés.....	5
2.1.1 La géothermie "vraie".....	5
2.1.2 La pompe à chaleur.....	5
A) Les PAC Air – Air et Air – Eau.....	6
B) La PAC avec prélèvement d'eau.....	7
C) La PAC géothermique.....	7
2.2 Les installations.....	7
2.2.1 Avec prélèvement d'eau.....	7
A) Les caractéristiques de la nappe.....	8
B) Les ouvrages.....	9
C) Les conditions de chantier.....	12
2.2.2 Avec sondes verticales.....	13
A) Les ouvrages.....	13
B) Les sondes et les conditions de pose.....	14
C) Les fluides caloporteurs.....	14
2.2.3 Avec sondes horizontales.....	15
3 CADRE REGLEMENTAIRE.....	16
3.1 Pour la géothermie.....	16
3.1.1 Le Code Minier.....	16
3.1.2 Le Code de l'Environnement.....	17
A) La loi sur l'eau.....	17
B) Les installations classées pour la protection de l'environnement.....	18
3.1.3 Le Code de la Santé Publique.....	18
3.1.4 Le Code Général des Collectivités Territoriales.....	18
3.2 Pour les périmètres de protection.....	18

4	LES PROBLEMES QUI SE POSENT.....	19
4.1	Un cadre juridique très (trop ?) ouvert.....	19
4.2	Des techniques pouvant porter atteinte à la ressource en eau.....	20
4.2.1	Cas des prélèvements d'eau.....	20
4.2.2	Cas des sondes verticales.....	20
4.2.3	Cas des sondes horizontales	21
5	PROPOSITIONS.....	21
5.1	Moyens d'actions ou de contrôle.....	21
5.1.1	Travail sur le risque glycol	22
5.1.2	Information auprès des installateurs	22
5.1.3	Modification de la réglementation.....	22
A)	Améliorer la connaissance des projets	22
B)	Limiter le développement anarchique des ces installations.....	23
C)	Développer une surveillance des installations par un organisme de contrôle indépendant	23
5.1.4	Intégration de prescriptions dans les arrêtés préfectoraux de déclaration d'utilité publique des périmètres de protection de captages	24
A)	Dans les périmètres de protection immédiate.....	24
B)	Dans les périmètres de protection rapprochée.....	24
C)	Dans les périmètres de protection éloignée	25
5.2	Pertinence et faisabilité.....	25
	CONCLUSION	27
	BIBLIOGRAPHIE	29
	LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	A
	LISTE DES ANNEXES.....	I

Liste des sigles utilisés

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie.
AFNOR : Association Française de Normalisation.
AREL : Agence Régionale de l'Environnement en Lorraine.
BRGM : Bureau de Recherche Géologique et Minière.
CIELE : Centre d'Information sur l'Energie et L'Environnement.
CGCT : Code Général des Collectivités Territoriales.
DDAF : Direction Départementale de l'Agriculture et la Forêt.
DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales.
DDE : Direction Départementale de l'Equipeement.
DGS : Direction Générale de la Santé.
DIREN : Direction Régionale de l'Environnement.
DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement.
DUP : Déclaration d'Utilité Publique.
EDCH : Eau Destinée à la Consommation Humaine.
ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.
IES : Ingénieur d'Etudes Sanitaires.
IGS : Ingénieur du Génie Sanitaire.
INSERM : Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale.
OIEau : Office International de l'Eau.
PAC : Pompe à Chaleur.
PPE : Périmètre de Protection Eloignée.
PPI : Périmètre de Protection Immédiate.
PPR : Périmètre de Protection Rapprochée.
RESE : Réseau d'Echange en Santé Environnementale.
TS : Technicien Sanitaire.
SSE : Service Santé Environnement.

Introduction

Le réchauffement climatique, la hausse du prix du pétrole et avec elle la hausse du prix de toutes les énergies fossiles impliquent aujourd'hui un engouement pour les énergies renouvelables. Hier très peu accessibles, elles sont devenues incontournables aujourd'hui, lorsque l'on aborde le sujet de l'énergie. Si nos voisins européens n'ont pas attendu, c'est seulement depuis quelques années – et encore plus depuis le Grenelle de l'environnement et les mesures de crédits d'impôts qui y sont associées – que les particuliers français s'approprient ces technologies.

Parmi les techniques proposées, il en est une qui ne dépend que très peu des conditions climatiques avec un rendement suffisant pour la rendre attractive à toutes les échelles – du particulier à l'industriel – et quelle que soit la région de France. En effet c'est la stabilité des conditions du sous sol qui constitue la base de la géothermie. Cette technologie la plus souvent mise en œuvre avec une pompe à chaleur est réversible, elle permet de chauffer l'eau chaude sanitaire et les habitations l'hiver et d'assurer la climatisation de la maison l'été.

Cependant, les éventuels impacts sanitaires des énergies renouvelables et de la géothermie en particulier ne sont pas encore bien évalués.

La mise en place des installations nécessite des forages ou des excavations. Les travaux, la présence des forages ou les matériaux utilisés peuvent causer des dégâts sur la ressource tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif. Ces derniers seront d'autant plus impactants dans le cas d'implantation dans des périmètres de protection de captages d'eau destinée à la consommation humaine.

Le présent rapport a pour objectifs de faire un état des connaissances concernant les techniques utilisées en géothermie, de recenser les problèmes qui peuvent se poser et de faire des propositions pour améliorer la prise en compte de la géothermie en particulier dans les périmètres de protection des captages d'eau.

1 Eléments de contexte

1.1 Le cadre de travail

Ce stage s'est déroulé dans le Service Santé Environnement de la DDASS de Meurthe-et-Moselle qui est composé aujourd'hui de treize agents : un ingénieur du génie sanitaire (IGS), trois ingénieurs d'études sanitaires (IES) (dont un contractuel), sept techniciens sanitaires (TS) et deux adjoints administratifs.

Le service est organisé en trois cellules :

- une cellule "eau" associant un IES, 3,5 TS et un IES chargé de mission sur les périmètres de protection,
- une cellule "milieux clos" composé d'un IES et trois TS,
- une cellule "milieux extérieurs" directement pilotée par l'IGS et qui intègre 0,5 TS.

Il est possible que cette organisation soit modifiée dans les prochains mois compte tenu des mutations qui vont survenir.

1.2 Le département

Le département de Meurthe-et-Moselle fait partie de la région Lorraine et a pour préfecture Nancy. Il possède des frontières communes avec la Belgique et le Luxembourg. Sa forme inhabituelle pour un département est due au fait qu'il a été remodelé pendant les différentes guerres. Il fait 130 km du nord au sud et de 7 à 103 km d'est en ouest, pour une superficie de 5 246 km².

Les principaux cours d'eau sont la Meurthe et la Moselle, mais aussi la Vezouze, le Madon ou encore la Chiers de moindres importances.

Le département possède trois sous-préfectures : Briey, Lunéville et Toul. La population est estimée, par l'INSEE, à 724 000 habitants, qui sont répartis sur 594 communes et 44 cantons.

L'économie du département a été prospère jusque dans les années 1960. Elle a subi dans les années 1970 la crise de la sidérurgie, ce qui a transformé le paysage économique du département.

L'emploi frontalier, avec le Luxembourg essentiellement, s'y développe de façon importante. L'agglomération Nancéenne est très dynamique en ce qui concerne les services, la recherche et l'enseignement supérieur. Le reste du département est composé de territoires restés ruraux.

Le climat meurthe-et-mosellan subit les influences océanique et continentale. Ceci implique des températures très contrastées entre les saisons. Les précipitations sont modérées et rarement violentes et les vents généralement faibles avec une direction dominante sud ouest – nord est.

1.3 Le cadre géologique et hydrogéologique de la Meurthe et Moselle

Le département de Meurthe-et-Moselle est entièrement situé en bordure orientale du Bassin Parisien. Le sous sol est donc constitué d'un empilement de couches géologiques plus ou moins perméables, donnant naissance à des systèmes aquifères relativement indépendants. Les terrains dans cette partie du Bassin Parisien présentent un pendage est – ouest.

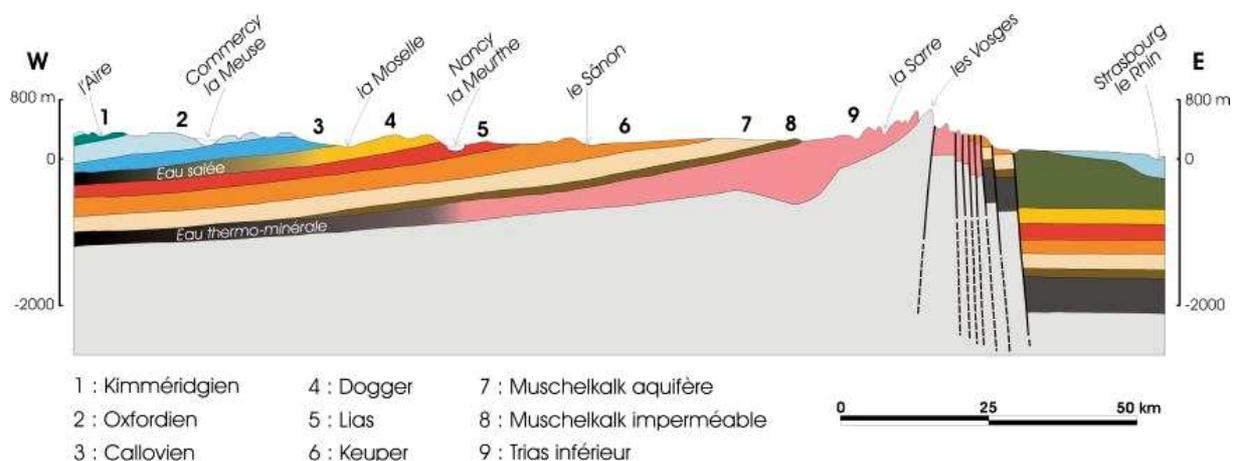


Figure 1 : Coupe schématique du bassin Rhin Meuse (Source : Géothermie perspective)

De l'aquifère le plus ancien au plus récent on trouve les nappes suivantes :

- la nappe dite des Grès Vosgiens contenue dans les grès et le conglomérat du Trias Inférieur,
- la nappe du Muschelkalk contenue dans les calcaires du Muschelkalk Supérieur et Moyen,
- la nappe du Keuper et de la Lettenkhole contenue dans les niveaux dolomitiques ou gréseux de ces deux formations,
- la nappe du Rhétien contenue dans les grès du Rhétien Inférieur,
- la nappe des Grès du Luxembourg contenue dans les grès du Rhétien Supérieur,
- la nappe du Dogger contenue dans les calcaires Bajociens et dans le Bathonien Supérieur,
- la nappe de l'Oxfordien contenue dans les calcaires Oxfordiens Moyens et Supérieurs,

- les nappes alluviales contenues dans les dépôts alluvionnaires des cours d'eau, principalement la Moselle et la Meurthe.

Les formations géologiques et les aquifères associés sont décrits plus précisément en Annexe 4.

1.4 La protection des ressources en eau en Meurthe et Moselle

D'une manière générale, les captages publics d'eau destinée à la consommation humaine de Meurthe-et-Moselle sont situés dans des communes rurales et desservent peu de population : 80 % des captages desservent seulement 17 % des habitants.

Le département de Meurthe-et-Moselle compte 474 captages dont 6 prises d'eau superficielle qui alimentent les grandes agglomérations du département ; 276 (58 %) d'entre eux sont protégés par des périmètres de protection déclarés d'utilité publique par arrêté préfectoral.

Les surfaces concernées par les périmètres de protection rapprochée et éloignée s'élèvent aujourd'hui, respectivement, à 122,8 km² et 232,1 km². Ainsi la surface protégée correspond à 6,76 % de la surface du département. Nous pouvons estimer la surface protégée finale à environ 12 % de la superficie du département.

Il est important de signaler que seules les eaux souterraines seront concernées par la problématique de la géothermie et que les périmètres de protection relatifs aux prises d'eau de surface ne seront pas concernés.

2 Eléments techniques concernant la géothermie

2.1 Les procédés

2.1.1 La géothermie "vraie"

Dans ce cas, c'est l'énergie du sous sol qui est directement utilisée. Cette méthode est la plus ancienne puisque l'utilisation des sources d'eau chaude est répandue depuis des siècles. Aujourd'hui, les techniques de forage permettent de profiter de la chaleur de la terre (via le gradient géothermique d'environ 3°C pour 100 mètres) en forant très profondément, même en dehors des zones de point chaud.

Cependant cette technique n'est pas accessible pour les particuliers du fait des coûts prohibitifs liés aux investissements nécessaires pour la réalisation des forages.

2.1.2 La pompe à chaleur

La PAC est un équipement thermique permettant de transférer la chaleur du milieu naturel plus froid (appelé source froide) vers le milieu à chauffer plus chaud (eau chaude sanitaire

ou habitation et appelé source chaude). Certains équipements sont réversibles et peuvent donc être utilisés comme chauffage l'hiver et comme climatiseur l'été.

La pompe à chaleur est constituée d'un circuit fermé et étanche dans lequel circule un fluide frigorigène à l'état liquide ou gazeux selon les organes qu'il traverse. Ces organes sont au nombre de quatre : l'évaporateur, le compresseur, le condenseur, et le détendeur. Le fonctionnement de la PAC est décrit dans la Figure 2, ci dessous.

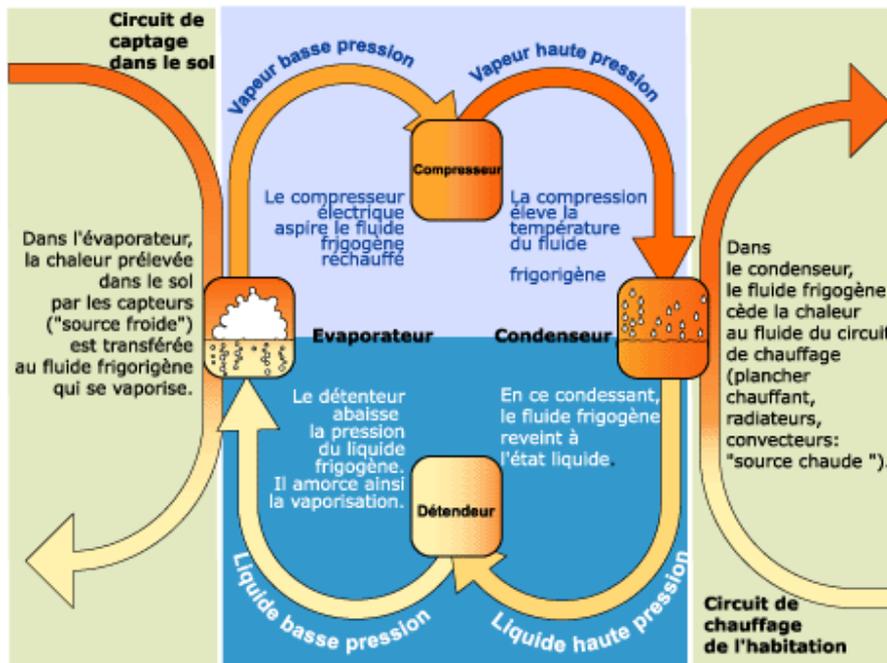


Figure 2 : Schéma de fonctionnement d'une PAC (Source : ADEME)

Une installation de chauffage à PAC peut se raccorder à n'importe quel type de chauffage gaz ou fioul déjà existant. Cela permet un changement de mode de chauffage à moindre prix. Cependant le rendement de ce type d'installation sera moindre comparé à la mise en place d'un plancher chauffant.

Le compresseur de la PAC fonctionne avec un moteur électrique et le rendement moyen d'une pompe est de 3 à 4. Donc pour 1 kWh consommé, il en est produit 3 à 4. L'ADEME évalue jusqu'à 60 % l'économie sur un chauffage électrique conventionnel.

Il existe plusieurs types d'alimentation de PAC. En effet, elles peuvent utiliser la chaleur de l'air, de l'eau ou encore celle du sol. Ce sont les deux dernières qui impliquent la réalisation de forages ou d'excavations, et qui peuvent donc avoir un impact sur la qualité des eaux souterraines.

A) Les PAC Air – Air et Air – Eau

Ces systèmes utilisent la chaleur de l'air extérieur pour la restituer – par des gaines de redistribution d'air chaud ou par l'intermédiaire d'un réseau de chaleur à eau (plancher

chauffant, chauffage central par radiateur...) – dans la maison. L'air extérieur est alors la source froide et l'air ou les réseaux intérieurs la source chaude.

Ces installations n'ont aucun lien et donc aucun impact sur les eaux souterraines.

B) La PAC avec prélèvement d'eau

Dans ce cas l'eau est utilisée comme source froide. Celle-ci peut être captée dans une nappe d'eau souterraine (c'est le cas le plus fréquent), une rivière, un lac ou la mer. En fonction de la localisation du prélèvement, les autorisations sont différentes et les équipements également. L'eau doit être rejetée après utilisation et le point de rejet doit être bien choisi.

C) La PAC géothermique

Ce procédé est utilisé pour la plupart des habitations et petits immeubles équipés d'installations géothermiques. Les PAC captent l'énergie du sol par des circuits enterrés. Il existe deux types d'installations selon la position des capteurs : avec capteurs horizontaux ou avec capteurs verticaux.

2.2 Les installations

2.2.1 Avec prélèvement d'eau

Les installations géothermiques avec prélèvement d'eau sont constituées d'une prise d'eau et d'un point de rejet qui peuvent être situés en surface ou en profondeur (on parle alors de doublet géothermique).

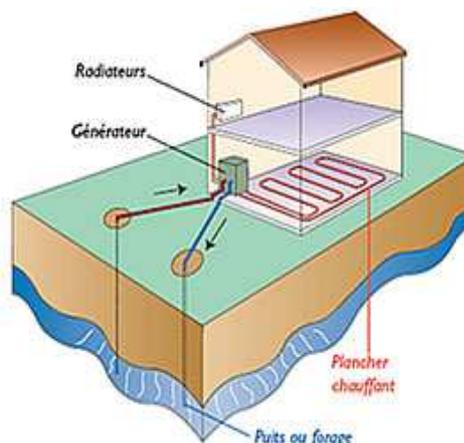


Figure 3 : Installation avec doublet géothermique (Source : BRGM)

Les forages doivent être réalisés par des opérateurs ayant les compétences techniques et la capacité de s'assurer que la nappe possède bien les qualités nécessaires à la mise en place d'une installation géothermique.

La garantie de qualité et de pérennité des installations est conditionnée par :

- les caractéristiques de la nappe,
- les ouvrages et en particulier le choix des techniques et des équipements appropriés,
- des conditions de chantier adaptées.

A) Les caractéristiques de la nappe

Ce sont ces caractéristiques qui vont conditionner la capacité, ou non, de la nappe à assurer l'alimentation et absorber le rejet de l'installation. Ainsi pour avoir les meilleures garanties de réussite du projet, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance de l'aquifère capté. Il doit alors être fait appel à des personnes compétentes maîtrisant bien la complexité de l'opération dans son ensemble.

a) *La prise d'eau*

Les contraintes de la prise d'eau sont les contraintes classiquement rencontrées pour tous les captages d'eau. Il est rare qu'une étude hydrogéologique préalable soit réalisée par un spécialiste, elle est pourtant indispensable pour définir en fonction des besoins en eaux souterraines :

- l'existence d'une nappe suffisante au droit du projet,
- la profondeur de la nappe et la nature du réservoir à capter,
- le comportement probable de la nappe,
- le nombre d'ouvrages nécessaires et leurs influences réciproques,
- les possibilités de rejet et l'évaluation du risque de recyclage thermique entre production et réinjection, en fonction de l'usage prévisionnel de l'eau,
- les caractéristiques physiques et chimiques précises de l'eau,
- la compatibilité du projet avec les autres usages de la nappe.

b) *Le rejet*

Du côté du forage de réinjection, la problématique est plus spécifique. Il s'agit de s'assurer qu'il n'y a pas de risque de recyclage thermique ou de dérive thermique des doublets. Ce phénomène est lié à l'injection dans la nappe d'une eau à une température différente (l'écart de température est en général de l'ordre de 5 à 7°C en cas de production de chaleur et de 10 à 12°C pour la production de froid avec PAC réversible). Ce "retour d'eau" modifie la température de la nappe à proximité du point de rejet. Cette modification concerne un volume de nappe dépendant du débit injecté et des caractéristiques d'écoulement de la nappe.

Cette perturbation dépendra de plusieurs paramètres :

- les volumes injectés et leur température,
- le sens d'écoulement de la nappe et sa vitesse de déplacement,
- l'épaisseur de l'aquifère, le fait qu'il soit monocouche ou multicouche,
- la conductivité thermique des terrains,
- la disposition du doublet (en particulier la distance entre la prise d'eau et le rejet en tenant compte d'une possible présence de forage oblique).

Les seuls paramètres dépendant réellement des choix fait par l'installateur sont le débit (le besoin en calories qui dépend de la surface à chauffer ou refroidir) et le positionnement du doublet. Les deux forages devront être éloignés le plus possible l'un de l'autre avec le forage de prise d'eau en amont hydraulique du second.

Il sera très important de s'assurer de la présence ou non d'autres doublets à proximité.

Même si le rejet dans l'aquifère prélevé est la solution la plus satisfaisante du point de vue de l'environnement car il implique un bilan quantitatif égal à zéro, celui-ci n'est pas toujours choisi. Dans certains cas les rejets sont faits dans les eaux superficielles. Ces derniers doivent rester, autant que possible, exceptionnels. Ils nécessitent d'ailleurs des autorisations spécifiques et, dans certains cas, le paiement de taxes et redevances supplémentaires.

B) Les ouvrages

Les bonnes pratiques de forage sont connues des entreprises ; elles sont reprises dans la norme NF X10-999 du 27/04/2007. Certaines entreprises sont mêmes signataires de la charte de qualité des puits et forages d'eau (cf. Annexe 6).

C'est l'entreprise de forage qui définit à partir des données de base fournies par l'hydrogéologue :

- le nombre de forages nécessaires à l'installation en fonction de la productivité prévisionnelle par ouvrage,
- la distance minimale entre les ouvrages en fonction des influences réciproques des forages,
- le choix du diamètre du forage,
- la puissance de la pompe et son diamètre,
- le diamètre de la chambre de pompage,
- la technique de forage appropriée suivant la lithologie (terrain dur, terrain bouillant, terrain tendre, etc.),
- le type d'ensemble crépine/massif à mettre en place (diamètre d'ouverture de crépine, résistance mécanique des tubages),
- le type de matériaux à utiliser ou ceux à proscrire, en fonction de la nature de l'eau captée.

Les figures de l'Annexe 7 présente les installations de forage telles qu'elles peuvent être mises en place.

a) Les méthodes de forage

Les techniques sont diverses et peuvent être associées les unes aux autres en fonction de la nature géologique du terrain.

➤ Méthodes de battage et de havage

Elles sont utilisées pour des forages de gros diamètres et de faibles profondeurs. La différence entre ces techniques se situe dans le besoin ou non d'un soutènement et dans le type de sol qui doit être traversé. Elles ne sont pas utilisées dans le cas de forages géothermiques.

➤ Méthode du forage à la tarière

Le terrain est carotté, broyé et remonté à l'aide d'une tarière hélicoïdale (hélice sans fin s'il s'agit d'une tarière continue) en rotation. Elle n'est adaptée qu'aux terrains meubles alluvionnaires, sableux ou crayeux ne présentant pas de difficultés particulières. Elle s'utilise pour des ouvrages de faible à moyenne profondeur.

➤ Méthode du forage au Rotary

Cette technique de forage est très répandue en Lorraine.

Elle permet de forer dans tous les types de terrains. Celui-ci est broyé à l'aide d'un outil à molette en rotation. Les déblais de forage sont remontés par un fluide de forage (boue, air, eau) injecté par l'intérieur des tiges de forage passant par le pied de l'outil et remontant entre les tiges et le terrain en entraînant les déblais.

Cette technique est assez rapide et peut être utilisée jusqu'à de très grandes profondeurs, mais il s'agit de chantiers lourds.

➤ Méthode du forage au marteau fond de trou

Cette technique de forage, la plus récente, est assez souvent utilisée en Lorraine.

Elle consiste à attaquer la roche à l'aide d'un marteau pneumatique percutant descendu au fond du forage. Cette méthode est particulièrement bien adaptée aux terrains durs mais est peu efficace en terrains argileux.

Le marteau fond de trou est la technique qui offre les vitesses d'avancement les plus élevées et permet de forer à des profondeurs importantes.

b) *Le développement du forage*

Cette étape de la réalisation d'un forage a pour objectifs de :

- stimuler la perméabilité naturelle de la formation en accentuant la capacité spécifique,
- produire une eau exempte de matières solides avec un débit optimal.

Il existe de nombreuses méthodes de développement. Celles-ci dépendent beaucoup du contexte hydrogéologique et de la technique du forage. Elles peuvent être mécaniques "douces" (air lift, développement à la pompe, pompage alterné, surpompage, jetting), mécaniques "violente" (explosifs) ou chimiques (acides, polyphosphates...).

c) *Les équipements du forage*

➤ La margelle

Une margelle bétonnée est indispensable afin d'assurer l'étanchéité du forage vis-à-vis des eaux de ruissellement. Celle-ci est rendu obligatoire par arrêté ministériel en application du Code de l'Environnement. Elle doit faire un minimum de 3 m² et 30 cm de hauteur.

➤ Le tubage

L'acier, inox ou non, ou le PVC peuvent être utilisés. Les tubes doivent assurer de bonnes résistances mécaniques aux efforts auxquels ils sont soumis (traction, écrasement, flexion ou flambage). Les éléments sont vissés ou soudés.

Les aciers sont résistants mais peuvent être corrodés par l'eau, à l'exception des inox qui ont un coût bien plus élevé. Il faut veiller à l'homogénéité tubage/crépine de l'acier afin d'éviter un effet de pile pouvant fortement endommager le forage.

Le PVC est résistant à la corrosion, moins cher et plus facile à installer. Cependant il est plus flexible, fragile et cassant. Il sera donc plus problématique pour les forages profonds. De plus, le PVC vieillit mal au-dessus du niveau de l'eau avec des fissures ou des modifications de diamètre qui peuvent apparaître impliquant ainsi des problèmes d'étanchéité annulaire.

➤ La crépine

Le type de crépine, la forme et la dimension des fentes doivent être adaptés en fonction du terrain pour permettre le passage de l'eau sans entraînement de particules fines du terrain. Elle doit résister à la corrosion et à la pression et avoir une longévité maximale. La mise en place d'arceaux de centrage le long des crépines est obligatoire dans le cas d'un massif de graviers.

➤ Le massif filtrant

Sa mise en place est indispensable dans le cas de terrains poreux ou non consolidés et dans certaines roches consolidées. Il est constitué de graviers calibrés, lavés et désinfectés dans le cas d'usages alimentaires.

Le massif est réparti de manière homogène sur un diamètre minimum de 75 mm et sur toute la hauteur de la colonne captante de telle manière que son niveau supérieur soit nettement au dessus du toit de la couche aquifère exploitée (plusieurs mètres).

➤ La cimentation

La hauteur de cimentation est variable et celle-ci a un objectif triple :

- préserver la qualité de la nappe en empêchant les infiltrations des eaux de ruissellement et la communication entre nappes d'eau de qualités différentes,
- assurer la stabilité du forage en scellant le tubage au terrain,
- assurer la durée de vie du forage en le protégeant des eaux agressives.

Les forages doivent être cimentés à partir du toit de la nappe jusqu'à la tête de forage. En cas de présence de nappes intermédiaires captives, de qualité différente ou polluée, il est indispensable de les isoler en général en procédant par télescopage de diamètre avec cimentations successives.

➤ La pompe

Le choix de la pompe conditionne le coût de l'ouvrage. Il dépend en grande partie de la profondeur de la nappe captée, elle sera immergée si le forage est profond. Il est nécessaire de prévoir un moteur à vitesse variable pour protéger l'installation et pour limiter les consommations électriques.

Le dernier équipement d'un forage soumis à la loi sur l'eau est le compteur, celui-ci est rendu obligatoire par l'article L 214-8 du Code de l'Environnement.

C) Les conditions de chantier

Les conditions de chantier sont les conditions classiques de réalisation d'un forage. Le chantier doit être clôturé ou balisé pour en interdire l'accès aux personnes extérieures.



Figure 4 : Exemple de chantier de forage

Les conditions de propreté, d'hygiène et sécurité doivent être respectées avec entre autre :

- une signalétique de chantier (entrée interdite, consignes de sécurité...),
- un dispositif de stockage, de protection et de collecte des éventuelles fuites de produits potentiellement polluants (hydrocarbures, fluides caloporteurs...),
- un dispositif de neutralisation des additifs chimiques utilisés lors du développement du forage,
- les moyens d'une évacuation des déblais, des fluides de forage et des eaux des essais de pompages qui ne doivent, en aucun cas, avoir un impact sur l'environnement,
- les conditions de stockage des matériaux qui doivent permettre d'éviter toute dégradation ou pollution.

L'entreprise doit consigner les événements et/ou incidents (arrivée d'eau, chute d'outils, perte de fluide...) survenus pendant la durée des travaux dans un cahier de chantier. Elle devra également réaliser une coupe "foreur" avec prise d'échantillon tous les mètres et à chaque changement de faciès.

2.2.2 Avec sondes verticales

Les systèmes à capteurs verticaux sont constitués de forages dans lesquels sont descendus des sondes géothermiques. Dans ces sondes circule en circuit fermé un fluide caloporteur. La profondeur du forage est généralement comprise entre 50 et 100 mètres.

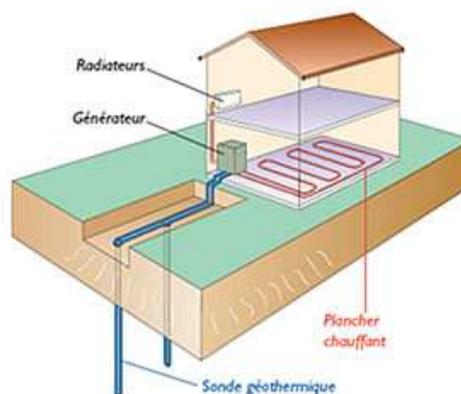


Figure 5 : Installation avec sonde géothermique verticale (Source : BRGM)

En fonction des besoins, le nombre de forages est multiplié. Il faut compter environ trois forages pour une grande maison.

La surface utilisée est minime comparée à celle nécessaire à la pose de capteurs horizontaux, 3m² de margelle par forage contre environ deux fois la surface à chauffer avec les capteurs horizontaux.

Le bon fonctionnement de ces installations dépend :

- de la qualité des ouvrages,
- de l'installation des sondes géothermiques,
- des fluides caloporteurs utilisés,

A) Les ouvrages

Le forage qui sera pratiqué pour la pose d'une sonde est sensiblement différent de celui réalisé pour une prise d'eau. Il doit être correctement isolé avec :

- du sable et/ou du gravier roulé sur toute la hauteur des zones aquifères,
- une enveloppe supplémentaire composée d'un mélange bentonite-ciment sur toute la profondeur du forage. Ce mélange est injecté, sous forme d'un coulis, sous pression qui remonte par la base le long du tube d'injection. Il remplit ainsi l'annulaire et enveloppe en totalité les sondes thermiques.

B) Les sondes et les conditions de pose

Les sondes géothermiques verticales sont constituées en PEHD¹. Elles peuvent être fabriquées en U ou coaxiales.

La norme AFNOR impose que la sonde soit testée par les foreurs dans les conditions recommandées par le constructeur ou sous une pression de 6 bars au minimum pendant une heure.

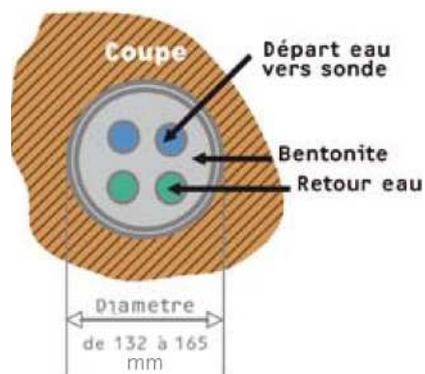


Figure 6 : Coupe horizontale d'un capteur géothermique enterré (Source : BRGM)

Les conditions de chantier sont les mêmes que pour les installations par prélèvements d'eau pour ce qui concerne la partie forage.

Cependant la pose et la fixation de la sonde géothermique est une partie particulière. Cela est différent de la pose d'une pompe et ne nécessite pas de pompage d'essai. Il faut réaliser le forage puis insérer lentement la sonde dans le forage et ensuite remettre le sol en contact avec la sonde par injection de bentonite-ciment dans le forage.



Figure 7 : Exemple de sonde géothermique verticale

C) Les fluides caloporteurs

Il y a deux types de liquide caloporteur dans une installation géothermique. Le premier est contenu dans le circuit interne de la pompe à chaleur et le second dans la sonde géothermique. Dans le cas des PAC à simple détente c'est le même fluide qui transite dans tout le circuit (sonde, PAC et réseau intérieur).

Dans le cadre de ce stage nous avons décidé de ne pas nous intéresser aux liquides contenus dans les PAC puisqu'ils s'apparentent à ceux utilisés pour les congélateurs, réfrigérateur ou autres installations de refroidissement.

Le fluide circulant dans les sondes géothermiques est fonction de l'installateur : c'est le plus souvent un mélange d'eau avec environ 30% de glycol dit "alimentaire". Cette

¹ Polyéthylène haute densité

appellation est liée à l'utilisation de ce matériau dans l'industrie agroalimentaire et non pas à sa comestibilité. Dans certains cas beaucoup plus rares, cela peut être des fluides de type HCFC² dérivé du fréon.

2.2.3 Avec sondes horizontales

Les installations horizontales fonctionnent de la même façon que les installations verticales et peuvent également être installées à la fois lors de la construction de l'habitation ou lors d'un changement d'installation de chauffage.

La différence est que la sonde géothermique est installée dans le sol sur une surface plane entre 60 cm et 1,5 mètre de profondeur. Ces installations ne nécessitent donc pas la réalisation de forage mais un terrassement.

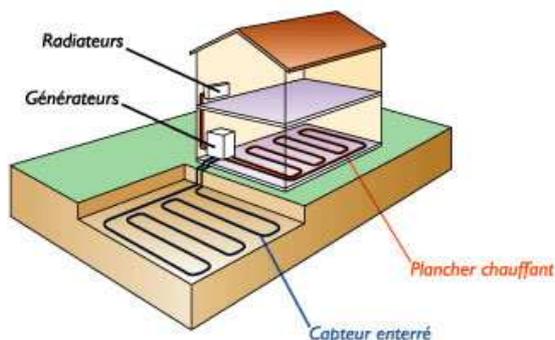


Figure 8 : Installation avec sonde géothermique horizontale (Source : BRGM)

C'est le système de capteur le plus répandu, le plus facile à installer et dont les coûts initiaux sont les moins chers. Ce type de capteurs affiche néanmoins des rendements inférieurs à cause des températures souterraines plus basses.

Le terrain doit être adapté à l'installation de ce système, en effet :

- La surface doit être suffisante, environ deux fois la surface à chauffer,
- il doit être bien exposé au soleil,
- il ne peut être recouvert d'un revêtement en dur (terrasse, piscine, ...),
- s'il est rocheux et peu favorable aux échanges thermiques, il faudra un lit de sable,
- s'il est trop pentu, il faudra envisager un remblaiement plus important.

Certains principes de pose sont préconisés par les constructeurs, notamment en ce qui concerne les profondeurs d'enfouissement et d'espacement entre les tubes. Le capteur doit être à au moins à :

- 2 m des arbres,
- 1,5 m des réseaux enterrés non hydrauliques,
- 3 m des fondations, des puits, des fosses septiques et des évacuations.

Le fluide caloporteur utilisé dans les capteurs horizontaux est le même que celui utilisé dans les capteurs verticaux.

² HydroChloroFluoroCarbone

A titre d'exemple, une maison de 160 m² habitable nécessite 1 200 mètres de tube enterré sur une surface de 250 m².



Figure 9 : Exemple de chantier de pose de sonde horizontale

3 Cadre réglementaire

3.1 Pour la géothermie

La mise en place d'une installation de géothermie va impliquer, avant même sa mise œuvre concrète, un montage réglementaire dépendant de plusieurs codes. En effet peuvent être concernés suivant le type d'installation, le Code Général des Collectivités Territoriales, le Code Minier, le Code l'Environnement ou encore le Code de la Santé Publique.

3.1.1 Le Code Minier

En premier lieu, il est important de rappeler que l'article 131 du Code Minier impose la déclaration de tout sondage de plus de 10 mètres de profondeur à la DRIRE. Cette obligation s'applique à tous les forages, quel que soit leur usage (eau potable, géothermie, etc.).

Par ailleurs, le Code Minier est appliqué dans le cas où la nappe est considérée comme un gîte géothermique à savoir que «*sont également considérés comme mines les gîtes renfermés dans le sein de la terre, dits gîtes géothermiques, dont on peut extraire de l'énergie sous forme thermique, notamment par l'intermédiaire des eaux chaudes et vapeurs souterraines qu'ils contiennent*». Cette définition de gîte géothermique au sens de l'article 3 du Code Minier est en cours de révision par le Ministère chargé de l'Industrie.

Ces gîtes géothermiques sont divisés en trois catégories :

- Les gîtes à haute température (température supérieure à 150°C)

Cette exploitation est soumise à l'attribution d'une concession minière par décret en conseil d'Etat. Pour ces installations, les procédures à suivre sont celles des mines

auxquelles elles sont assimilées. C'est donc le décret n°2006-648 du 2 juin 2006 relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains qui s'applique.

- Les gîtes à basse température (température inférieure à 150°C)

Les autorisations de recherches ou permis d'exploitation de gîtes géothermiques à basse température sont délivrés par le préfet et régis par les articles 98 à 103 du Code Minier et par le décret n°78-498 du 28 mars 1978 modifié.

- Les gîtes de minime importance

La géothermie à usage domestique relève généralement de cette catégorie.

Ce sont des gîtes géothermiques de basse température mais ayant à la fois :

- une profondeur de forage inférieure à 100 mètres,
- un débit calorifique maximal possible inférieur à 200 thermies³ par heure.

Ce type d'exploitation n'est pas soumis à l'obtention d'un permis d'exploitation mais à une simple déclaration à la DRIRE. Celle-ci vaut également déclaration prévue à l'article 131 du Code Minier.

Il est demandé au maître d'ouvrage, maître d'œuvre ou à l'entreprise d'informer le maire du résultat des travaux et de communiquer au BRGM la coupe "foreur" pour alimenter la Base de données du Sous Sol (BSS).

3.1.2 Le Code de l'Environnement

Le Code de l'Environnement est appliqué dans le cas où la nappe n'est pas considérée comme un gîte géothermique au sens du code minier.

Il peut être abordé par deux volets différents : la loi sur l'eau ou la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

A) La loi sur l'eau

La loi sur l'eau ne s'applique que pour des usages non domestiques. Les opérations de prélèvements et de rejets d'eau sont alors soumises à déclaration ou à autorisation suivant une nomenclature définie par l'article R.214-1 du Code de l'Environnement.

L'article R 214-5 du Code de l'Environnement définit les usages domestiques comme :

- les prélèvements et les rejets destinés exclusivement à la satisfaction des besoins d'une famille (alimentation humaine, hygiène, lavage et productions végétales ou animales réservées à la consommation familiale),

³ La thermie vaut un million de calories, soit 4,1855 MJ

- tout prélèvement inférieur ou égal à 1 000 m³/an, ainsi que tout rejet d'eaux usées domestiques dont la charge brute de pollution organique est inférieure ou égale à 1,2 kg de DBO₅⁴.

B) Les installations classées pour la protection de l'environnement

La nomenclature des ICPE ne comprend pas de rubrique spécifique liée aux forages ou aux prélèvements d'eau. Toutefois, ils peuvent être considérés comme des ouvrages connexes des activités soumises à autorisation ou déclaration au titre des ICPE lorsqu'ils sont nécessaires à leur fonctionnement. Ainsi, la déclaration ou l'autorisation d'exploiter les installations délivrée au titre de la législation des ICPE vaut autorisation ou déclaration au titre de la loi sur l'eau.

De plus, les PAC peuvent être soumises à autorisation ou déclaration en fonction de la puissance électrique du compresseur.

3.1.3 Le Code de la Santé Publique

Le Code de la Santé Publique vise les usages alimentaires de l'eau, et logiquement, ne mentionne à aucun moment le cas de la géothermie.

Cependant le cas des forages d'une manière générale y est abordé. En particulier le cas des forages utilisés pour une alimentation en eau destinée à la consommation humaine.

Une personne publique ou privée qui voudrait utiliser un forage pour deux utilisations (géothermie et alimentation en eau) serait soumise à la réglementation relative à l'eau destinée à la consommation humaine.

3.1.4 Le Code Général des Collectivités Territoriales

L'article 2224-9 stipule que tout prélèvement, puits ou forage réalisé à des fins d'usage domestique (cf. 3.1.2A)) de l'eau doit faire l'objet d'une déclaration auprès du maire de la commune concernée. Les informations relatives à cette déclaration sont tenues à disposition du représentant de l'Etat dans le département et des agents des services publics d'eau potable et d'assainissement.

3.2 Pour les périmètres de protection

Le Code de la Santé Publique dans son article L1321-2 impose la mise en œuvre des périmètres de protection immédiate, rapprochée et éloignée.

Les périmètres de protection d'un captage sont définis après une étude hydrogéologique et les prescriptions rendues opposables par une déclaration d'utilité publique. Les périmètres visent à protéger les abords immédiats de l'ouvrage et un secteur de la nappe

⁴ Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours (teneur en matière organique dégradable)

ou du cours d'eau, ainsi qu'à interdire ou réglementer les activités qui pourraient nuire à la qualité des eaux captées.

4 Les problèmes qui se posent...

4.1 Un cadre juridique très (trop ?) ouvert

La réglementation ne permet pas de maîtriser le développement de la géothermie, celle-ci est inadaptée aux projets qui ont cours aujourd'hui.

En effet, les installations géothermiques de moins de 100 mètres de profondeur et à usage domestique (au titre de la loi sur l'eau) ne sont soumises qu'à une simple déclaration auprès de la mairie, de la DRIRE ou du service en charge de la police de l'eau. Cette déclaration, qui n'est parfois pas réalisée, n'est la plupart du temps suivie d'aucun contrôle.

Au titre de la nomenclature eau, les services chargés de la police de l'eau se posent la question de savoir si la loi sur l'eau s'applique dans le cas où la prise d'eau et le rejet sont dans le même aquifère.

En tout état de cause, la prise d'eau comme le rejet peuvent avoir un impact non négligeable sur l'aquifère concerné. Les modifications liées aux changements de température ne sont pas prises en compte alors qu'elles peuvent entraîner :

- des perturbations de la chimie de l'eau pouvant induire des dissolutions de certaines roches,
- d'éventuels changements de propriétés physiques du sous-sol, voire du sol. Ces changements génèrent des risques pour les habitations ou les écosystèmes de surface connectés aux eaux souterraines.

De plus il arrive que les rejets se fassent dans les réseaux d'eau pluviale ou usée, et ce, de manière sauvage impliquant soit un rejet dans l'environnement d'une eau dont les propriétés ne sont pas maîtrisées soit une surcharge pour les Station d'épuration qui reçoivent ces eaux.

Les faibles contraintes imposées aux propriétaires de petites installations leurs permettent d'accéder plus facilement à la géothermie, mais cela constitue une grande difficulté pour l'administration qui ne peut pas évaluer l'évolution de l'utilisation du sous-sol.

Il est à noter que les textes applicables étant le Code Minier et le Code de l'Environnement, les Services Santé Environnement des DDASS sont très peu consultés. Dans le cas de projets proches de captages d'eau destinée à la consommation humaine, ce défaut d'information peut porter préjudice à la ressource en eau concernée.

La problématique de la géothermie étant relativement récente, cette dernière n'est que rarement prise en considération dans les arrêtés préfectoraux déclarant d'utilité publique les périmètres de protection des captages d'EDCH.

4.2 Des techniques pouvant porter atteinte à la ressource en eau

4.2.1 Cas des prélèvements d'eau

Les dangers associés à la phase de chantier et ceux liés au forage terminé sont différents.

Pendant toute la durée du chantier, il existe un risque de mélange de nappe ainsi que le risque de déversement de produits de chantier (hydrocarbures, produits chimiques, outils...).

Une fois terminé, le forage constitue un point d'accès à la ressource.

De plus, il y a une interaction possible entre l'installation géothermique et la prise d'eau destinée à la consommation humaine.

- les deux prises d'eau peuvent être trop proches l'une de l'autre et les débits s'en ressentiront,
- la prise d'eau potable peut être trop proche du rejet, ce qui peut modifier la qualité de l'eau captée suite à son passage dans les canalisations et la PAC.

4.2.2 Cas des sondes verticales

La pose d'une sonde verticale est le plus souvent faite de la même façon qu'un forage avec prise d'eau. Dans ce cas elle posera les mêmes problèmes pendant la phase de chantier.

Plusieurs sondes peuvent être nécessaires pour chauffer une seule habitation. Ainsi, en milieu urbain, le développement de cette technologie pourrait provoquer une forte densité de forage multipliant les accès aux ressources souterraines.

La pose de sondes dans un sous sol contenant des cavités peut être source de risque. En effet, la mise en place d'un annulaire bétonné dans ces cas précis est très complexe voire impossible, la sonde se trouve alors en contact direct avec les eaux circulant dans les cavités.

Le fluide caloporteur utilisé dans les sondes est sur la quasi-totalité des installations un mélange d'eau et de glycol. Les éthers de glycol sont des solvants utilisés depuis des décennies en raison de leurs propriétés remarquables. Il existe deux grandes familles : les éthylènes glycol (série E) et les propylènes glycol (série P).

De nombreuses études existent sur les dangers liés au glycol, ils sont très variables en fonction du dérivé en question. Les principaux dangers recensés vont d'irritations à des effets reprotoxiques (toxicité sur la reproduction) et hépatotoxiques (toxicité sur les cellules du sang). Des effets cancérogènes ont été dénoncés par la presse mais les études épidémiologiques réalisées à ce jour ne semblent pas convaincantes.

Il n'a pas été possible de trouver plus de précision sur les molécules et les concentrations précises qui sont utilisées. Ainsi l'exposition liée à la consommation d'eau qui serait polluée par une fuite de glycol issu de la sonde ne peut être évaluée. Elle est probablement faible du fait de la dissolution du produit dans la nappe et de sa durée de vie relativement courte (de 20 à 30 jours d'après des études recensées par Santé Canada).

Le risque glycol lié aux sondes géothermiques est donc indéterminé.

4.2.3 Cas des sondes horizontales

Les installations horizontales nécessitent un terrassement qui peut être important.

La phase de travaux peut entraîner des pollutions liées aux engins de chantiers et peut poser des problèmes sur la nappe, surtout dans le cas d'installations en zone humide.

De plus le chantier terminé aura modifié le terrain (modification de sol, de couvert végétal...) pouvant entraîner le changement des caractéristiques du sol (matériaux, structure, perméabilité...).

Le comportement des capteurs horizontaux s'ils sont posés en zone humide n'est pas particulièrement connu. Le vieillissement est-il accéléré ? Le risque de fuite est-il plus important ?

La toxicité du fluide caloporteur se pose également dans le cas des sondes horizontales bien que le glycol semble se dégrader plus rapidement dans les sols (jusqu'à 15 jours).

5 Propositions

5.1 Moyens d'actions ou de contrôle

J'ai pu participer à la première réunion d'un groupe de travail interministériel, sur la thématique "Géothermie et protection des nappes", qui a eu lieu à Paris le 18 juin 2008. Ce groupe a pour objectif de recenser les impacts de la géothermie sur les nappes, d'en déceler les causes et de proposer des solutions.

Parmi les pistes de travail qui pourraient être retenues, citons, entre autres, une évaluation du risque glycol, un travail avec les foreurs et les installateurs, des

changements de la réglementation en vigueur et l'intégration de la problématique géothermie dans la définition des périmètres de protection de captages d'eau.

5.1.1 Travail sur le risque glycol

Les données toxicologiques concernant le glycol sont nombreuses. L'évaluation du risque lié à la présence de glycol dans les sondes géothermiques – que ce soit pour les professionnels, les propriétaires d'installations ou les consommateurs de l'eau souterraine – est donc dépendante d'une meilleure connaissance de l'exposition.

Ce travail d'évaluation de l'exposition devra donc être réalisé pour s'assurer que le risque est réellement faible.

Si tel est le cas, les installations horizontales seraient relativement peu impactantes sur l'environnement et la santé. De plus l'impact des autres types d'installations serait lié, uniquement, aux forages eux-mêmes.

5.1.2 Information auprès des installateurs

Il convient de sensibiliser les professionnels à l'existence de périmètres de protection autour des captages. Il est nécessaire qu'ils contactent la DDASS ou la Personne Responsable de la Production et de la Distribution de l'Eau (PRPDE) afin de s'assurer que les projets sur lesquels ils travaillent ne sont pas soumis à des prescriptions particulières.

Un agrément ou une accréditation pourrait être délivrée aux entreprises qui se seraient formées à la problématique de la protection des eaux souterraines et respectant la norme AFNOR existante.

5.1.3 Modification de la réglementation

L'objectif d'une modification de la réglementation est triple :

- permettre à l'administration d'avoir une meilleure connaissance, en amont du projet, de la localisation et des techniques utilisées pour les installations,
- limiter le développement anarchique des ces installations,
- contrôler les installations par un organisme indépendant.

A) Améliorer la connaissance des projets

Aujourd'hui, trop d'installations ne sont pas déclarées et aucune incitation n'existe pour augmenter le nombre de déclaration.

En Lorraine, le Conseil Régional subventionne la géothermie. Ces aides sont conditionnées à l'obtention du récépissé de déclaration du forage. Cette méthode pourrait être généralisée aux crédits d'impôts accordés par l'Etat.

Cet aménagement devrait malgré tout être complété par une meilleure communication entre administrations pour que les services de police de l'eau soient informés des projets en cours. Cela pourrait être fait par l'intermédiaire des Mission Interservices de l'Eau (MISE).

B) Limiter le développement anarchique des ces installations

Pour maîtriser au mieux le développement de la géothermie, il est nécessaire d'avoir une vision générale des projets. Il s'agit donc de ne pas évaluer l'impact d'un projet seul mais de l'ensemble des ouvrages concernant un même secteur. Ceci en prenant également en compte les éventuels rejets industriels situés à proximité.

Cette gestion plus généralisée pourrait être mise en pratique avec l'aide d'études d'impact réalisées en début de projet.

Une densité surfacique maximale d'installations en fonction des aquifères concernés pourrait être imposée. Cette densité pourrait être intégrée dans les Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE).

C) Développer une surveillance des installations par un organisme de contrôle indépendant

Une surveillance des installations de la phase de travaux jusqu'à la fin de l'utilisation est nécessaire. Celle-ci serait assurée par un organisme accrédité ou agréé.

Les contrôles auraient plusieurs objectifs qui seraient clairement définis par un cahier des charges, ils permettraient de s'assurer que :

- le site d'implantation de l'installation est capable de répondre au besoin (capacité de l'aquifère, technologie choisie, débit mobilisable...),
- les conditions de chantier sont respectées,
- les matériaux utilisés sont adaptés,
- la qualité des eaux est stable,
- le niveau d'eau est stable,
- les sondes n'ont pas de fuites,
- l'entretien est bien réalisé.

Il peut également être réalisé, avec un pas de temps plus grand, des inspections plus complètes des forages.

Cet organisme pourrait s'apparenter aux services publics d'assainissement non collectif en terme de méthode et de fréquence de contrôle mais la tutelle de ce service serait à définir (maire, intercommunalité, département, préfet...).

5.1.4 Intégration de prescriptions dans les arrêtés préfectoraux de déclaration d'utilité publique des périmètres de protection de captages

A) Dans les périmètres de protection immédiate

Ces périmètres doivent appartenir en totalité à la collectivité et toutes les activités autres que celles nécessaires à l'exploitation de la ressource en eau et à l'entretien des installations sont interdites. Ceci exclu de fait les installations géothermiques.

B) Dans les périmètres de protection rapprochée

Le rapport du BRGM référencé BRGM/RP-55699-FR propose la mise en œuvre de mesures spécifiques plus ou moins contraignantes concernant les sondes géothermiques et la réinjection d'eau issue d'un doublet géothermique, ceci afin d'éviter la mise en relation de l'eau souterraine captée avec une source de pollution.

Il sera parfois préférable, pour conserver une parfaite maîtrise de la qualité de l'eau et une simplicité d'application, d'interdire toute installation plutôt que d'imposer une réglementation. Cela sera le cas lorsque :

- les enjeux de protection sont élevés (aquifère vulnérable et difficilement renouvelable, ressource unique pour une collectivité...),
- la réglementation sera difficile à contrôler,
- les installations peuvent éventuellement être implantées en dehors du périmètre de protection,
- ce périmètre est de petite taille dans une zone encore préservée pouvant bénéficier d'une protection contraignante sans préjudice important pour les tiers,
- une sonde géothermique est susceptible de traverser des cavités.

Les installations existantes devront être prises en compte et réglementées en conséquence.

Dans ces périmètres, les installations géothermiques pourraient devoir faire l'objet d'une validation systématique par un hydrogéologue agréé qui pourrait ne pas autoriser l'installation ou imposer des techniques et des conditions de chantier adaptées à chaque cas particulier.

Dans le cas des autorisations de nouvelles installations, celles-ci seront conditionnées au respect de prescriptions qui seront adaptées à la technique utilisée et à la géologie du terrain.

➤ Prélèvement d'eau

- interdire les réinjections dans l'aquifère exploité par le captage d'EDCH.

- Sondes verticales
 - obligation du respect de l'engagement qualité des foreurs de sondes géothermiques verticales,
 - cimentation en tête à l'avancement permettant une bonne étanchéité,
 - mise en place d'un détecteur de fuite de liquide caloporteur.
- Sondes horizontales
 - limiter ce type d'activités dans les zones vulnérables,
 - mise en place d'un détecteur de fuite de liquide caloporteur.

Il est à noter que la plupart des arrêtés de DUP intègrent des prescriptions concernant la réalisation de forages et d'excavations incluant de fait les installations géothermiques. Cependant certaines prescriptions concernent uniquement les forages avec prise d'eau et les installations verticales restent ainsi autorisées.

Il est important que les prescriptions soient rédigées explicitement et en tenant compte de tous les cas possibles.

C) Dans les périmètres de protection éloignée

Les prescriptions définies au sein de ces périmètres ne peuvent pas introduire d'interdictions. Ainsi il s'agit de faire prendre conscience aux décideurs de la nécessité de préserver au mieux ces surfaces dans un souci de conservation de la qualité des eaux.

Il sera alors demandé une application des réglementations en vigueur et une attention toute particulière sur les activités pouvant avoir un impact sur la qualité des eaux.

Comme pour les périmètres de protection rapprochée, un avis d'hydrogéologue agréé pourrait être prescrit pour toute nouvelle installation.

5.2 Pertinence et faisabilité

Certaines des mesures proposées dans la partie précédente auront des impacts rapides et localisés (arrêté préfectoral, communication aux foreurs).

A l'inverse, les modifications ou les améliorations de la réglementation qui sont nécessaires vont être lentes à se mettre en place. Cependant, sans ces modifications, le développement des installations de géothermie ne sera jamais maîtrisé et les dégâts sur l'environnement et donc la ressource en eau non plus.

Les mesures de contrôles supplémentaires doivent être applicables ; la création d'un agrément ou d'une accréditation en la matière implique une réflexion et un cahier des charges précis pour les installations de géothermie.

L'intégration de prescriptions dans les arrêtés déclarant d'utilité publique les périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine implique que leur mise en œuvre et leur contrôle soient possibles. Dans le cas contraire, il sera plus cohérent d'interdire.

Bien entendu, quelles que soient les modalités d'action retenues pour une meilleure maîtrise de la géothermie, celles-ci devront être accompagnées de moyens humains et techniques à la hauteur des objectifs visés.

Conclusion

La thématique abordée durant ce stage s'inscrit dans le cadre de la sauvegarde de la qualité des ressources en eaux souterraines. Cette qualité est un élément indispensable à la bonne santé de la population.

Le travail réalisé au cours de ce stage a consisté à réaliser un état des connaissances concernant les techniques utilisées en géothermie ainsi qu'un rappel du cadre réglementaire. Les problèmes associés à la présence d'installations géothermiques ont ensuite été soulevés et répertoriés en fonction des techniques utilisées. Enfin des propositions pour améliorer la prise en compte de la géothermie, en particulier au sein des périmètres de protection des captages d'eau ont été faites.

Il apparaît tout d'abord que les outils réglementaires, à disposition des services de l'Etat pour maîtriser l'engouement des particuliers pour la géothermie, sont inadaptés. Les éventuels impacts sanitaires ne peuvent donc pas être pris en considération.

Les techniques utilisées sont parfois problématiques mais des adaptations sont possibles pour minimiser les risques dans les périmètres de protection de captages.

L'implication des entreprises de forages est indispensable et pourra être faite par exemple par la mise en place d'un agrément.

Une amélioration des connaissances de l'impact sanitaire des matériaux et en particulier du glycol utilisés dans les installations géothermiques est également nécessaire.

Ce travail pourrait servir de préalable à la prise en compte de la géothermie dans la problématique de sauvegarde des ressources souterraines. Bien entendu l'utilisation de ce travail par les Services Santé Environnement des DDASS devra être conditionnée à une validation par la Direction Générale de la Santé.

Bibliographie

AFNOR (2007) ; Norme NF X 10-999 – Forage d'eau et de géothermie – Réalisation, suivi et abandon d'ouvrages de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages.

ALBOUY L., FOUCHER JC., GOYENCHE O. (2005) ; Capteurs géothermiques verticaux pour pompes à chaleur. Aspects réglementaires, règles de l'art et qualification des entreprises de forage ; BRGM/RP-53675-FR,

AUSSEUR J.Y. *et al.* (1984) ; Pompes à chaleur sur doublet de forage – maintien du potentiel thermique des nappes et stockage d'eau chaude ; Hydrogéologie – Géologie de l'Ingénieur n°2 ; 133-143.

BOMMENSATT Norbert (2008) ; Géothermie, des nappes au goût du jour ; ADEME et vous n°13 ; ADEME.

CORDIER S. *et al.* (2005) ; Expertise collective – Ethers de glycol – Nouvelles données toxicologiques ; INSERM.

CARRE J. *et al.* (2008) ; Guide à l'usage des hydrogéologues agréés en matière d'hygiène publique et des services de l'état en charge de la santé ; EHESP – DGS.

EFSA (2006) ; Opinion of the Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food on a request from the Commission related to an application on the use of polyethylene glycol (PEG) as a film coating agent for use in food supplement products; The EFSA Journal 414, 1-22.

FOSSEY C., GODET N., ROBADAY M.; Le chauffage par géothermie – enquête auprès d'utilisateurs ; Université de Rouen, CESI Rouen, University of Brighton.

INRS (2004); Fiche toxicologique n°226 – Propylène glycol ; cahiers de notes documentaires n°154.

JANEL J.L. (1995) ; Schéma directeur de l'alimentation en eau potable en Meurthe-et-Moselle ; DDAF 54.

JANEL J.L. (1998) ; La protection des points de prélèvement d'eau destinée à la consommation humaine : une composante essentielle d'une politique de l'eau ; DDAF 54.

LEMALE Jean, GOURMEZ Daniel *et al.* (2008) ; Guide technique – PAC – géothermie sur aquifère – conception et mise en œuvre – cas de la Lorraine ; Collection scientifique et technique ; AREL – BRGM – EDF – ADEME.

MARCHEL J.P. (2007) ; Eaux destinées à la consommation humaine. Guide pour la protection des captages publics. Départements du Gard et de l'Hérault ; BRGM/RP-55699-FR.

PILARD Marie-Agnès (2007) ; Contribution à l'élaboration d'un plan d'action départemental de protection des captages servant à la production d'eau destinée à la consommation humaine en Meurthe-et-Moselle ; mémoire de l'Ecole Nationale de la Santé Publique.

VAUTE L., SOULAS C *et al.* (2007) ; Rapport séquence n°1_état des lieux – SAGE bassin ferrifère ; BRGM/RP-55434-FR.

VAUTE L., SOULAS C *et al.* (2007) ; Rapport séquence n°2_synthèse, diagnostic et tendances – SAGE bassin ferrifère ; BRGM/RP-55435-FR.

SANTE CANADA (2000) ; Liste des substances d'intérêt prioritaire – Etat de la science – Ethylène glycol ; Loi canadienne sur la protection de l'environnement.

SARTRE A. (2007) ; Géothermie – le point sur les développements en cours ; La gazette des communes – fascicule n°2/1911.

Société GEREEA et ANTEA (2004) ; Bassin ferrifère – Etude de synthèse sur les bassins versants dont le débit est soutenu par pompage dans les réservoirs miniers – Phase 1 Etat des lieux ; DIREN.

Union Climatique de France (2008) ; Eau thermique et eau sanitaire – Eau : un enjeu majeur ; UFC Info.

Site Internet

<http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/pacq/index.htm>

www.afssa.fr

www.brgm.fr/brgm/geothermie/accueil.htm

www.cfgservices.fr

www.ciele.org

www.lorraine.drire.gouv.fr

www.geothermie-perspectives.fr

www.oieau.fr

<http://www.caducee.net/DossierSpecialises/toxicologie/ether-glycol.asp>

<http://ist.inserm.fr/BASIS/elqis/fqmr/rapp/DDD/674.html>

<http://www.inrs.fr/INRS->

[PUB/inrs01.nsf/inrs01_dossier_view_view/C500A828AE61F75CC1256CEE0049368F/\\$FI](http://www.inrs.fr/INRS-PUB/inrs01.nsf/inrs01_dossier_view_view/C500A828AE61F75CC1256CEE0049368F/$FI)

[LE/visu.html?OpenElement#haut](http://www.inrs.fr/INRS-LE/visu.html?OpenElement#haut)

<http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/ethersglycol>

Liste des tableaux et figures

Tableaux

Tableau 1 : Aquifères exploités en Meurthe-et-Moselle (Source : DDASS 54)XV

Figures

Figure 1 : Coupe schématique du bassin Rhin Meuse (Source : Géothermie perspective) 4
Figure 2 : Schéma de fonctionnement d'une PAC (Source : ADEME) 6
Figure 3 : Installation avec doublet géothermique (Source : BRGM) 7
Figure 4 : Exemple de chantier de forage12
Figure 5 : Installation avec sonde géothermique verticale (Source : BRGM) 13
Figure 6 : Coupe horizontale d'un capteur géothermique enterré (Source : BRGM) 14
Figure 7 : Exemple de sonde géothermique verticale..... 14
Figure 8 : Installation avec sonde géothermique horizontale (Source : BRGM)..... 15
Figure 9 : Exemple de chantier de pose de sonde horizontale 16
Figure 10 : Fonctionnement hydrogéologique dans le bassin ferrifère avant l'ennoyage
(Source : BRGM) XIII
Figure 11 : Fonctionnement hydrogéologique dans le bassin ferrifère après l'ennoyage
(Source : BRGM) XIV
Figure 12 : Configuration d'un forage en nappe libre (Source : BRGM)..... XIX
Figure 13 : Configuration d'un forage en nappe captive (Source : BRGM) XIX

Liste des annexes

Annexe 1 : Déroulement du stage.....	III
Annexe 2 : Calendrier du stage.....	V
Annexe 3 : Liste des questions posées aux partenaires.....	VII
Annexe 4 : Description des aquifères lorrains	IX
Annexe 5 : L'origine de l'AEP en Meurthe-et-Moselle	XV
Annexe 6 : Charte de qualité des puits et forages d'eau	XVII
Annexe 7 : Exemple de configuration de forages.....	XIX
Annexe 8 : Propositions de prescriptions pouvant être intégrés dans les DUP de périmètres de protection de captage.....	XXI

Annexe 1 : Déroulement du stage

Méthodologie

Recherche documentaire

La recherche documentaire a été réalisée en grande partie via Internet. Les sites de recherche choisis ont été différents suivant l'information recherchée.

La description des procédés de géothermie a été trouvée à partir de moteurs de recherches classiques, sur le site de l'Ademe, du BRGM ou sur les sites des installateurs.

Les avis et les informations toxicologiques sur les matériaux ou les techniques l'on été par les sites des agences officielles (AFSSA, AFSSET, INRS, INSERM...).

Les informations réglementaires ont été trouvées à partir du RESE ou de Légifrance.

Certains documents ou articles ont été obtenus grâce aux personnes qui ont accepté de m'aider dans ce travail.

Demande d'information auprès des partenaires

Les contacts locaux ont été privilégiés. En effet, une connaissance commune des techniques utilisées et des aquifères lorrains apporte des observations plus pertinentes.

J'ai commencé par demander à M. Mannschott les noms des personnes qu'il considérait comme pouvant apporter des éléments à mon travail. Cela m'a permis d'avoir les bons contacts au sein des différents organismes publics locaux (DRIRE, DDE, DDAF, CR54, BRGM, DIREN).

J'ai utilisé la liste des hydrogéologues agréés de Meurthe et Moselle.

J'ai également contacté les auteurs des rapports ou documents que j'ai pu trouver dans le cadre de mes recherches bibliographiques.

J'ai pu participer le 18 juin au groupe de travail ayant pour sujet "Géothermie et protection des nappes souterraines", j'ai ainsi pu prendre contact avec les représentants du MEDDAT, du département géothermie du BRGM, de DRIRE d'autres département et bien entendu retrouver les contacts de la DGS.

Visite de chantier

J'ai pu visiter deux chantiers de forage destinés à des installations avec doublet géothermique.

Rédaction du rapport

Le rapport a été rédigé pendant toute la durée du stage. Le document a d'abord été utilisé comme un carnet de prise de note puis la rédaction a consisté à remettre en forme toutes les informations qui y avaient été intégrées.

Des relectures ont été faites par mes référents (M. Mannschott et M. Carré), les partenaires rencontrés et les collègues du SSE.

Difficultés rencontrées

Gérer le temps imparti

La durée du stage ne m'a pas réellement posé de problème. Les objectifs fixés étaient adaptés au temps disponible.

Cependant, certaines parties du travail mériteraient d'être approfondies. En particulier, un travail est nécessaire concernant les fluides caloporteurs et des propositions concrètes de prescriptions par type d'aquifère pourraient être faites.

Obtenir de l'information

Les informations générales concernant la géothermie n'ont pas été difficiles à obtenir. En effet les installateurs communiquent beaucoup sur les procédés et les crédits d'impôts qui sont accordés.

A contrario, il a été difficile de trouver le fluide exact utilisé dans les sondes géothermiques. En effet, il est mentionné la plupart du tant que c'est un mélange d'eau glycolée ou du glycol alimentaire mais la molécule utilisée n'est jamais précisée.

Le taux de réponse à mes demandes d'informations a été élevé. Cependant si les réponses portant sur les aspects réglementaires étaient bien renseignées, celles abordant les techniques, les matériaux, les problèmes éventuels et les propositions de solutions l'étaient moins.

Seule une entreprise, la société sas-raffner, a accepté que je visite des chantiers afin de mieux évaluer les conditions de terrain.

Annexe 2 : Calendrier du stage

Le stage s'est déroulé sur une période de 2 mois de la semaine 21 à la semaine 28.

Semaine 21

- Rencontre avec le maître de stage.
- Recherche documentaire et bibliographique.
- Réunion MISE avec présentation succincte du sujet du stage aux partenaires présents (DDAF, ONEMA, Agence de l'eau, DDSV, DIREN).
- Elaboration d'un projet de plan de rapport servant de support aux recherches bibliographiques.

Semaine 22

- Recherche documentaire et bibliographique.
- Réunion du comité stratégique de la MISE.
- Réunion du GT AEP Lorraine Alsace avec présentation succincte du sujet du stage aux partenaires présents (DDASS 54, 55, 88, 67, 68 et DRASS Lorraine).
- Prise de contact par mail ou par téléphone avec les partenaires identifiés (DGS, DDAF 54, DDE 54, DIREN Lorraine, DRIRE Lorraine et les hydrogéologues agréés de Meurthe et Moselle).
- Poursuite de la mise en forme du rapport.

Semaine 23

- Recherche documentaire et bibliographique.
- Poursuite des prises de contact par mail ou par téléphone avec les partenaires identifiés (DGS, Afssa, Brgm, entreprises concernées par la géothermie).
- Visite d'un chantier de foration de captage d'eau destiné à la géothermie (prise d'eau du doublet de géothermie).
- Poursuite de la mise en forme du rapport.

Semaine 24

- Recherche documentaire et bibliographique.
- Rendez-vous avec Cristelle MEIRISONNE (DDASS 57).
- Réunion du club police de l'eau du Bassin Rhin Meuse sur les captages prioritaires.
- Poursuite de la mise en forme du rapport.

Semaine 25

- Recherche documentaire et bibliographique.
- Réunion du groupe de travail national "géothermie et protection des nappes souterraines".

- Assemblée Générale de la DDASS 54.
- Poursuite de la mise en forme du rapport.

Semaine 26

- Recherche documentaire et bibliographique.
- Réunion de service du Service Santé Environnement.
- Poursuite de la mise en forme du rapport.

Semaine 27

- Recherche documentaire et bibliographique.
- Réunion avec un promoteur immobilier et un bureau d'études spécialisés sur un projet de construction de locaux de bureau avec géothermie verticale dans des périmètres de protection rapprochée.
- Rencontre avec Mme LADERRIERE et M. JANEL (DDAF 54) pour relecture du rapport.
- Poursuite de la mise en forme du rapport.

Semaine 28

- Finalisation du rapport.

Annexe 3 : Liste des questions posées aux partenaires

L'ensemble des questions qui suivent sont issues des courriels envoyés aux différents partenaires (DDASS Lorraine et Alsace, DDAF 54, DDE 54, DRIRE Lorraine, DIREN Lorraine, DGS, BRGM, Hydrogéologues Agréés et les entreprises de forages et d'installation de PAC). Cependant cette liste ne représente pas la totalité des questions et ne reflète pas l'intégralité des contacts pris pendant le stage. De nombreuses informations ont été obtenues par contacts téléphoniques ou réunion de travail.

- Avez-vous reçu des courriers des mairies, des HA, de particuliers, d'installateurs, d'autres services de l'état, CG ou CR et si oui quels en étaient les contenus ?
- Comment sont instruits les dossiers relatifs à la géothermie dans votre département ? Passent-ils par la DDASS ?
- Comment sont instruits les dossiers relatifs à la géothermie en Lorraine (quels textes réglementaires sont utilisés, quelle est la procédure...) ?
- Quels sont les éléments contenus dans les dossiers d'autorisation/déclaration ?
- Un volet sanitaire est-il demandé dans les demandes d'autorisation ou de déclaration ? Si oui comment est-il instruit ?
- Le cas échéant, quels sont les éléments contenus dans les dossiers d'autorisation/déclaration ?
- Quels types d'installations sont utilisés dans votre département/région ?
- Quelle profondeur d'excavation pour les installations horizontales ?
- Quelle profondeur pour les installations verticales ?
- Quels matériaux sont utilisés ?
- Les conditions de chantier sont-elles imposées ? Si oui, quelles sont les obligations ?
- Quelle durée de vie pour une installation ? Quel entretien ?
- Avez-vous connaissance des fluides caloporteurs utilisés ?
- Un lien est-il fait avec les captages d'eau potable ?
- Des prescriptions relatives à la géothermie sont-elles proposées dans les rapports d'HA ? Si oui lesquelles ?
- Dans le cas de géothermie avec prise d'eau, les rejets sont-ils faits dans les nappes où sont faits les prélèvements ?
- Avez-vous des contacts à me proposer (installateurs et personnes à qui je n'aurais pas pensé...) ?
- Avez-vous d'autres informations auxquelles je n'ai pas pensé à me donner ?

- Est-ce possible d'avoir accès à un modèle de dossier qui vous a été présenté afin de me rendre compte de visu du contenu ?
- D'autres DDASS ont-elles fait remonter des demandes pour savoir quelle position tenir auprès des collectivités et quelle réponse ont-elles eue ?
- La DGS traite-t-elle de dossier de géothermie (ou par l'intermédiaire d'avis d'agence ADEME, AFSSA, AFSSET...) ?
- Y a-t-il une position du ministère concernant la problématique géothermie en périmètre de protection ?
- J'ai vu dans des rapports du conseil supérieur d'hygiène publique de France des paragraphes concernant les fluides caloporteurs, quelle est la procédure d'autorisation ?
- Ces fluides caloporteurs doivent-ils, obligatoirement, être autorisés par la DGS (ou autre service du MEEDDAT) et quelles sont les critères ?
- Il y a 3 listes A, B et C pour les fluides caloporteurs, il semble que ça soit la liste C qui m'intéresse, mais ces listes sont-elles exclusivement en lien avec les utilisations sanitaires ou peuvent-elles être prises en compte pour les usages dans les sondes géothermiques ?
- Je souhaiterais savoir si la DIREN est consultée dans le cas d'un projet de géothermie et si oui quelles sont les éléments de réponses qui vous sont demandés ?
- Les aquifères sont-ils tous sensibles de la même façon à ce type d'installations ?
- Quels sont les aquifères qui sont les plus problématiques ?
- Si cela est possible je souhaiterais avoir quelques adresses de chantiers, de différents types (sondes géothermiques horizontales, verticales ou captages d'eau sur nappe).

Annexe 4 : Description des aquifères lorrains

(L'essentiel de cette annexe est issu du schéma directeur de l'alimentation en eau potable de la Meurthe et Moselle et du mémoire de Marie-Agnès PILARD)

La nappe dite des Grès Vosgiens

Les grès affleurent à la périphérie des Vosges cristallines en une vaste auréole de la haute vallée de la Saône au bassin houiller Lorrain. Cet aquifère, en Lorraine et dans les Vosges du Nord, est constitué de grès plus ou moins fins, avec quelques passées argileuses dans la partie supérieure et quelques passées conglomératiques au centre et à la base.

La nappe est captive pour l'essentiel en Lorraine et libre aux affleurements le long des Vosges et dans le Bassin Houiller. La couverture imperméable est constituée par les marnes du Muschelkalk Moyen et Inférieur pour la partie captive de la nappe.

La perméabilité dans la masse est faible mais la productivité des forages est renforcée par les fissures affectant les grès. La nappe des grès du Trias Inférieur constitue une des principales ressources en eau de la Lorraine. Les ouvrages qui y sont implantés fournissent des débits parfois importants de l'ordre de 100 à 150 m³/h. Les écoulements de la nappe ont pu être simulés à l'aide de divers modèles mathématiques. La totalité des ressources disponibles semblent aujourd'hui déjà utilisée. Il faut donc veiller à ne puiser tout supplément dans cette nappe qu'en connaissance de cause.

La qualité des eaux de la nappe des grès de Trias Inférieur est généralement excellente. En affleurement, l'eau est naturellement très peu minéralisée mais agressive, nécessitant une neutralisation et parfois une déferrisation. La vulnérabilité de la nappe est grande mais compensée par le couvert forestier.

Sous couverture, environ 1/3 du volume d'eau peut être distribué sans traitement autre qu'une déferrisation (ponctuellement un traitement de l'arsenic), le reste est naturellement minéralisé. En effet, au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'affleurement, l'eau se minéralise de plus en plus. Par contre elle est non vulnérable aux pollutions de surface lorsqu'elle est captive. L'âge de l'eau est estimé de 5 000 à 40 000 ans.

La nappe du Muschelkalk

Les calcaires du Muschelkalk Supérieur sont généralement épais de 30 à 40 mètres mais ils comportent également des niveaux de dolomie et de calcaire argileux.

En affleurement ces roches forment un aquifère fissuré, parfois karstique. La perméabilité est bonne et les débits des ouvrages parfois importants. Mais ces eaux sont très

vulnérables quant aux pollutions de surface. De très nombreuses sources sont captées dans ces formations pour de petites adductions d'eau rurales ou individuelles.

La nappe est drainée par de nombreux cours d'eau lorrains et notamment par la Sarre.

Sous couverture, les eaux sont fréquemment minéralisées, très dures et très sulfatées.

Les débits peuvent y être non négligeables.

En nappe captive, à proximité des affleurements, on peut espérer la trouver à la fois peu minéralisée et protégée des pollutions de surface avec un débit important.

La nappe du Keuper et de la Lettenkhole

Les formations argileuses et gypseuses du Keuper renferment quatre minces formations perméables qui sont du haut vers le bas :

- dolomie en dalles (0 à 10 mètres) dans le Keuper,
- grès à roseaux (0 à 30 mètres) du Keuper,
- dolomie limite (0 à quelques mètres) de la Lettenkohle,
- dolomie inférieure (0 à quelques mètres) de la Lettenkohle.

Ces formations donnent des sources à faible débit, mais relativement régulier, très appréciées sur le plateau lorrain pauvre en eau. Ces eaux sont souvent assez minéralisées et très vulnérables aux pollutions de surface.

La nappe des grès du Rhétien

Les grès du Rétien Inférieur affleurent du haut-bassin de la Meuse au Luxembourg par l'Est de Nancy et de Metz. Epais de 15 à 30 mètres, ils sont découpés en plusieurs systèmes aquifères isolés par des failles. Les affleurements sont peu étendus donc l'alimentation peu importante. Les grès sont intercalés entre deux niveaux argileux et la nappe qu'ils contiennent se met en charge sous les argiles du Lias Inférieur. A mesure que l'on s'éloigne sous couverture les eaux sont de plus en plus minéralisées et rapidement impropre à la consommation. Pour ne pas dépasser une teneur de 1 g/l de résidu sec, il convient en règle générale, de ne pas s'éloigner plus de 3 km des affleurements.

La nappe des Grès du Luxembourg

Cette nappe occupe les faciès gréseux de l'Hettangien, circonscrits au Nord de Thionville, et les calcaires gréseux de l'Hettangien et du Sinémurien de la bordure sud du massif ardennais. Elle est surtout développée au Luxembourg (d'où son nom) où elle est la principale et presque unique ressource en eau souterraine.

En France, cette nappe alimente la région d'Hettange-Grande, partiellement Sedan et diverses communes ardennaises.

Les ressources existantes dans la vallée du Ton et de la région de Longwy sont peu exploitées du fait que cet aquifère est peu connu. Entre la faille d'Hettange et la région de Longwy les grès ont une épaisseur variant de 50 mètres à plus de 100 mètres ; les débits exploitables varient de 30 à plus de 100 m³/h par ouvrage suivant l'épaisseur des grès.

Dans les Ardennes, peu de forages exploitent cette nappe capable cependant de fournir 40 à 100 m³/h par ouvrage. Elle est artésienne au Nord de la Chiers et dans la vallée de la Sormonne. Elle est en relation hydraulique avec les alluvions de la Meuse dans la boucle d'Iges (Ouest de Sedan) et sous Charleville Mézières. Cette nappe est également une ressource en eau importante du Sud de la Belgique. Elle pourrait être captée en France, par des forages dans la région frontalière.

La nappe du Dogger

Les calcaires du Dogger en Rhin-Meuse s'étendent en affleurement sur 3 500 km², depuis Charleville-Mézières dans les Ardennes jusqu'à Neufchâteau dans les Vosges. Leur épaisseur est de 110 à 130 m pour le Bajocien, auquel s'ajoute le Bathonien calcaire sur 0 à 50 m d'épaisseur de Vézelize à Neufchâteau, soit un total de 110 à 180 m maximums. Le substratum est constitué par les marnes du Toarcien et la couverture par celles du Bathonien ou du Callovien. Le minerai de fer lorrain, situé sous le Dogger, est séparé des calcaires sus-jacents par un mince écran de marnes micacées.

Ces calcaires sont naturellement fissurés et karstifiés en affleurement. L'alimentation de la nappe se fait par infiltration de pluies et par la perte (parfois totale) des cours d'eau. Le drainage naturel se fait par les cours d'eau qui entaillent ces calcaires profondément et par des sources en pied de côte au contact des marnes.

Dans le bassin ferrifère, les travaux miniers ont très largement désorganisé la structure des formations sus-jacentes en augmentant la fracturation et en provoquant la rupture des écrans imperméables. Les travaux miniers font de ce fait office de drain, l'eau doit être pompée (exhaure de mine). Ce phénomène peut aller jusqu'au quasi-assèchement de la nappe des calcaires (entonnoirs piézométriques). Depuis l'arrêt de l'exploitation les mines sont en partie en cours d'ennoyage jusqu'à la cote des exutoires (galeries d'accès) mais certaines étaient et restent à écoulement gravitaire (annexe 5).

L'exploitation se fait par des captages de sources et de résurgences naturelles, par captages d'exhaures gravitaires de mines, par pompages dans les mines ennoyées, par forage.

Comme tous les aquifères karstiques, cet aquifère présente, en affleurement, une grande vulnérabilité. Les problèmes de contamination bactérienne sont fréquents. Les concentrations en nitrates, croissantes depuis une vingtaine d'années, dépassent 25 mg/l sur de vastes zones et 50 mg/l ponctuellement.

Par ailleurs, l'ennoyage de mines induit, par le lessivage, de fortes teneurs en sulfates (de calcium et de sodium) bien au-delà des limites de potabilité (marnes micacées et formations pyriteuses). Le retour à la normale demandera de nombreuses années (10 à 25 ans de lessivage) comme l'ont montré les résultats de mines fermées depuis longtemps.

La nappe de l'Oxfordien

Les calcaires qui forment les côtes de Meuse ont une perméabilité variable, très forte dans les niveaux récifaux fissurés ou karstiques alternant avec des niveaux plus argileux, notamment dans la partie supérieure de l'étage. Ce réservoir calcaire est en liaison hydraulique avec les alluvions de la Meuse. Il faut donc considérer l'ensemble calcaires – alluvions du bassin de Verdun ou de Vaucouleurs – comme un système unique. Les zones propres à l'exploitation sont situées dans la vallée de la Meuse et principalement au Nord de Verdun près de Bras sur Meuse et Champneuville ou dans le secteur de Vaucouleurs. Dans ces régions, il doit être possible de puiser respectivement 55 et 50 millions de m³/an.

La partie calcaire du réservoir donne naissance à des sources importantes, notamment dans la région située entre Dieue et Verdun à la faveur d'une remontée du faciès plus perméable.

Les nappes alluviales et les eaux de surface

- La nappe alluviale de la Moselle

Les alluvions de la Moselle reposent le plus souvent sur des terrains marno-calcaires peu perméables, sauf le haut du Bassin Vosgien (granites, grès...). L'épaisseur de ces alluvions sablo-graveleuses est de quelques mètres et le plus souvent inférieure à 10 m. Ces formations sont perméables et recouvertes de 0,5 à 2 m de limons peu perméables, filtrants, dans les zones inondables. Le granulats alluvionnaire fait l'objet de nombreuses zones d'extractions pouvant supprimer le réservoir aquifère sur des milliers d'hectares.

Du fer et du manganèse se trouvent dans cette nappe où la teneur en oxygène est très faible. Certains tronçons de la nappe alluviale présentent des teneurs naturellement élevées en sulfates provenant du gypse des marnes de l'encaissant. La technique de réalimentation de la nappe permet d'améliorer toutefois la qualité des eaux captées.

L'épaisseur des limons étant très faible et la nappe très proche du sol (1 à 3 m le plus souvent) celle-ci est donc très vulnérable aux pollutions de surface. En outre, de nombreuses excavations ou puits traversent ces limons. L'intense occupation des sols en fond de vallée (urbanisation, industrie/commerce, gravières, canaux, routes, voies ferrées...) rend la protection de la nappe difficile, parfois impossible. La pression foncière

est telle que dans certains cas, les collectivités abandonnent les captages pour récupérer les hectares de terrain en périmètre de protection pour urbaniser et industrialiser.

- Les eaux de surface

L'exploitation des eaux de surface dans le département se fait à partir de 6 prises d'eau superficielles qui alimentent un grand nombre d'usagers. En effet, les débits pompés en eau superficielle représentent 45 % de la totalité des pompages.

La Communauté Urbaine du Grand Nancy (CUGN : 265 000 habitants) ainsi que les autres grandes agglomérations du département (Toul, Lunéville, Agglomération de Longwy, CC de Moselle Madon, Blainville-Damelevières) ont recours à de l'eau de surface pour leur alimentation, ces eaux sont utilisables moyennant un traitement complet nécessitant presque toujours un affinage au charbon actif.

Du fait des rejets dans la Meurthe des chlorures des soudières de Lorraine, les deux grands cours d'eau de Meurthe-et-Moselle ne peuvent être utilisés qu'à l'amont de la confluence avec la Meurthe pour la Moselle, et à l'amont des soudières pour la Meurthe. En aval, une frange de nappe le long de la rivière est sous influence des rejets salins.

Le cas particulier des sites d'extraction des Bassins Houiller et Ferrifère

Les systèmes aquifères ont pu être profondément modifiés sur les sites d'exploitation des mines. En effet les mines lorraines étaient exploitées par traçage, recoupe et foudroyage. Cette méthode implique une fracturation des niveaux imperméables et donc un déversement de l'aquifère supérieur dans l'aquifère inférieur.

Pendant l'exhaure

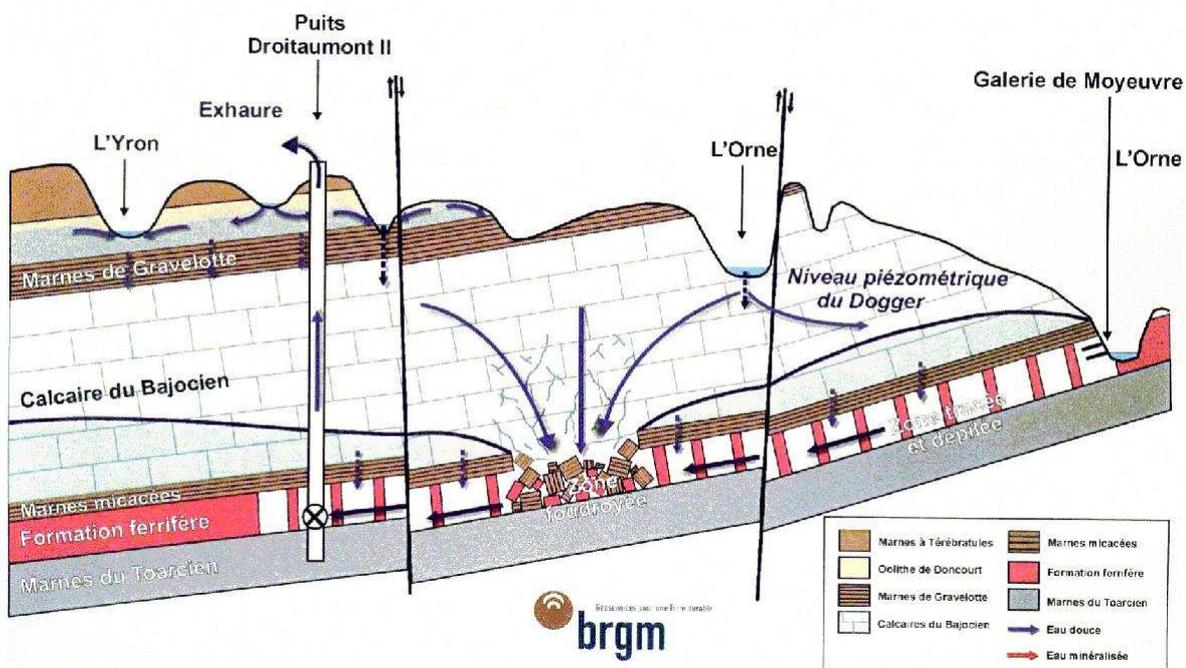


Figure 10 : Fonctionnement hydrogéologique dans le bassin ferrifère avant l'ennoyage
(Source : BRGM)

Les eaux transmises de l'aquifère du Bajocien vers les formations exploitées étaient pompées pour permettre la poursuite de l'exploitation.

Après l'ennoyage

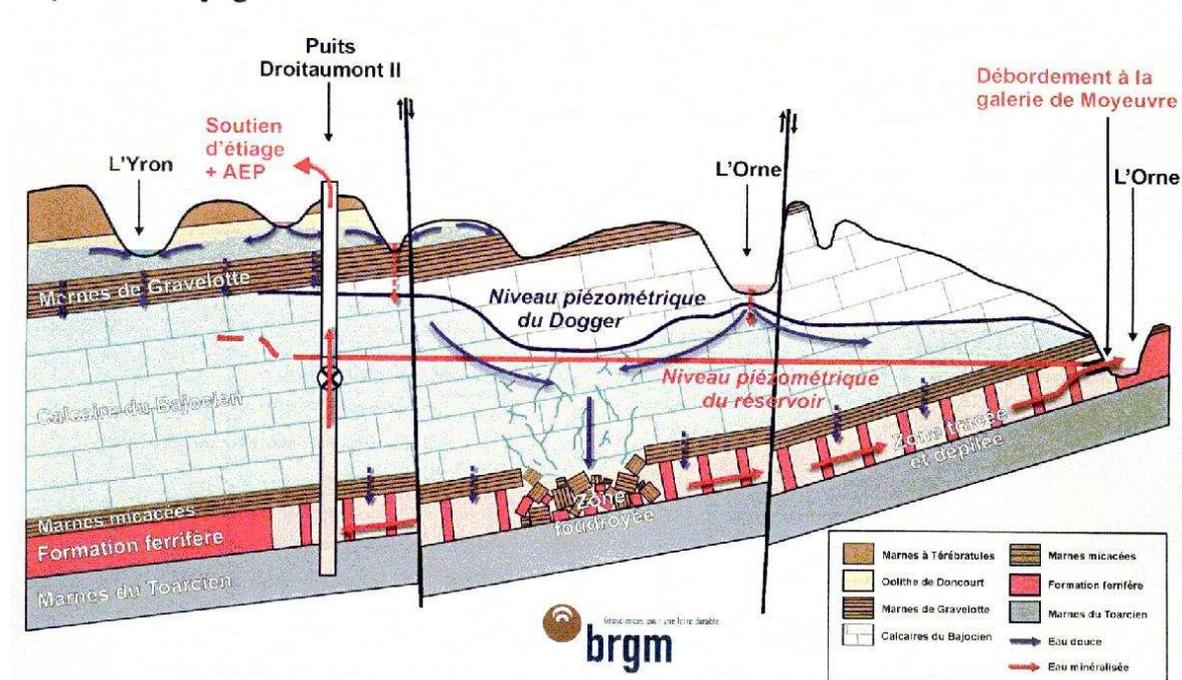


Figure 11 : Fonctionnement hydrogéologique dans le bassin ferrifère après l'ennoyage
(Source : BRGM)

A la fermeture des exploitations, les pompages ont été arrêtés ou limités à l'adduction en eau potable ce qui a pour conséquence d'ennoyer les mines et de remettre à niveau les aquifères.

Annexe 5 : L'origine de l'AEP en Meurthe-et-Moselle

Un recensement des eaux captées pour l'AEP dans le département a été réalisé. Le tableau ci-dessous, qui fait le point sur le nombre de captages par type d'aquifère et sur les débits moyens d'exploitation, montre que le département utilise principalement 3 aquifères souterrains et des ressources superficielles (en gras dans le tableau).

Type d'aquifère	Captages		Débit moyen (m ³ /j)	% du débit
	(nb)	(%)		
<u>Nappes alluviales</u>				
Alluvions anciennes lit de la Moselle	3	0,6	610	0,3
Alluvions anciennes de la Vezouze	1	0,2	100	0
Alluvions de l'Aroffe	2	0,4	51	0
Alluvions quaternaires Meurthe	2	0,4	210	0,1
Alluvions quaternaires Moselle	42	8,9	19219	9,3
<u>Nappe du Dogger</u>				
Bajocien moyen et inférieur	220	46,4	57636	28
Bajocien supérieur	13	2,7	4666	2,3
Bathonien supérieur	3	0,6	139	0,1
<u>Nappe des Grès Vosgiens</u>				
Buntsandstein moyen	128	27	24388	11,9
<u>Autres types de nappe</u>				
Argovo-Rauracien-Oxfordien	27	5,7	1456	0,7
Dolomie du Keuper moyen	10	2,1	596	0,3
Dolomie du Muschelkalk moyen	1	0,2	23	0
Grès du Toarcien supraliastique	13	2,7	3691	1,8
Grès infraliastiques du Rhetien	3	0,6	340	0,2
Prises d'eau de surface	6	1,3	92633	45
	474	100	205758	100

Tableau 1 : Aquifères exploités en Meurthe-et-Moselle (Source : DDASS 54)

Annexe 6 : Charte de qualité des puits et forages d'eau



Les entreprises adhérentes s'engagent à...

1 • Assister le maître d'ouvrage dans son projet

Notamment en cas d'absence de maître d'œuvre, afin d'adapter le projet à ses besoins et d'attirer son attention sur :

- La structure prévisionnelle de l'ouvrage, et notamment :
 - le choix des tubages (en matériaux de préférence non corrodables),
 - les diamètres des tubages permettant le bon fonctionnement de la pompe d'exploitation envisagée,
 - la nécessité d'isoler les nappes successives pour conserver l'intégrité du milieu souterrain,
 - le choix du massif filtrant en fonction de la nature du réservoir, et la hauteur de la réserve à gravier,
 - la protection de la tête de l'ouvrage contre les infiltrations de surface (rehausse en zone inondable, capot de fermeture, dalle de propreté, cave).
- Les formalités réglementaires et administratives préalable à l'exécution d'un captage neuf, et notamment l'obligation d'obtenir avant le début des travaux, selon le cas, un récépissé de déclaration ou un arrêté d'autorisation, ainsi que l'obligation d'en respecter les prescriptions.

2 • Fournir une offre de services structurée au maître d'ouvrage

Cette offre comprenant :

- Le rappel du cahier des charges.
- Les prestations à la charge du maître d'ouvrage (conditions générales et particulières : plate-forme, accès, implantation, eau, électricité..).
- Un mémoire des prestations et fournitures prévues dans le prix.
- La qualification du responsable des travaux.
- Un bordereau-devis estimatif.
- Le certificat de «label qualité» de l'année en cours.

3 • Respecter les règles de l'art et les normes en vigueur

- Un rappel des principales réglementations applicables figure en annexe de ce document.

4 • Prévenir les pollutions et les nuisances

Par :

- Protection du sol contre les fuites d'hydrocarbures (cuve de rétention ou merlon de protection).
- Protection de la nappe captée et isolation des nappes non captées par cimentation annulaire.
- Précautions lors de l'utilisation et du stockage d'acides, boues et autres produits chimiques.
- Propreté des chantiers.
- Respect du droit des tiers et sécurité.

5 • Prendre des échantillons

En principe :

- Un échantillon de terrain par mètre ou, au minimum, un échantillon à chaque changement de terrain.
- Des échantillons d'eau en fin de pompage d'essai.

un travail bien fait, un rapport précis

6 • Consigner les travaux réalisés (sur les rapports journaliers)

- Avancements, arrivées d'eau, diamètres, profondeurs, tubages, cimentation...
- Incidents de forage (chutes d'outil, pertes de fluide, éboulements...).
- Pompages d'essai.
- Travaux d'abandon, le cas échéant.

7 • Mettre en œuvre une procédure pour la qualité

- Mettre en œuvre une procédure d'exécution adaptée au contexte topographique et hydrogéologique du captage («écrire ce que l'on va faire et faire ce que l'on a écrit») pour les phases :
 - installation et signalisation du chantier,
 - forage,
 - équipements,
 - gravillonnage,
 - cimentations,
 - stimulation et développement,
 - pompages d'essai,
 - nettoyage et repliement (voir en annexe, exemple de «procédure-type d'exécution»).
- Pour le contrôle de la conformité des fournitures telles que tubages et crépines (type, nature, origine, dimensions, raccords, ouverture), gravier (origine, nature, granulométrie), ciment...

- Pour l'achèvement de l'ouvrage en vue de sa réception.
- Pour l'application des règles de sécurité :
 - vis-à-vis des tiers,
 - pour le personnel de l'entreprise,
 - pour le contrôle de la conformité du matériel,
 - pour l'abandon éventuel de l'ouvrage.

8 • Déclarer les travaux et transmettre une coupe «foreur»

Avant le début des travaux :

- Envoi en préfecture d'une déclaration d'ouverture de chantier.

Après travaux :

- Pour tout forage réalisé, quels que soient son débit et sa profondeur, l'entreprise s'engage à remettre un compte-rendu au maître d'ouvrage et à la préfecture

du département où a été réalisé le forage, dans un délai maximal de deux mois après la fin du chantier. Ce compte-rendu comprend au moins une coupe schématique de l'ouvrage réalisé et des terrains traversés (coupe «foreur») avec localisation du forage et compte-rendu des pompages d'essai, l'ensemble «certifié conforme à l'ouvrage réalisé» par le chef d'entreprise.

9 • Assurer la formation du personnel

- Former le responsable de chantier au respect de la procédure de qualité et au tutorat du personnel d'exécution qu'il encadre.

Raison sociale et cachet de l'entreprise :

Nom du directeur :

Date :

Signature

(Un duplicata de cet engagement est joint en annexe pour être envoyé avec la demande de «label qualité».)

Annexe 7 : Exemple de configuration de forages

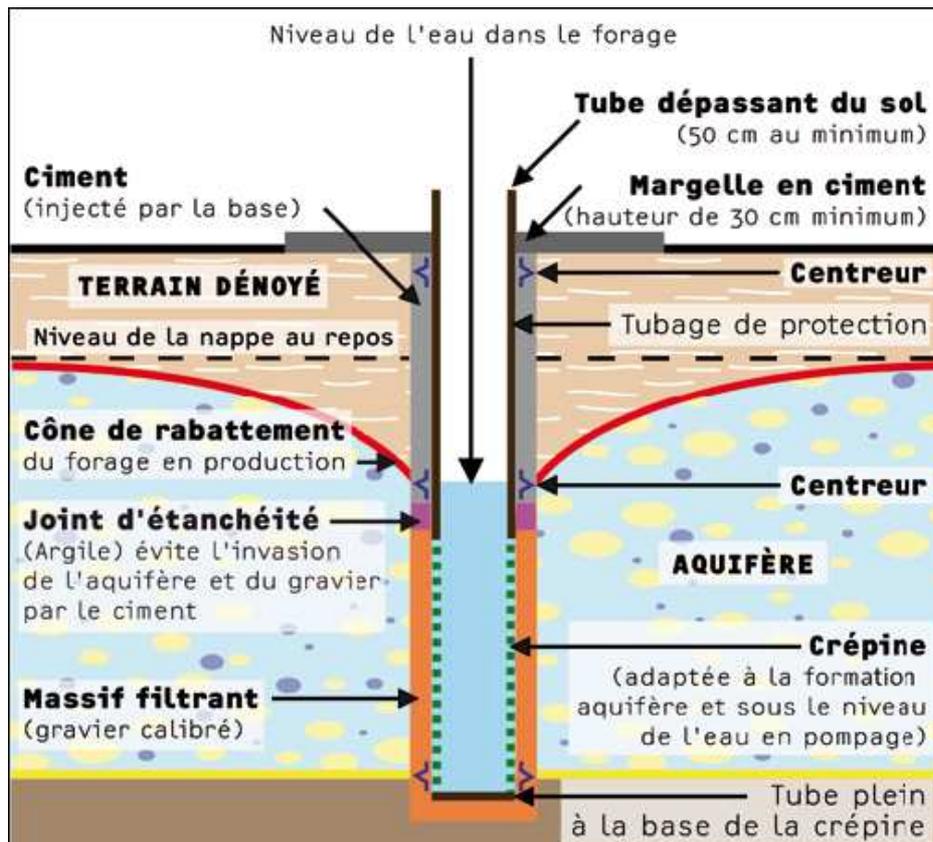


Figure 12 : Configuration d'un forage en nappe libre (Source : BRGM)

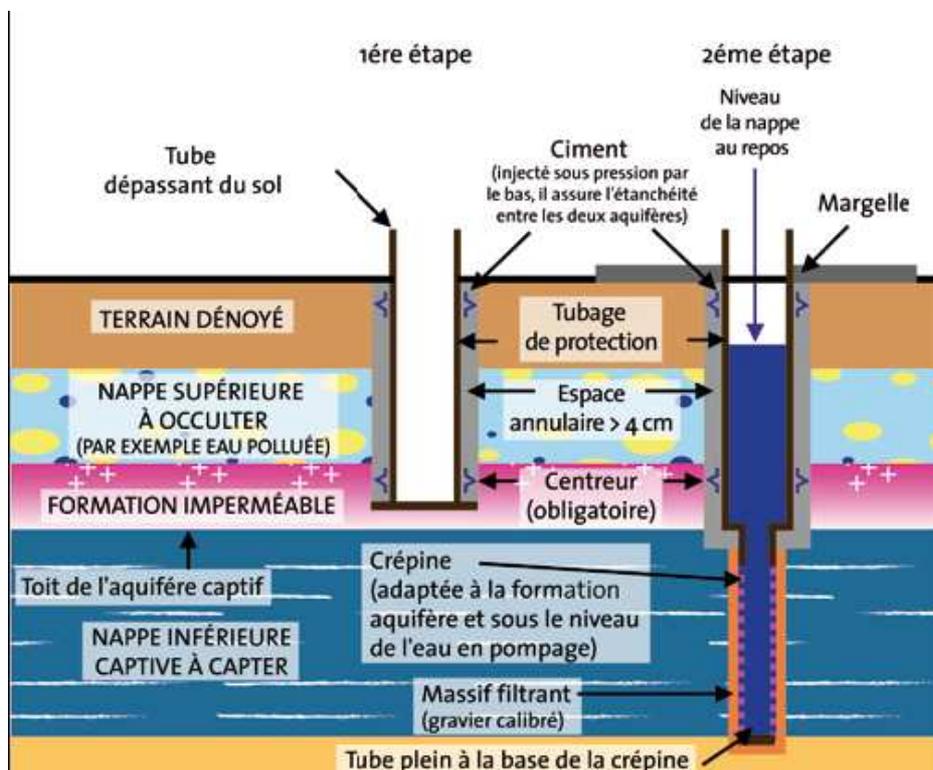


Figure 13 : Configuration d'un forage en nappe captive (Source : BRGM)

Annexe 8 : Propositions de prescriptions pouvant être intégrés dans les DUP de périmètres de protection de captage

Les prescriptions rédigées ci-dessous ne sont que des propositions. Toutes les prescriptions intégrées dans des DUP de périmètres de protection de captages devront être adaptées au contexte local.

Dans les périmètres de protection immédiate

La géothermie est interdite de fait dans ces périmètres.

Dans les périmètres de protection rapprochée

➤ Interdiction :

Interdiction totale de toute géothermie (dans le cas où la phase de travaux ne peut être assortie de conditions de sauvegarde de la nappe).

Interdiction totale de la géothermie avec prélèvement d'eau (dans le cas où la capacité de la nappe ne le permet pas).

Interdiction totale de la géothermie avec sondes verticales (dans le cas de présence de cavités dans le sous sol).

➤ Réglementation :

Toute installation de géothermie sera soumise à l'avis d'un hydrogéologue agréé désigné par le préfet.

Toute réalisation de forage devra être effectuée en conformité avec la norme AFNOR NF X 10-999.

Les rejets liés aux installations de géothermie sur nappe (avec prélèvement d'eau) ne pourront être réalisés dans l'aquifère utilisé pour l'alimentation en eau potable.

Les forages destinés à l'implantation de sondes géothermiques verticales devront être réalisés avec la technique de cimentation à l'avancement.

Les installations géothermiques utilisant des capteurs géothermiques avec fluides caloporteurs devront être équipées de détecteur de fuite.

Ces détecteurs seront contrôlés chaque année.

Les installations existantes devront se mettre en conformité vis-à-vis du présent arrêté.

Dans les périmètres de protection éloignée

Au sein de ce périmètre, une attention toute particulière devra être portée aux installations géothermiques. Les déclarations de forages devront être faite conformément à la réglementation auprès de la DRIRE et/ ou de la DDAF.

Toute installation de géothermie sera soumise à l'avis d'un hydrogéologue agréé désigné par le préfet.