



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

RAPPORT

**POMPES À CHALEUR
GÉOTHERMIQUES**

LES OPÉRATIONS DE FORAGE ET LIMITES DE PRESTATIONS

JUILLET 2014

ÉDITO

Le Grenelle Environnement a fixé pour les bâtiments neufs et existants des objectifs ambitieux en matière d'économie et de production d'énergie. Le secteur du bâtiment est engagé dans une mutation de très grande ampleur qui l'oblige à une qualité de réalisation fondée sur de nouvelles règles de construction.

Le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a pour mission, à la demande des Pouvoirs Publics, d'accompagner les quelque 370 000 entreprises et artisans du secteur du bâtiment et l'ensemble des acteurs de la filière dans la réalisation de ces objectifs.

Sous l'impulsion de la CAPEB et de la FFB, de l'AQC, de la COPREC Construction et du CSTB, les acteurs de la construction se sont rassemblés pour définir collectivement ce programme. Financé dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie grâce à des contributions importantes d'EDF (15 millions d'euros) et de GDF SUEZ (5 millions d'euros), ce programme vise, en particulier, à mettre à jour les règles de l'art en vigueur aujourd'hui et à en proposer de nouvelles, notamment pour ce qui concerne les travaux de rénovation. Ces nouveaux textes de référence destinés à alimenter le processus normatif classique seront opérationnels et reconnus par les assureurs dès leur approbation ; ils serviront aussi à l'établissement de manuels de formation.

Le succès du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » repose sur un vaste effort de formation initiale et continue afin de renforcer la compétence des entreprises et artisans sur ces nouvelles techniques et ces nouvelles façons de faire. Dotées des outils nécessaires, les organisations professionnelles auront à cœur d'aider et d'inciter à la formation de tous.

Les professionnels ont besoin rapidement de ces outils et « règles du jeu » pour « réussir » le Grenelle Environnement.

Alain MAUGARD

Président du Comité de pilotage du Programme
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
Président de QUALIBAT



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

AVANT-PROPOS

Afin de répondre au besoin d'accompagnement des professionnels du bâtiment pour atteindre les objectifs ambitieux du Grenelle Environnement, le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a prévu d'élaborer les documents suivants :

Les Recommandations Professionnelles « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques de référence, préfigurant un avant-projet NF DTU, sur une solution technique clé améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur vocation est d'alimenter soit la révision d'un NF DTU aujourd'hui en vigueur, soit la rédaction d'un nouveau NF DTU. Ces nouveaux textes de référence seront reconnus par les assureurs dès leur approbation.

Les Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques sur une solution technique innovante améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur objectif est de donner aux professionnels de la filière les règles à suivre pour assurer une bonne conception, ainsi qu'une bonne mise en œuvre et réaliser une maintenance de la solution technique considérée. Ils présentent les conditions techniques minimales à respecter.

Les Calepins de chantier « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des mémentos destinés aux personnels de chantier, qui illustrent les bonnes pratiques d'exécution et les dispositions essentielles des Recommandations Professionnelles et des Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Les Rapports « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » présentent les résultats soit d'une étude conduite dans le cadre du programme, soit d'essais réalisés pour mener à bien la rédaction de Recommandations Professionnelles ou de Guides.

Les Recommandations Pédagogiques « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents destinés à alimenter la révision des référentiels de formation continue et initiale. Elles se basent sur les éléments nouveaux et/ou essentiels contenus dans les Recommandations Professionnelles ou Guides produits par le programme.

L'ensemble des productions du programme d'accompagnement des professionnels « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » est mis gratuitement à disposition des acteurs de la filière sur le site Internet du programme : <http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr>



Sommaire

Introduction	5
1 - Tâches et limites de prestations	6
1.1. • Conception et dimensionnement de l'installation	6
1.2. • Opérations préalables au forage.....	7
1.3. • Réalisation d'une sonde géothermique verticale	9
1.4. • Réalisation d'un forage sur eau de nappe	15
2 - Fiches de coordination	22
3 - Lexique	35
4 - Annexes	37
ANNEXE 1 : Paramètres caractéristiques des principaux sols rencontrés	38
ANNEXE 2 : Critères d'évaluation de qualité d'eau pour les échangeurs thermiques.....	40

Introduction



Ce document présente les différentes étapes de la réalisation d'un chantier de forage pour la mise en place de sondes géothermiques verticales ou de forages sur nappe aquifère.

Dans une première partie, les tâches de chaque intervenant (installateur, foreur, maître d'ouvrage) sont décrites pour chacune des étapes de réalisation. Cet état permet ainsi d'établir les responsabilités.

Dans une seconde partie, des exemples de fiches sont proposés afin de faciliter les coordinations techniques entre les différents intervenants et d'attester des tâches réalisées :

- Fiche récapitulative des opérations à réaliser pour les sondes géothermiques verticales ;
- Fiche récapitulative des opérations à réaliser pour les forages sur nappe ;
- Rapport de forage ;
- Profil de forage ;
- Protocole de pompage ;
- Fiche descriptive des travaux réalisés pour les sondes géothermiques verticales en individuel ;
- Fiche descriptive des travaux réalisés pour les forages sur nappe en individuel.



Tâches et limites de prestations

1



1.1. • Conception et dimensionnement de l'installation

Actions menées par l'installateur

L'installateur conçoit et dimensionne l'installation de chauffage par pompe à chaleur souvent en concertation avec le constructeur de la pompe à chaleur, éventuellement avec un bureau d'études. Il effectue les opérations suivantes :

- la réalisation de l'étude thermique du bâtiment conformément à la norme NF EN 12831 pour définir les besoins thermiques ;
- le calcul de la puissance calorifique nominale en kW de la pompe à chaleur ;
- la détermination de la durée annuelle prévisionnelle en heures de fonctionnement de la pompe à chaleur, donnée à fournir au foreur ;
- le calcul de la puissance frigorifique nominale en kW (puissance à soutirer au terrain), donnée à fournir au foreur.

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
1	Conception et dimensionnement			
	Réalisation de l'étude thermique		<input type="checkbox"/>	
	Puissance calorifique nominale de la pompe à chaleur		<input type="checkbox"/>	
	Durée prévisionnelle de fonctionnement*		<input type="checkbox"/>	
	Puissance frigorifique nominale de la pompe à chaleur *		<input type="checkbox"/>	

(*) Données à communiquer au foreur

▲ Figure 1 : Récapitulatif des opérations de conception et dimensionnement

1.2. • Opérations préalables au forage

Au stade des opérations préalables au forage, le maître d'ouvrage et le foreur sont assignés à un certain nombre de tâches. Les autres actions à mener nécessitent d'être identifiées et attribuées après concertation entre les intervenants. Cette répartition doit être contractualisée.

Actions menées par le foreur

Avant toute opération, le foreur effectue une recherche documentaire sur le site internet *Infoterre* du Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM) pour obtenir des renseignements sur d'éventuels forages ou carottages réalisés à proximité du site. Il est par exemple possible d'obtenir des coupes géologiques ou de forage.

Le tableau donné dans l'[Annexe 1] présente les valeurs courantes de paramètres caractéristiques du sol (conductivité thermique, capacité thermique volumique et masse volumique). Ces valeurs peuvent être utilisées en absence de données plus précises concernant le site.

Le foreur vérifie l'accès au site pour le passage du matériel de forage et prend les précautions nécessaires pour éviter les nuisances : bruit, odeurs, stockage des hydrocarbures, produits éventuellement utilisés pour les traitements chimiques...

Il effectue les prestations suivantes :

- il fournit au maître d'ouvrage les plans d'exécution, notes de calcul, études de détail avec notamment les indications de longueurs des tubes en fonction de la puissance thermique à soustraire du sol. Si des tests de réponses sont réalisés, les températures d'eau aller et retour doivent être spécifiées ;
- il présente à l'installateur et au maître d'ouvrage le matériel et la (ou les) méthode(s) de forage la (ou les) mieux adaptée(s) aux conditions géologiques du sous-sol et aux objectifs assignés à l'ouvrage ;
- il informe l'installateur et le maître d'ouvrage du type de fluide qu'il compte utiliser pour chaque phase de forage, avec l'indication prévisionnelle du dosage des produits entrant dans sa composition.

Commentaire

A ce stade, les profondeurs indiquées pour les ouvrages, notamment pour les forages de reconnaissance hydrogéologique, ne sont qu'indicatives. Leur détermination exacte ne pouvant être faite qu'en cours de travaux.



Actions menées par le maître d'ouvrage

Le maître d'ouvrage détermine l'emplacement du forage en accord avec le foreur et l'installateur. L'implantation peut être matérialisée sur le terrain par un piquet ou par un périmètre à l'intérieur duquel le foreur doit réaliser l'ouvrage.

Le maître d'ouvrage indique à l'installateur ou/et au foreur les moyens en énergie électrique et en eau présents à proximité du chantier avec leurs caractéristiques techniques (distance, puissance électrique et intensité disponibles, débit d'eau disponible...) et les conditions de leur utilisation.

Le maître d'ouvrage s'assure de la présence ou non de réseaux (câbles électriques, conduites d'eau ou de gaz, épandage éventuel...) par l'intermédiaire d'une Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT). Un repérage de ces réseaux doit être fait avant l'engagement des travaux.

Si l'ouvrage dépasse la profondeur de 10 m en-dessous du sol naturel, il doit être déclaré à l'ingénieur des mines. Cette déclaration, faite en application de l'article L. 411-1 remplaçant l'article 131 de l'ancien Code minier, impose la déclaration préalable à la DREAL par le maître d'ouvrage (ou par le foreur), au moins un mois avant sa réalisation.

Actions à contractualiser

Il convient de désigner l'intervenant pour les opérations suivantes :

- les travaux d'aménagement : lors de la phase de préparation de chantier, il convient de préciser les caractéristiques particulières du terrain mis à la disposition du foreur et de désigner l'intervenant (maître d'ouvrage, installateur, voire le foreur lui-même) qui mènera ces travaux d'aménagement ;
- la vérification de la déclaration en cas de profondeur supérieure à 10 m : après accord contractuel, soit le foreur, soit l'installateur ou bien les deux s'assurent que le forage dépassant la profondeur de 10 m en-dessous du sol naturel, a bien été déclaré à l'ingénieur des mines par le maître d'ouvrage ;
- la vérification des déclarations ou des demandes d'autorisation en cas de prélèvement d'eau de nappe : après accord contractuel, soit le foreur ou soit l'installateur ou bien les deux s'assurent que toutes les procédures de déclarations ou de demandes d'autorisation ont bien été réalisées (voir les articles R. 214-1 à R. 214-5 du Code de l'environnement).



La (Figure 2) présente un récapitulatif des opérations à réaliser avant l'opération de forage.

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
2	Préparation du chantier			
	Aménagement du terrain	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disponibilité des moyens (électricité, eau...)	<input type="checkbox"/>		
	Vérifications des accès			<input type="checkbox"/>
	Recherche documentaire sur le site <i>infoterre</i>			<input type="checkbox"/>
	Déclaration Intention Commencement Travaux (DICT)	<input type="checkbox"/>		
	Déclaration de l'ouvrage	<input type="checkbox"/>		
	Vérification de la déclaration de l'ouvrage		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Plans d'exécution, notes de calcul, études de détail			
	Elaboration et présentation des documents			<input type="checkbox"/>
4	Méthode de forage			
	Présentation du matériel et de la (ou des) méthode(s) de forage			<input type="checkbox"/>
5	Fluide de circulation			
	Information du type de fluide et des additifs utilisés			<input type="checkbox"/>
	Prévention des incidents (risques d'utilisation, pertes)			<input type="checkbox"/>

▲ Figure 2 : Récapitulatif des opérations à mener avant l'opération de forage

1.3. • Réalisation d'une sonde géothermique verticale

Cette prestation regroupe un ensemble d'opérations réalisé par le foreur.

1.3.1. • Forage

Le forage de mise en œuvre d'une sonde géothermique verticale est réalisé conformément à la norme NF X 10-970.

Les travaux sont menés en fonction :

- des connaissances géologiques acquises sur le sous-sol par le foreur complétées par les informations dont dispose éventuellement le maître d'ouvrage ;
- des objectifs à atteindre et des conditions d'utilisation de l'ouvrage.

Le foreur prélève des échantillons (cuttings) des terrains traversés en cours de forage afin d'établir un relevé des coupes géologique et lithographique.



Une prise d'échantillon est effectuée pour chaque forage. Elle est réalisée à chaque changement de faciès ou a minima tous les cinq mètres. Pour les ouvrages dans lesquels est réalisé un ou des tests de réponse thermique, un échantillonnage métrique est effectué. Dans tous les cas :

- la profondeur de chaque échantillon est repérée par rapport à la surface du sol ;
- le volume de chaque échantillon est de l'ordre de 0,5 à 1 dm³ ;
- chaque échantillon est entreposé sans avoir été préalablement lavé soit dans un flacon, soit dans un sac étanche, soit dans un casier fermé portant l'indication indélébile de la profondeur forée et des références du forage ;
- le foreur est responsable des échantillons jusqu'à leur remise au maître d'ouvrage qui les conserve ;
- l'absence de remise d'échantillons peut entraîner l'exécution d'un autre forage par le foreur à la demande de l'installateur ou du maître d'ouvrage.



En cas de perte totale ou partielle du fluide de forage utilisé lors de la réalisation de l'ouvrage, le foreur prend les mesures voulues pour les limiter. Il en avise aussitôt l'installateur et le maître d'ouvrage.

1.3.2. • Mise en place des boucles de sonde

Le foreur réalise les opérations suivantes :

- préparation des boucles comprenant le contrôle du marquage et du référencement de la sonde, la mise en place d'un bouclier de protection du pied de sonde et d'écarteurs.

Il est recommandé de mettre en place un bouclier de protection du pied de sonde principalement dans les terrains compétents et fissurés afin de protéger le pied de sonde et de rigidifier la boucle.

Dans le cas de boucles de géométrie en U ou multi-U, il convient de les équiper d'écarteurs de tubes permettant d'assurer un espacement correct entre les tubes aller et retour. Ils sont placés tous les mètres, afin de minimiser le contact entre ces tubes ;

- mise en place de la sonde à l'aide d'un treuil hydraulique, touret ou dérouleur à axe horizontal de préférence.

Un dérouleur à axe horizontal permet le déroulage de la boucle de sonde verticalement mais aussi la possibilité de retirer la boucle de sonde du forage en cas d'anomalie.

En présence d'eau souterraine, la sonde est remplie d'eau pour la lester et faciliter sa descente dans le forage. Des lests sont



également prévus à la base de la sonde pour faciliter la descente en assurant une tension de l'ensemble ;

- contrôle de la mise en place par un essai de pertes de charge et un essai de débit de circulation d'eau claire ;
- cimentation afin d'assurer un remplissage homogène sur toute la hauteur du forage.

Quelques cas mentionnés dans la norme NF X 10-970 peuvent légitimer une impossibilité de cimenter sur toute la hauteur d'une manière continue (roches ou calcaires fissurés, zones karstiques, carrières souterraines...). Le foreur doit en informer l'installateur et le maître d'ouvrage et le mentionner dans son rapport. Dans le cas le plus défavorable, en accord avec l'installateur et le maître d'ouvrage, il est procédé à l'abandon du forage.



La cimentation est effectuée sans vide d'air, par injection d'un coulis de remplissage sous pression par la base du forage et par méthode ascendante à l'aide d'un tube perdu, jusqu'à une profondeur d'environ 1 m du terrain naturel.

Le gravillonnage est proscrit dans tous les cas, même en présence d'eau souterraine.

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
6	Forage			
	<i>Prélèvement d'échantillons :</i>			
	Sans test de réponse, à chaque changement de faciès ou a minima tous les 5 mètres.			<input type="checkbox"/>
	Avec test de réponse, à chaque mètre			<input type="checkbox"/>
7	Mise en place des boucles de sonde			
	<i>Préparation de la boucle :</i>			
	Contrôle du marquage et du référencement			<input type="checkbox"/>
	Disposition des écarteurs			
	<i>Mise en place des boucles de sonde :</i>			
	Descente facile de la sonde			<input type="checkbox"/>
	Contrôle de la mise en place par essais de pertes de charge et de débit de circulation			<input type="checkbox"/>
	<i>Cimentation :</i>			
	Injection de coulis de remplissage			<input type="checkbox"/>

▲ Figure 3 : Récapitulatif des opérations à mener lors du forage pour une sonde géothermique verticale



1.3.3. • Raccordement à la pompe à chaleur

L'installateur réalise le raccordement des sondes géothermiques à la pompe à chaleur.

Le foreur doit les prestations minimales suivantes :

- identification des tubes aller et retour pour faciliter leur raccordement ;
- découpe des tubes avec une longueur suffisante pour permettre la liaison jusqu'au premier raccord ou jusqu'au collecteur principal. Ce dernier peut être situé dans le terrain ou à l'intérieur du local technique. Les tubes et le collecteur présents dans le local technique sont calorifugés ;
- pose d'un bouchon pour éviter l'introduction de particules et d'une protection mécanique en tête de forage.

La prestation de découpe des tubes en tête de sondes par le foreur doit être précisée. Deux solutions sont possibles :

- les tubes sont coupés en laissant une longueur suffisante permettant ainsi la liaison jusqu'au premier raccord ou jusqu'au collecteur principal ;
- les tubes dépassent le terrain naturel pour permettre le raccordement direct au collecteur principal situé dans le terrain ou dans le local technique.

L'installateur réalise les opérations suivantes :

- raccordement en tête de sonde (mécanique, électrosoudé ou par polyfusion) avec la tuyauterie de liaison à la pompe à chaleur (distribution en Tichelmann) ou avec la tuyauterie de raccordement au collecteur principal ;
- disposition des tuyauteries de liaison en tranchée à environ 1 m de profondeur ;
- disposition d'un grillage avertisseur à une distance minimale de 30 cm au-dessus des tuyauteries.

Après accord contractuel, ces opérations peuvent être réalisées par le foreur.



Les tubes ne doivent en aucun cas se toucher dans la tranchée, une distance minimale de 0,50 m est prévue entre l'aller et le retour. A défaut, les tubes sont placés de préférence dans des fourreaux indépendants et éventuellement dans des fourreaux isolés.



N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
8	Raccordement à la pompe à chaleur			
	Identification des tubes et bouchons			<input type="checkbox"/>
	Protection mécanique des tubes en tête de forage			<input type="checkbox"/>
	Découpe des tubes avec longueur suffisante pour liaison au premier raccord ou au collecteur principal		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Raccordement en tête de sonde avec tuyauterie de liaison avec la pompe à chaleur ou tuyauterie de raccordement au collecteur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disposition des tuyauteries en tranchée		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disposition d'un grillage avertisseur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

▲ Figure 4 : Récapitulatif des opérations de raccordement à la pompe à chaleur pour une sonde géothermique verticale

1.3.4. • Finalisation de l'ouvrage

Le foreur prévoit d'évacuer l'excédent de déblais ainsi que les boues de forage et de remettre en état le terrain avant de le restituer au maître de l'ouvrage.

Selon les clauses définies dans le contrat, l'installateur ou le foreur réalise le remplissage de la sonde en vue de sa mise en exploitation en utilisant un liquide caloporteur biodégradable du type mélange eau et monopropylène glycol. Il est recommandé d'utiliser un produit formulé prêt à l'emploi.

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
9	Finalisation de l'ouvrage			
	Remise en état des lieux avec évacuation des déblais et des boues de forage			<input type="checkbox"/>
	Remise en état du terrain			<input type="checkbox"/>
	Remplissage de la sonde en liquide caloporteur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

▲ Figure 5 : Récapitulatif des opérations de finalisation de l'ouvrage pour une sonde géothermique verticale

1.3.5. • Equilibrage des pertes de charge

L'installateur réalise l'équilibrage du circuit hydraulique desservant les sondes. Afin de faciliter cette opération, il est nécessaire de prévoir la localisation des sondes et leurs raccordements dès la phase de conception et de collaborer avec le foreur lors de la phase de mise en œuvre. Deux solutions techniques sont possibles :

- la distribution est réalisée en Tichelmann afin de faciliter l'équilibrage hydraulique avec le raccordement de chaque sonde sur la boucle de distribution en tranchée à une profondeur d'environ 1 m ;



- l'alimentation de chaque sonde s'effectue en parallèle à partir d'un collecteur disposé soit en local technique, soit dans un regard accessible dans le sol à une profondeur d'environ 1 m.

Dans les deux cas, des éléments permettant l'équilibrage sont prévus : robinet d'équilibrage de préférence avec prises de pression, débitmètre...

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
10	Equilibrage des pertes de charge			
	Réalisation d'un équilibrage hydraulique		<input type="checkbox"/>	

▲ Figure 6 : Récapitulatif des opérations d'équilibrage hydraulique pour une sonde géothermique verticale

1.3.6. • Remise du dossier technique

Le dossier technique réalisé par le foreur est remis au maître d'ouvrage lors de la réception de l'ouvrage. Il comprend *a minima* les documents suivants :

- le descriptif des travaux réalisés ;
- le rapport ou protocole de forage avec notamment le relevé d'avancement (précisant en particulier les dates de chaque phase importante des travaux) et le relevé des prises d'échantillons ;
- le rapport de fin de travaux ;
- le procès-verbal de réception des sondes géothermiques verticales.

Plusieurs de ces documents sont proposés en chapitre 2 (cf. 2).

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
11	Dossier technique			
	Descriptif des travaux réalisés			<input type="checkbox"/>
	Rapport de forage (avec relevés d'avancement et de prises d'échantillons)			<input type="checkbox"/>
	Rapport de fin de travaux			<input type="checkbox"/>
	Procès-verbal de réception	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

▲ Figure 7 : Récapitulatif des éléments minimaux composant le dossier technique pour une sonde géothermique verticale

1.4. • Réalisation d'un forage sur eau de nappe

Cette prestation regroupe un ensemble d'opérations réalisé par le foreur.

Les opérations citées concernent l'ouvrage de prélèvement d'eau ainsi que l'ouvrage de rejet d'eau.



Le rejet doit être réalisé dans l'aquifère d'origine, c'est-à-dire dans la même nappe que celle où a lieu le prélèvement.

Il est nécessaire de calculer la distance entre les ouvrages afin d'éviter des interférences thermique et hydraulique entre le puits de prélèvement et le puits de rejet. Il convient de tenir compte de l'écoulement naturel de la nappe d'eau souterraine.

Dans l'individuel, la distance minimale entre le puits de prélèvement et le puits de rejet généralement admise est de 15 m.

Le rejet des eaux en surface doit être exceptionnel et nécessite des autorisations spécifiques. Cette solution entraîne le paiement de taxes et de redevances supplémentaires.

1.4.1. • Forage

Le forage pour captage d'eau souterraine est réalisé conformément à la norme NF X 10-999.

Les travaux sont menés en fonction :

- des connaissances géologiques acquises sur le sous-sol par le foreur complétées par les informations dont dispose éventuellement le maître d'ouvrage ;
- des objectifs à atteindre et des conditions d'utilisation de l'ouvrage.

Le foreur prélève des échantillons (cuttings) des terrains traversés en cours de forage afin d'établir un relevé des coupes géologique et lithographique.

Une prise d'échantillon est effectuée tous les mètres ainsi qu'à chaque changement de faciès. Dans tous les cas :

- la profondeur de chaque échantillon est repérée par rapport à la surface du sol ;
- le volume de chaque échantillon est de l'ordre de 0,5 à 1 dm³ ;
- chaque échantillon est entreposé sans avoir été préalablement lavé soit dans un flacon, soit dans un sac étanche, soit dans un casier fermé portant l'indication indélébile de la profondeur forée et des références du forage ;



- le foreur est responsable des échantillons jusqu'à leur remise au maître d'ouvrage qui les conserve ;
- l'absence de remise d'échantillons peut entraîner l'exécution d'un autre forage par le foreur à la demande de l'installateur ou du maître d'ouvrage.



En cas de perte totale ou partielle du fluide de forage utilisé lors de la réalisation de l'ouvrage, le foreur prend les mesures voulues pour les limiter. Il en avise aussitôt l'installateur et le maître d'ouvrage.

Le foreur réalise les opérations suivantes :

- le soutènement des terrains par une ou plusieurs colonnes télescopées de tubes pleins ;
- la cimentation autour des tubes de soutènement pour assurer notamment l'étanchéité des terrains superficiels. Il définit les zones et la hauteur de cimentation ;
- la mise en place de la colonne captante et éventuellement d'une fermeture de fond pour la crépine et d'une colonne de tubes pleins pour prolongement de la crépine.

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
6	Forage sur nappe			
	Prélèvement d'échantillons à chaque mètre			<input type="checkbox"/>
	Remise des échantillons au maître d'ouvrage			<input type="checkbox"/>
7	Réalisation de l'ouvrage			
	Réalisation du soutènement des terrains			<input type="checkbox"/>
	Cimentation autour des tubes de soutènement			<input type="checkbox"/>
	Mise en place de la colonne captante			<input type="checkbox"/>
	Mise en place d'une fermeture de fond pour crépine			<input type="checkbox"/>
	Mise en place d'une colonne de tubes pleins pour prolongement de la crépine			<input type="checkbox"/>

▲ Figure 8 : Récapitulatif des opérations à mener lors d'un forage sur nappe

1.4.2. • Opérations préalables à la mise en service

Les opérations préalables à la mise en service sont assurées par le foreur.

Lavage du puits de captage

Dans le cas d'un forage à la boue, le puits est lavé à l'eau claire par injection directe à la base de la colonne captante, aussi longtemps que l'eau en sort chargée.

Le lavage peut s'accompagner d'un traitement chimique pour déflocculer la boue minérale ou pour accélérer la biodégradation de la boue organique.

Nettoyage du puits à l'émulsion

Le nettoyage du puits à l'émulsion s'effectue par injection d'air à la base d'un tube descendu au fond du puits ou à l'intérieur de la colonne captante. La pression d'air est supérieure d'au moins 10% à la pression exercée par la hauteur d'eau équivalente au-dessus de l'injecteur.

Développement du puits de captage

Les méthodes de développement d'un puits peuvent être dynamiques (pistonnage, pompages) ou chimiques (traitement à l'acide ou aux polyphosphates). Elles peuvent être combinées les unes avec les autres pour obtenir le meilleur résultat.

Les méthodes de développement sont les suivantes :

- par pistonnage ;
- par pompage (sur-pompage continu, à débit progressif...) ;
- par acidification ;
- par traitement aux polyphosphates.

Pompages d'essais et détermination des caractéristiques hydrodynamiques

Les pompages d'essais doivent permettre la détermination des pertes de charge dans le puits (essai de puits) et le calcul des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe (essai de nappe) en vue de connaître le débit réellement exploitable dans l'ouvrage.

Prélèvements d'eau et analyses

L'objectif des prélèvements d'eau et de leurs analyses est de vérifier la compatibilité de l'eau avec l'usage prévu. Les résultats sont



communiqués à l'installateur. Ils conditionnent la mise en place d'un échangeur intermédiaire et les matériaux utilisés.

Le tableau en [Annexe 2] donne à titre indicatif les valeurs limites des différents critères d'évaluation de qualité d'eau.



Le choix d'un échangeur intermédiaire entre le puits et la pompe à chaleur doit être validé par le constructeur de la pompe à chaleur.

Commentaire

Dans la plupart des cas, l'eau souterraine n'est pas corrosive. Toutefois, l'apport de matières organiques ou d'oxygène par l'infiltration des eaux de surface peut modifier la qualité des eaux souterraines.

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
8	Opérations préalables à la mise en service du forage sur nappe			
	Lavage du puits de captage			<input type="checkbox"/>
	Traitement chimique éventuel			<input type="checkbox"/>
	Nettoyage du puits à l'émulsion d'air			<input type="checkbox"/>
	Développement du puits de captage			<input type="checkbox"/>
	Pompages d'essais			<input type="checkbox"/>
	Prélèvements d'eau et analyses			<input type="checkbox"/>
	Communication des résultats à l'installateur			<input type="checkbox"/>

▲ Figure 9 : Récapitulatif des opérations préalables à la mise en service d'un forage sur nappe

1.4.3. • Protection de l'ouvrage

Cette prestation regroupe un ensemble d'opérations réalisé par le foreur pour protéger l'ouvrage de forage sur eau de nappe.

Le foreur réalise une fermeture efficace de la tête de forage ou prend les mesures utiles pour que l'ouvrage ne soit ni endommagé ni pollué. Le forage ne peut être réceptionné par le maître d'ouvrage sans la fermeture de tête de puits.

La protection de l'ouvrage doit répondre aux objectifs suivants.

Protection des eaux superficielles

Il s'agit d'empêcher les eaux superficielles (par ruissellement ou lors d'inondations) de rejoindre la nappe par le tube lui-même ou par l'espace annulaire.

Le tubage de forage doit être étanche et scellé dans une margelle bétonnée (dalle de propreté étanche). Cette dalle possède une surface minimale de 3 m² et une hauteur minimale de 30 cm au-dessus du



terrain naturel. Les faces présentent une pente suffisante pour évacuer l'eau de pluie vers l'extérieur du tubage.

La tête de forage est d'au moins 50 cm au-dessus du terrain naturel. Le capot de tête de forage est constitué d'un bouchon étanche.

Si la tête de forage est située dans un local, la margelle en béton reste nécessaire. L'accès au local est cadenassé.

Protection de la tête de forage

L'objectif est d'éviter l'introduction d'objets divers, de substances ou des actes de vandalisme. Il est nécessaire de verrouiller les protections en tête de forage. Par exemple, les capots métalliques peuvent être fermés à l'aide de cadenas de type « artilleur ».

Protection physique de l'ouvrage

L'objectif est de protéger le tube en cas de choc. Différentes solutions peuvent être retenues. Les plus courantes sont les suivantes :

- tube métallique scellé à l'intérieur duquel se trouve la tête de forage ;
- barrière de protection située à une distance de 2 m de la tête de l'ouvrage, indéformable, en tube métallique par exemple. La barrière de protection s'ajoute au tube métallique cité précédemment.

Protection contre les eaux de remontées artésiennes

En cas d'artésianisme, le tube de tête est équipé d'un capot étanche sur brides avec manomètre et vanne de décharge et d'un guide sonde.

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
9	Protection de l'ouvrage en cas de forage sur nappe			
	Protection des eaux superficielles (réalisation d'une aire bétonnée autour du tube de tête...)			<input type="checkbox"/>
	Protection de la tête de forage			<input type="checkbox"/>
	Protection physique de l'ouvrage			<input type="checkbox"/>
	Protection contre les eaux de remontées artésiennes			<input type="checkbox"/>

▲ Figure 10 : Récapitulatif des opérations de protection de l'ouvrage de forage sur eau de nappe

1.4.4. • Raccordement à la pompe à chaleur

L'installateur réalise le raccordement depuis la tête de forage jusqu'à la pompe à chaleur.



Il descend la pompe dans le forage par une corde nylon ou par un câble inox selon le cas. Le cordon de descente et de suspension de la pompe immergée est relié à un voire deux anneaux d'ancrage fixés à la pompe.



Dans tous les cas, l'accès aux éléments permettant le retrait de la pompe dans le cadre de la maintenance doit être prévu (portique, chèvre support, palan...).

L'installateur prévoit a minima un robinet d'isolement en attente pour le raccordement.

Il réalise les opérations suivantes :

- raccordement en tête de forage avec la tuyauterie de liaison à la pompe à chaleur ;
- disposition de la tuyauterie de liaison en tranchée à environ 1 m de profondeur ;
- disposition d'un grillage avertisseur à une distance minimale de 30 cm au-dessus de la tuyauterie.

Après accord contractuel, ces opérations peuvent aussi être réalisées par le foreur.

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
10	Raccordement à la pompe à chaleur			
	Robinet d'isolement en attente		<input type="checkbox"/>	
	Descente de la pompe dans le forage		<input type="checkbox"/>	
	Raccordement en tête de forage avec tuyauterie de liaison avec la pompe à chaleur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disposition de la tuyauterie de liaison en tranchée		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disposition d'un grillage avertisseur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

▲ Figure 11 : Récapitulatif des opérations de raccordement à la pompe à chaleur pour un forage sur nappe

1.4.5. • Finalisation de l'ouvrage

Le foreur prévoit d'évacuer l'excédent de déblais ainsi que les boues de forage et de remettre en état le terrain avant de le restituer au maître de l'ouvrage.

Toute opération complémentaire du foreur doit être spécifiée dans le contrat avec l'installateur. Les limites de prestations doivent être clairement définies.

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
11	Finalisation de l'ouvrage			
	Remise en état des lieux avec évacuation des déblais et des boues de forage			<input type="checkbox"/>
	Remise en état du terrain			<input type="checkbox"/>
	Toute opération complémentaire doit être contractualisée		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

▲ Figure 12 : Récapitulatif des opérations de finalisation de l'ouvrage pour un forage sur nappe

1.4.6. • Remise du dossier technique

Le dossier technique réalisé par le foreur est remis au maître d'ouvrage lors de la réception de l'ouvrage. Il comprend a minima les documents suivants :

- le descriptif des travaux réalisés ;
- le rapport ou protocole de forage avec notamment le relevé d'avancement (précisant en particulier les dates de chaque phase importante des travaux) et le relevé des prises d'échantillons ;
- le profil de forage avec notamment un profil géologique associé à la coupe technique, le(s) type(s) d'aquifère(s) traversé(s) et une diagraphie éventuelle ;
- le protocole de pompage avec notamment les mesures effectuées lors des pompages d'essais ;
- l'analyse d'eau ;
- le rapport de fin de travaux avec un récapitulatif des travaux effectués et un descriptif de l'ouvrage réalisé. Un examen éventuel de l'état du forage par caméra immergée (si la prestation est prévue dans le contrat) peut être joint ;
- le procès-verbal de réception du forage sur nappe.

Plusieurs de ces documents sont proposés en chapitre 2 (cf. 2).

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
12	Dossier technique			
	Descriptif des travaux réalisés			<input type="checkbox"/>
	Rapport de forage (avec relevés d'avancement et de prises d'échantillons)			<input type="checkbox"/>
	Profil de forage (profil géologique, coupe technique, type(s) d'aquifère(s) traversés(s), diagraphie éventuelle)			<input type="checkbox"/>
	Protocole de pompage			<input type="checkbox"/>
	Analyse d'eau			<input type="checkbox"/>
	Rapport de fin de travaux			<input type="checkbox"/>
	Procès-verbal de réception	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

▲ Figure 13 : Récapitulatif des éléments minimaux composants le dossier technique pour un forage sur nappe



Fiches de coordination

2



Cette partie présente des documents permettant de faciliter la coordination des opérations d'un forage et d'attester des tâches menées. Ils sont destinés aux différents intervenants : foreur, installateur...

Les exemples de fiches proposés :

- Fiche récapitulative des opérations à réaliser pour les sondes géothermiques verticales ;
- Fiche récapitulative des opérations à réaliser pour les forages sur nappe ;
- Rapport de forage ;
- Profil de forage ;
- Protocole de pompage ;
- Fiche descriptive des travaux réalisés pour les sondes géothermiques verticales en individuel ;
- Fiche descriptive des travaux réalisés pour les forages sur nappe en individuel.

Fiche récapitulative des opérations à réaliser pour les sondes géothermiques verticales

Elle présente un tableau reprenant les opérations citées précédemment de réalisation d'une installation comprenant des sondes géothermiques verticales. Elle permet de répartir les opérations entre les différents intervenants : maître d'ouvrage, installateur et foreur. Le but est d'identifier les prestations et de contractualiser les tâches de chacun.



EXEMPLE DE FICHE RECAPITULATIVE DES OPERATIONS A REALISER POUR LES SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES				
N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
1	Conception et dimensionnement			
	Réalisation de l'étude thermique		<input type="checkbox"/>	
	Puissance calorifique nominale de la pompe à chaleur		<input type="checkbox"/>	
	Durée prévisionnelle de fonctionnement		<input type="checkbox"/>	
	Puissance frigorifique nominale de la pompe à chaleur		<input type="checkbox"/>	
2	Préparation du chantier			
	Aménagement du terrain	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disponibilité des moyens (électricité, eau...)	<input type="checkbox"/>		
	Vérifications des accès			<input type="checkbox"/>
	Recherche documentaire sur site <i>infoterre</i>			<input type="checkbox"/>
	Déclaration Intention Commencement Travaux (DICT)	<input type="checkbox"/>		
	Déclaration de l'ouvrage	<input type="checkbox"/>		
	Vérification de la déclaration de l'ouvrage		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Plans d'exécution, notes de calcul, études de détail			
	Elaboration et présentation des documents			<input type="checkbox"/>
4	Méthode de forage			
	Présentation du matériel et de la (ou les) méthode(s) de forage			<input type="checkbox"/>
5	Fluide de circulation			
	Information du type de fluide et des additifs utilisés			<input type="checkbox"/>
	Prévention des incidents (risques d'utilisation, pertes)			<input type="checkbox"/>
6	Forage			
	<i>Prélèvement d'échantillons :</i>			
	Sans test de réponse, à chaque changement de faciès ou à minima tous les 5 mètres.			<input type="checkbox"/>
	Avec test de réponse, à chaque mètre			<input type="checkbox"/>
7	Mise en place des boucles de sonde			
	<i>Préparation de la boucle :</i>			
	Contrôle du marquage et du référencement			<input type="checkbox"/>
	Disposition des écarteurs			<input type="checkbox"/>
	<i>Mise en place des boucles de sonde :</i>			
	Descente de la sonde sans difficulté			<input type="checkbox"/>
	Contrôle de la mise en place par essais de pertes de charge et de débit de circulation			<input type="checkbox"/>
	<i>Cimentation :</i>			
	Injection de coulis de remplissage			<input type="checkbox"/>



EXEMPLE DE FICHE RECAPITULATIVE DES OPERATIONS A REALISER POUR LES SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES				
N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
8	Raccordement à la pompe à chaleur			
	Identification des tubes et bouchons			<input type="checkbox"/>
	Protection mécanique des tubes en tête de forage			<input type="checkbox"/>
	Découpe des tubes avec longueur suffisante pour liaison au premier raccord ou au collecteur principal		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Raccordement en tête de sonde avec tuyauterie de liaison avec la pompe à chaleur ou tuyauterie de raccordement au collecteur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disposition des tuyauteries en tranchée		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disposition d'un grillage avertisseur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Finalisation de l'ouvrage			
	Remise en état des lieux avec évacuation des déblais et des boues de forage			<input type="checkbox"/>
	Remise en état du terrain			<input type="checkbox"/>
	Remplissage de la sonde en liquide caloporteur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Equilibrage des pertes de charge			
	Réalisation d'un équilibrage hydraulique		<input type="checkbox"/>	
11	Dossier technique			
	Descriptif des travaux réalisés			<input type="checkbox"/>
	Rapport de forage (avec relevés d'avancement et de prises d'échantillons)			<input type="checkbox"/>
	Rapport de fin de travaux			<input type="checkbox"/>
	Procès-verbal de réception	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fiche récapitulative des opérations à réaliser pour les forages sur nappe

Elle présente un tableau reprenant les opérations citées précédemment de réalisation d'une installation comprenant des forages sur nappes aquifères. Elle permet de répartir les opérations entre les différents intervenants : maître d'ouvrage, installateur et foreur. Le but est d'identifier les prestations et de contractualiser les tâches de chacun.

EXEMPLE DE FICHE RECAPITULATIVE DES OPERATIONS A REALISER POUR LES FORAGES SUR NAPPE				
N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
1	Conception et dimensionnement			
	Réalisation de l'étude thermique		<input type="checkbox"/>	
	Puissance calorifique nominale de la pompe à chaleur		<input type="checkbox"/>	
	Durée prévisionnelle de fonctionnement		<input type="checkbox"/>	
	Puissance frigorifique nominale de la pompe à chaleur		<input type="checkbox"/>	
2	Préparation du chantier			
	Aménagement du terrain	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disponibilité des moyens (électricité, eau...)	<input type="checkbox"/>		
	Vérifications des accès			<input type="checkbox"/>
	Recherche documentaire sur site <i>infoterre</i>			<input type="checkbox"/>
	Déclaration Intention Commencement Travaux (DICT)	<input type="checkbox"/>		
	Déclaration de l'ouvrage	<input type="checkbox"/>		
	Vérification de la déclaration de l'ouvrage		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Plans d'exécution, notes de calcul, études de détail			
	Elaboration et présentation des documents			<input type="checkbox"/>
4	Méthode de forage			
	Présentation du matériel et de la (ou les) méthode(s) de forage			<input type="checkbox"/>
5	Fluide de circulation			
	Information du type de fluide et des additifs utilisés			<input type="checkbox"/>
	Prévention des incidents (risques d'utilisation, pertes)			<input type="checkbox"/>
6	Forage sur nappe			
	Prélèvement d'échantillons à chaque mètre			<input type="checkbox"/>
	Remise des échantillons au maître d'ouvrage			<input type="checkbox"/>





EXEMPLE DE FICHE RECAPITULATIVE DES OPERATIONS A REALISER POUR LES FORAGES SUR NAPPE				
N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
7	Réalisation de l'ouvrage			
	Réalisation du soutènement des terrains			<input type="checkbox"/>
	Cimentation autour des tubes de soutènement			<input type="checkbox"/>
	Mise en place de la colonne captante			<input type="checkbox"/>
	Mise en place d'une fermeture de fond pour crépine			<input type="checkbox"/>
	Mise en place d'une colonne de tubes pleins pour prolongement de la crépine			<input type="checkbox"/>
8	Opérations préalables à la mise en service du forage sur nappe			
	Lavage du puits de captage			<input type="checkbox"/>
	Traitement chimique éventuel			<input type="checkbox"/>
	Nettoyage du puits à l'émulsion d'air			<input type="checkbox"/>
	Développement du puits de captage			<input type="checkbox"/>
	Pompages d'essais			<input type="checkbox"/>
	Prélèvements d'eau et analyses			<input type="checkbox"/>
	Communication des résultats à l'installateur			<input type="checkbox"/>
9	Protection de l'ouvrage en cas de forage sur nappe			
	Protection des eaux superficielles (réalisation d'une aire bétonnée autour du tube de tête...)			<input type="checkbox"/>
	Protection de la tête de forage			<input type="checkbox"/>
	Protection physique de l'ouvrage			<input type="checkbox"/>
	Protection contre les eaux de remontées artésiennes			<input type="checkbox"/>
10	Raccordement à la pompe à chaleur			
	Robinet d'isolement en attente		<input type="checkbox"/>	
	Descente de la pompe dans le forage		<input type="checkbox"/>	
	Raccordement en tête de forage avec tuyauterie de liaison avec la pompe à chaleur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disposition de la tuyauterie de liaison en tranchée		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disposition d'un grillage avertisseur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Finalisation de l'ouvrage			
	Remise en état des lieux avec évacuation des déblais et des boues de forage			<input type="checkbox"/>
	Remise en état du terrain			<input type="checkbox"/>
	Toute opération complémentaire doit être contractualisée		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

EXEMPLE DE FICHE RECAPITULATIVE DES OPERATIONS A REALISER POUR LES FORAGES SUR NAPPE				
N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
12	Dossier technique			
	Descriptif des travaux réalisés			<input type="checkbox"/>
	Rapport de forage (avec relevés d'avancement et de prises d'échantillons)			<input type="checkbox"/>
	Profil de forage (profil géologique, coupe technique, type(s) d'aquifère(s) traversés(s), diagraphie éventuelle)			<input type="checkbox"/>
	Protocole de pompage			<input type="checkbox"/>
	Analyse d'eau			<input type="checkbox"/>
	Rapport de fin de travaux			<input type="checkbox"/>
	Procès-verbal de réception	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Rapport de forage

Il est appelé également protocole de forage et permet de reporter les résultats des différentes opérations : caractéristiques des échantillons (cuttings) récupérés en cours de forage, arrivées d'eau, difficultés lors du forage (pertes de fluide de forage, pertes à l'injection...), difficultés lors de la mise en place de la boucle de sonde...

Repère :		EXEMPLE DE RAPPORT DE FORAGE					Date début forage : Date fin forage :								
Coordonnées installateur :		Coordonnées chantier :					Coordonnées foreur :								
Ets :		Nom :					Ets :								
Adresse :		Adresse :					Adresse :								
CP + ville :		CP + ville :					CP + ville :								
Date :		Date :					Date :								
Visa :		Visa :					Visa :								
Déclaration Autorisation n°		Forage n° _____ de _____					Maître foreur :								
Profondeur	Description des cuttings		Humidité du sous-sol ¹			Forage ²		Remarques ou observations	Incidents importants ³						
	Jusqu'à	Type, caractéristiques	couleur	M	H	S	B/A		M/S	VE	PF	PI	C	G	Prof (m)
.....	Profondeur finale														
Echantillons : Tous les : _____ m		Tubage (diamètre) : Jusqu'à : _____ de profondeur (m)			Foreuse : Cote de forage :			Marteau (type ⁴ et diamètre) : _____							

(1) Humidité du sol : mouillé (M), humide (H) ou sec (S)

(2) Type de forage : forage à la boue (B), à l'air comprimé (A), avec addition d'eau (M), à sec (S)

(3) Incidents : veine d'eau (VE), pertes de fluide de forage (PF), pertes à l'injection (PI), cavités (C), gaz soupçonné (G)

(4) Type de marteaux : marteau fond de trou (MFT), marteau excentré (MEX), trilame (MTL) ou tricône (MTC)

Profil de forage

D'avantage destiné au forage sur nappe, le profil de forage permet de reporter le profil du sous-sol obtenu lors du forage, notamment les coupes géologique et technique du forage.

En effet, les coupes lithologique (géologique) et stratigraphique (succession des différentes strates) des terrains traversés sont établies à partir de l'observation des déblais de forage (rapport de forage) ainsi que des diagraphies réalisées après le sondage de reconnaissance.

Repère :		EXEMPLE DE PROFIL DE FORAGE		Date :		
Coordonnées installateur :		Coordonnées chantier :		Coordonnées foreur :		
Ets : Adresse : CP + ville :		Nom : Adresse : CP + ville :		Ets : Adresse : CP + ville :		
Identification géologique	Profondeur	Description lithologique	Description technique	Profondeur	Diagraphie	Remarques
						Réf n°
						Indice
						Signé

Fiche descriptive des travaux réalisés pour les sondes géothermiques verticales en individuel

Cette fiche reprend les principales opérations effectuées pour une installation comprenant des sondes géothermiques verticales.

La conception de cette fiche repose sur le principe de résumer les opérations réalisées et de les contractualiser.

Cette fiche comprend, en particulier, les différents renseignements communiqués par l'installateur au foreur :

- la puissance frigorifique nominale à soutirer ;
- le nombre d'heures de fonctionnement de la pompe à chaleur ;
- le diamètre des tuyauteries des sondes pour limiter les pertes de charge...

Elle comprend également les différentes actions importantes du foreur sur la mise en œuvre des sondes géothermiques verticales et la finition de l'ouvrage.

Repère :	EXEMPLE DE FICHE DESCRIPTIVE DES TRAVAUX REALISES POUR LES SONDES GEOOTHERMIQUES VERTICALES EN HABITAT INDIVIDUEL	Date :
Coordonnées installateur :	Coordonnées chantier :	Coordonnées foreur :
Ets : Adresse : CP + ville :	Nom : Adresse : CP + ville :	Ets : Adresse : CP + ville :
Déclaration Autorisation n° : _____	Forage n° _____	Maître foreur :
Dimensionnement des capteurs		
Puissance frigorifique nominale à soutirer aux terrains (déterminée par l'installateur et communiquée au foreur)		_____ (kW)
Durée annuelle prévisionnelle de fonctionnement de la PAC (déterminée par l'installateur et communiquée au foreur)		_____ (h)
Longueur totale des capteurs suivant la puissance frigorifique (dimensionnée par le foreur)		_____ (m)
Diamètres des tubes de sonde pour limiter les pertes de charge et optimiser le dimensionnement du circulateur (déterminés en concertation avec l'installateur)		_____ (mm)
Ajustement de la longueur totale des capteurs en cours de forage, en tenant compte des terrains réellement forés (réalisé par le foreur)		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non _____ (m)
Intervention d'un bureau d'études pour optimiser le dimensionnement		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
Plan de situation des sondes Plan réalisé par : Installateur <input type="checkbox"/> Foreur <input type="checkbox"/>		
Désigner le point de référence Indiquer la profondeur de chaque forage et l'écartement		
Technique de forage :	<input type="checkbox"/> Rotary	<input type="checkbox"/> marteau fond de trou <input type="checkbox"/> marteau fond de trou tubé à l'avancement



Repère :	EXEMPLE DE FICHE DESCRIPTIVE DES TRAVAUX REALISES POUR LES SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES EN HABITAT INDIVIDUEL		Date :
<p style="text-align: center;">Exemple de plan de situation des sondes</p>			
Mise en œuvre des sondes réalisée par le foreur :			
Type de sonde posée :		Diamètre :	
Marque _____ Référence :		Marque :	
Cimentation totale et type de ciment		Référence :	
Prélèvement, en cours de cimentation, au minimum de 2 échantillons témoins de ciment (par chantier)		Nombre d'échantillons prélevés :	
Prélèvement des échantillons de ciment en présence du maître d'ouvrage		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Test des sondes réalisé par le foreur :			
Essais de pression	_____ (bar)	<input type="checkbox"/> Sous eau	<input type="checkbox"/> Sous air comprimé
Durée des essais		_____ (h)	
Essais de pertes de charge	_____ (bar)	Débit : _____ (l/s)	
Jonction de la tête de sonde (boucle) :			
Prestations minimales du foreur :		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Bouchons en tête de sonde et sécurisation avant raccordement Tubes de sonde coupés avec protection mécanique en tête de forage et avec une longueur suffisante pour permettre la liaison jusqu'au premier raccord ou collecteur		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Extensions contractuelles possibles : ___Prestation : Installateur <input type="checkbox"/> ___Foreur <input type="checkbox"/>			
Raccordement en tête de sonde	<input type="checkbox"/> mécanique		
	<input type="checkbox"/> électrosoudé		
	<input type="checkbox"/> polyfusion		
Tranchée réalisée avec grillage avertisseur		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Tranchée réalisée avec liaison		<input type="checkbox"/> tête de forage – collecteur extérieur – local technique <input type="checkbox"/> tête de forage – local technique	
Finalisation de l'ouvrage : _____ Prestation : Installateur <input type="checkbox"/> ___Foreur <input type="checkbox"/>			
Remplissage définitif de la sonde en fluide caloporteur de qualité alimentaire (exemple : mono-propylène glycol)		_____ (%)	
Information ou prestations complémentaires (optionnel) :			
Equilibrage des pertes de charge : ___Prestation : Installateur <input type="checkbox"/> ___Foreur <input type="checkbox"/>			

Fiche descriptive des travaux réalisés pour les forages sur nappe en individuel

Cette fiche reprend les principales opérations effectuées pour une installation comprenant des forages sur nappe.

La conception de cette fiche repose sur le principe de résumer les opérations réalisées et de les contractualiser.

Cette fiche comprend, en particulier, les différentes actions importantes du foreur sur la mise en œuvre du forage et la finition de l'ouvrage.

Repère :	EXEMPLE DE FICHE DESCRIPTIVE DES TRAVAUX REALISES POUR LES FORAGES SUR NAPPE EN HABITAT INDIVIDUEL	Date début forage : Date fin forage :
Coordonnées installateur :	Coordonnées chantier :	Coordonnées foreur :
Ets : Adresse : CP + ville : Date : Visa :	Nom : Adresse : CP + ville : Date : Visa :	Ets : Adresse : CP + ville : Date : Visa :
Déclaration Autorisation n° : _____	N° BSS :	Maître foreur :
<p>Description de l'ouvrage</p> <p>Simple forage : _____ <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non</p> <p>Dans le cas d'un simple forage de prélèvement, indiquer le mode de rejet :</p> <p>Doublet de forage : _____ <input type="checkbox"/> Forages séparés _____ <input type="checkbox"/> Forage unique avec déviation</p>		
<p>Plan de situation des forages Plan réalisé par : Installateur <input type="checkbox"/> _____ Foreur <input type="checkbox"/></p> <p>Désigner le point de référence</p> <p>Indiquer le sens d'écoulement de la nappe, la profondeur de chaque forage et leur écartement</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p style="text-align: center;">Exemple de plan de situation des forages</p> </div>		
<p>Réalisation de l'ouvrage par le foreur</p> <p>Technique de forage : (Rotary, marteau fond de trou, battage...)</p> <p>Fluide de forage : _____ <input type="checkbox"/> boue <input type="checkbox"/> air <input type="checkbox"/> mousse <input type="checkbox"/> autre : _____</p> <p>Crépine : _____ <input type="checkbox"/> acier ou inox <input type="checkbox"/> PVC</p> <p>Type : (Fentes continues, nervures repoussées, trous oblongs...) _____</p>		



Repère :	EXEMPLE DE FICHE DESCRIPTIVE DES TRAVAUX RÉALISÉS POUR LES FORAGES SUR NAPPE EN HABITAT INDIVIDUEL	Date début forage : Date fin forage :
Massif de graviers : <input type="checkbox"/> massif filtrant ___ <input type="checkbox"/> massif de soutènement Volume injecté : _____ m ³ Hauteur : _____ m		
Cimentation : Volume injecté : _____ m ³ Hauteur : _____ m Méthode :		
Développement du forage : Méthode : (Air lift, développement à la pompe...)		
Protection de l'ouvrage		
Margelle bétonnée de surface minimale 3 m ² (dalle de propreté étanche de hauteur minimale 30 cm) :	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Tête de forage au-dessus du terrain naturel d'une hauteur minimale de 50 cm	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Protection tête de forage verrouillable :	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Protection physique de l'ouvrage : Type : _____ (tube métallique scellé, barrières de protection...)	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Protection par capot étanche (en cas d'artésianisme)	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Dossier technique réalisé par le foreur avec a minima		
Protocole de forage (relevé d'avancement, relevés prises d'échantillons...) :	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Profil de forage (profil géologique associé à la coupe technique, type(s) d'aquifère(s) traversé(s) et diagraphie éventuelle...) :	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Protocole de pompage (mesures des pompages d'essais...) :	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Analyse d'eau :	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Descriptif des travaux réalisés :	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Rapport de fin de travaux :	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Jonction de la tête de forage		
Prestations minimales du foreur Installation robinet d'isolement en attente pour raccordement	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Extensions contractuelles possibles Prestation : Installateur <input type="checkbox"/> ___ Foreur <input type="checkbox"/>		
Tranchée réalisée avec grillage avertisseur	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Mise en tranchée tuyauterie liaison PAC ou échangeur intermédiaire	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Raccordement tuyauterie liaison PAC ou échangeur intermédiaire sur robinet d'isolement en attente	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
Information ou prestations complémentaires (optionnel)		

Lexique

3



Aquifère

Milieu souterrain constitué de roches perméables et/ou fissurées ou fracturées. Ce milieu est suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables.

Artésianisme

Phénomène de jaillissement d'eau souterraine à la surface du sol dû à une nappe captive dont la surface piézométrique se trouve au dessus du sol.

Cuttings

Déblais du forage obtenus notamment par remontée des sédiments lors du forage.

Diagraphie

Résultat de mesures, à l'aide de différentes sondes, des caractéristiques des roches traversées lors d'un forage.

Faciès

Aspect que présente une roche ou un ensemble de couches géologiques, par exemple faciès granitique, calcaire. Dans un bassin, les faciès varient en fonction de conditions de sédimentation telles que la profondeur, l'énergie, la proximité du rivage...

Nappe superficielle ou phréatique

Nappe peu profonde atteinte par les puits ordinaires. En pratique, il s'agit d'une nappe généralement libre à surface proche du sol dont l'alimentation et la qualité sont influencées par les activités de surface.



Numéro BSS

Le numéro de la Banque du Sous Sol (BSS) est celui attribué par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) qui gère la banque du sous-sol. Il permet de localiser l'ouvrage sur le fond topographique au 1/50000.

Zone (ou relief) karstique

Cavités naturelles formées par l'action de l'eau infiltrée dans le sous-sol (principalement calcaire mais aussi craie, marbre...) de certaines régions. Cette eau va, dans un premier temps, dissoudre la roche puis dans un second temps, redéposer cette matière dissoute en créant des formations caractéristiques.

Roches compétentes

Roches naturelles, de type solides élastiques à comportement fragile.

Annexes

4



[ANNEXE 1]: Paramètres caractéristiques des principaux sols rencontrés

[ANNEXE 2]: Critères d'évaluation de qualité d'eau pour les échangeurs thermiques





ANNEXE 1 : PARAMÈTRES CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX SOLS RENCONTRÉS

Le tableau ci-dessous présente les valeurs courantes de paramètres caractéristiques du sol (conductivité thermique, capacité thermique volumique et masse volumique). Ces valeurs peuvent être utilisées en l'absence de données plus précises concernant le site.

Ces trois grandeurs permettent de déterminer les caractéristiques thermiques d'un sol :

- la conductivité thermique λ , en W/(m.K)
C'est le flux de chaleur transmis au travers d'un corps soumis à un gradient de température de 1 K/m. La conductivité thermique est, de préférence, au moins de 1,3 W/(m.K) et si possible supérieure à 1,8 W/(m.K).
- la capacité thermique massique volumique C_v , en J/(m³.K)
C'est la quantité de chaleur nécessaire à l'élévation de température de 1 K d'un volume de 1 m³.
- la diffusivité thermique α , en m²/s
Elle caractérise la vitesse de pénétration et l'atténuation d'une onde thermique dans un milieu, selon les influences des cycles quotidiens et mensuels. Plus la diffusivité du sol est élevée, plus faible est l'amortissement de température.

Type de roche	Conductivité thermique W/(m.K)			Capacité thermique volumique MJ/(m ³ .K)			Masse volumique 10 ³ kg/m ³	
	mini	maxi	nominale	mini	maxi	nominale	mini	maxi
TERRAINS MEUBLES								
Argile sèche	0,4	1	0,6	1,5	1,6	1,5	1,8	2,0
Argile saturée d'eau	0,9	2,3	1,4	2	2,8	2,3	2	2,2
Sable sec	0,3	0,8	0,5	1,3	1,6	1,4	1,8	2,2
Sable saturé d'eau	1,5	4	2,3	2,2	2,8	2,4	1,9	2,3
Gravier/pierres, sec	0,4	0,5	0,4	1,3	1,6	1,4	1,8	2,2
Gravier/pierres, saturé d'eau	1,6	2	1,7	2,2	2,6	2,3	1,9	2,3
Moraine compacte	1,7	2,4	1,8	1,5	2,5	2	1,9	2,5
Tourbe	0,2	0,7	0,4	0,5	3,8	1,6	0,5	0,8



Type de roche		Conductivité thermique W/(m.K)			Capacité thermique volumique MJ/(m ³ .K)			Masse volumique 10 ³ kg/m ³	
		mini	maxi	nominale	mini	maxi	nominale	mini	maxi
ROCHES SÉDIMENTAIRES									
Molasse d'eau douce supérieure	Argilite-pélite	2,3	2,4	2,3	1,8	2,6	2,1	2,4	2,7
	Pélite	2,3	2,4	2,3					
	Grès fin	2,3	2,6	2,3					
	Grès moyen	2,5	2,8	2,6					
	Grès grossier et conglomérat	2,5	2,8	2,6					
Molasse marine supérieure	Argilite-pélite	2,6	2,9	2,7					
	Pélite	2,6	2,9	2,7					
	Grès fin	2,7	3,3	2,9					
	Grès moyen	2,7	3,2	2,8					
	Grès grossier et conglomérat	2,6	3	2,7					
Molasse d'eau douce inférieure	Argilite-pélite	2,4	2,7	2,3					
	Pélite	2,3	2,8	2,4					
	Grès fin	2,4	2,8	2,5					
	Grès moyen	2,7	3,2	2,9					
	Grès grossier et conglomérat	2,2	3,1	2,4					
Argilite		1,1	3,5	1,9	2,1	2,4	2,2	2,4	2,6
Grès				2,3	1,8	2,6	2,1	2,2	2,7
Conglomérat/brèche		1,3	5,1	2,6	1,8	2,6	2,1	2,2	2,7
Roche marneuse		1,5	3,5	2,1	2,2	2,3	2,2	2,3	2,6
Roche calcaire		2,5	4	2,8	2,1	2,4	2,2	2,4	2,7
Roche sulfatée (anhydrite, gypse)		1,3	2,8	1,6			2		
ROCHES DE FOND									
magmatiques	Granite	2,1	4,1	2,8	2,1	3	2,4	2,4	3
	Diorite	2	2,9	2,3			2,7	2,9	3
	gabbro	1,7	2,5	2			2,6	2,8	3,1
métamorphes	Schistes argileux	1,5	2,6	1,9	2,2	2,5	2,3	2,4	2,7
	Marbre	1,3	3,1	1,9			2	2,5	2,8
	Quartzite	5	6	5,3			2,1	2,5	2,8
	Micaschistes	1,5	3,1	2	2,2	2,4	2,3	2,4	2,7
	Gneiss	1,9	4	2,6	1,8	2,4	2	2,4	2,7
	Amphibolite	2,1	3,6	2,6	2,	2,3	2,1	2,6	2,9
MATÉRIAUX DIVERS									
Mélange de ciment/bentonite (remplissage durci)				0,8			3	1,2	1,2
béton		0,9	2	1,4			1,8	2	2,42
Glace (-10°C)				2,32			1,87	0,91	0,91
Polyéthylène (PE100)				0,4			1,63	0,96	0,96
Air (0°C – 20°C)				0,02			0,0012	0,00124	0,00124
Acier				60			3,12	7,8	7,8
Eau (10°C)				0,6			4,15	0,99	0,99





▲ Paramètres caractéristiques des principaux sols rencontrés












ANNEXE 2 : CRITÈRES D'ÉVALUATION DE QUALITÉ D'EAU POUR LES ÉCHANGEURS THERMIQUES

Le tableau donne, à titre indicatif, les valeurs limites de différents critères d'évaluation de qualité d'eau et les risques induits pour les échangeurs thermiques intégrés aux pompes à chaleur. S'agissant de valeurs couramment admises, il convient de se rapprocher du constructeur de la pompe à chaleur pour les valider et faire le choix éventuel d'un échangeur intermédiaire entre le puits et la pompe à chaleur.

Critère d'évaluation	Concentrations (mg/l)	Résultat
Ammoniaque (NH ₃)	< 2	
	de 2 à 20	
	> 20	
Chlorure	< 300	
	> 300	
Fer (Fe) dissous	< 0,2	
	> 0,2	
Acide carbonique (agressif)	< 5	
	de 5 à 20	
	> 20	
Manganèse (Mn) dissous	< 0,1	
	> 0,1	
Nitrate (NO ₃) dissous	< 100	
	> 100	
Chlore	< 1	
	de 1 à 5	
	> 5	
Teneur en O ₂	< 2	
	> 2	
Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)	< 0,05	
	> 0,05	
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)/ Sulfate (SO ₄ ²⁻)	< 1	
	> 1	
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	< 70	
	de 70 à 300	
	> 300	
Aluminium (Al) dissous	< 0,2	
	> 0,2	

Critère d'évaluation	Concentrations (mg/l)	Résultat
Sulfate	< 70	
	de 70 à 300	
	> 300	
Sulfite (SO ₃) libre	< 1	

Critère d'évaluation	Valeurs	Résultat
Conductivité	< 10 μS/cm	
	de 10 à 500 μS/cm	
	> 500 μS/cm	
Acidité (pH)	< 7	
	de 7 à 9	
	> 9	

	Faible risque de corrosion
	Certains problèmes de corrosion peuvent survenir, surtout si d'autres facteurs sont assortis d'un symbole identique
	Cette eau n'est pas adaptée aux échangeurs intégrés aux pompes à chaleur

▲ Valeurs indicatives de critères d'évaluation de qualité d'eau de nappe et conséquences sur les échangeurs thermiques des pompes à chaleur

PARTENAIRES du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- Association des industries de produits de construction (AIMCC) ;
- Agence qualité construction (AQC) ;
- Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) ;
- Confédération des organismes indépendants de prévention, de contrôle et d'inspection (COPREC Construction) ;
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;
- Électricité de France (EDF) ;
- Fédération des entreprises publiques locales (EPL) ;
- Fédération française du bâtiment (FFB) ;
- Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) ;
- Fédération des promoteurs immobiliers de France (FPI) ;
- Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (Fédération CINOV) ;
- GDF SUEZ ;
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie ;
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement ;
- Plan Bâtiment Durable ;
- SYNTEC Ingénierie ;
- Union nationale des syndicats français d'architectes (UNSFA) ;
- Union nationale des économistes de la construction (UNTEC) ;
- Union sociale pour l'habitat (USH).

Les productions du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.



POMPES À CHALEUR
GÉOTHERMIQUES

LES OPÉRATIONS DE FORAGE
ET LIMITES DE PRESTATIONS

JUILLET 2014

Ce document présente les différentes étapes de la réalisation d'un chantier de forage pour la mise en place de sondes géothermiques verticales ou de forage sur nappe aquifère.

Dans une première partie, les tâches de chaque intervenant (installateur, foreur, maître d'ouvrage) sont décrites pour chacune des étapes de réalisation. Cet état permet ainsi d'établir les responsabilités.

Dans une seconde partie, des exemples de fiches sont proposés afin de faciliter les coordinations techniques entre les différents intervenants et d'attester des tâches réalisées :

- Fiche récapitulative des opérations à réaliser pour les sondes géothermiques verticales ;
- Fiche récapitulative des opérations à réaliser pour les forages sur nappe ;
- Rapport de forage ;
- Profil de forage ;
- Protocole de pompage ;
- Fiche descriptive des travaux réalisés pour les sondes géothermiques verticales en individuel ;
- Fiche descriptive des travaux réalisés pour les forages sur nappe en individuel.

