

Canevas de cahiers des charges pour Le forage géothermique très basse énergie



En termes de marchés, une installation de géothermie très basse énergie repose sur trois volets distincts, qu'il est indispensable de bien distinguer :

1. La réalisation d'une **étude de dimensionnement et de conception**, présentée dans la fiche 10.
2. La mise au point du cahier des charges de **fourniture et d'installation des équipements thermiques intérieurs** : équipements de diffusion thermique, pompe à chaleur, fourniture éventuelle d'eau chaude sanitaire. Ce cahier des charges est classique.
3. La mise au point du cahier des charges concernant **l'ouvrage souterrain et ses équipements**, pour laquelle la présente fiche fournit les éléments fondamentaux et spécifiques aux opérations de géothermie très basse énergie.

1. Champ couvert

Le cahier des charges de réalisation de l'ouvrage souterrain et d'installation de ses équipements fixes et mobiles couvre :

- la mise en place du chantier et les relations avec les autres entreprises (installateur, génie civil),
- les travaux de forage proprement dit,
- la construction de l'ouvrage souterrain intégrant ses équipements fixes,
- la fourniture et l'installation des équipements mobiles dans le cas des opérations sur nappes (groupe de pompage, pompe éventuelle de réinjection),
- la réalisation des tests de mise en pression pour les sondes et de pompages d'essai pour les forages d'eau, notamment nécessaires à la réception,
- dans le cas des opérations sur nappe, la réalisation éventuelle de "développements", permettant aux ouvrages d'atteindre leur pleine capacité,
- la fourniture de tous les documents requis (plans, compte-rendu de chantier, dossiers réglementaires).

NOTES IMPORTANTES :

- Il convient que les entreprises disposent des résultats des études, et notamment :
 - du dimensionnement des besoins thermiques et des spécifications de la pompe à chaleur,
 - des études géologiques, hydrogéologiques et réglementaires.
- Les limites de prestations entre les différentes entreprises, même en cas de groupement, doivent être soigneusement précisées, notamment pour assurer un bon déroulement des travaux :
 - les équipements mobiles des opérations sur nappe ne font pas partie des prestations de base du forage géothermique : il peuvent donc être pris en charge soit par l'entreprise de forage, soit par l'installateur,
 - les branchements entre ouvrages souterrains et pompe à chaleur sont généralement à la charge de l'installateur, mais peuvent être proposés par l'entreprise de forage si elle le prévoit dans son devis,
 - ces branchements nécessitent des tranchées : c'est l'entreprise de génie civil qui doit préférentiellement les réaliser. Elles peuvent toutefois être réalisées par le foreur ou l'installateur, s'ils le prévoient dans leurs devis.

2. Parties communes aux cahiers des charges des opérations sur nappe et sur sondes

PRÉAMBULE

Le préambule doit préciser :

- la nécessité du respect des contraintes environnementales et réglementaires, tant durant les travaux que par les caractéristiques de l'ouvrage¹,
- les références en matière de respect des règles de l'art (DTU, Normes, Guide des bonnes pratiques),
- les principaux résultats des études sur le dimensionnement et le positionnement (l'adjudicataire recevra bien entendu les résultats détaillés²),
- la ou les délégations données par le maître d'ouvrage pour la conduite et la coordination de chantier, aussi bien sur le plan global, que, s'il y a lieu, sur le plan spécifique des installations fluides et thermiques, et du forage,
- la signalisation des travaux et la sécurisation du chantier,
- le renvoi, en annexes du cahier des charges, des spécifications techniques qu'impose le maître d'ouvrage ; par exemple, les matériaux et équipements exigés pourront être spécifiés au moyen de fiches techniques des fournisseurs.

1 Et notamment :

- Autorisation ou déclaration préalable au titre de la Loi sur l'Eau
- Idem au titre de la protection : périmètres de protection des captages d'eau potable, Zone de Répartition des Eaux (ZRE), Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE), Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique ou Floristique (ZNIEFF), etc.
- Possibilité de rejet des eaux (pompages de nettoyage et de développement, pompages d'essai, exploitation, ...)
- Autorisation de refoulement des eaux en réseau collectif (pluvial, unitaire)
- Limites foncières d'autorisation d'implantation des ouvrages
- Risques : "naturels" (inondation, carrière souterraine, cavités, ...) ou "industriels" (site pollué, zone de dissolution, ...)
- Réseaux et ouvrages (enterrés et aériens)
- Charges admissibles par les voiries d'accès (tonne / essieu)
- Autorisation de stockage des boues

2 Et notamment :

- Description sommaire du projet et des besoins thermiques en chauffage (= puissance installée)
- Destination des prélèvements en eau (l'usage est parfois multiple)
- Période annuelle effective d'exploitation
- Débit de pointe et débit moyen annuel
- Variante en rafraîchissement

LOCALISATION ET PLANNING PREVISIONNEL

La situation précise et les caractéristiques du chantier seront définies préférentiellement par les plans suivants :

- plan de situation générale (échelle : 1/ 25 000),
- plan cadastral,
- plan masse avec maîtrise foncière du client et contraintes (réseaux, ...),
- plan de situation des terrains disponibles pour le chantier (échelle : 1/ 2 000).

Cette rubrique du cahier des charges précise :

- l'implantation prévisionnelle des ouvrages à créer,
- la délimitation des zones mises à disposition par le maître d'ouvrage pour la réalisation des travaux,
- le planning prévisionnel des travaux et les délais d'intervention.

AMÉNAGEMENTS DU CHANTIER, MODALITÉS DE STOCKAGE ET DE STATIONNEMENT

Cette rubrique précise les aménagements et contraintes (incluant branchements sur les réseaux) :

- à la charge du maître d'ouvrage,
- à la charge de l'entrepreneur.

De plus, cette rubrique fournit les conditions particulières d'exécution, ainsi que les contraintes concernant la zone de travaux (incluant sécurisation de la zone, parcours des engins, locaux de chantier, stockage des boues de forage et matériaux).

OPÉRATIONS DE FORAGE

Cette rubrique fournit :

- de façon optionnelle : les préconisations sur méthodes et matériels,
- les références aux règles de l'art sur toute méthode utilisée,
- les spécifications des forations (notamment diamètres permettant la réalisation d'un ouvrage de taille suffisante³),
- les recommandations particulières pour la conduite des opérations (ex : gestion des boues),
- les exigences sur l'échantillonnage : fréquence, modalités de conservation des échantillons.

En cas de terrains meubles et bouillants, l'utilisation d'un tubage provisoire⁴ peut être nécessaire. Celui-ci doit impérativement être retiré.

DOCUMENTS EN FIN DE CHANTIER

Outre le plan de recollement, le Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE⁵) remis au maître d'ouvrage (avec copie obligatoire à la DRIRE) doit comporter :

- la coupe géologique des terrains traversés,
- la coupe technique du forage,
- les caractéristiques des matériaux (ciment, nature des tubes, gravier des massifs filtrants) et des équipements employés (tubages, tête de forage...),
- les mesures et essais réalisés,
- le compte-rendu de fin de travaux, intégrant les événements marquants figurant au cahier de relevés quotidiens.

Le foreur doit tenir un cahier de relevés quotidiens des travaux, événements et résultats des mesures, et fournir les éléments nécessaires pour le plan de recollement et le DOE.

Le cahier des charges du forage doit donc comporter, en ce qui le concerne, la fourniture d'un rapport de fin de travaux comportant :

- la coupe des ouvrages avec les cotes, ainsi que les strates traversées,
- les caractéristiques des matériaux (ciment, acier des tubes, gravier des massifs filtrants) et des équipements employés (forage, cimentation),
- les résultats des essais et tests,
- les événements et aléas intervenus.

OPÉRATIONS DE FIN DE CHANTIER

Le cahier des charges prévoira les conditions du repli du chantier de forage, ainsi qu'éventuellement :

- le rebouchage des tranchées,
- la remise en état du terrain,
- l'évacuation des déblais de forage.

3. Opérations sur nappes

Note préliminaire : Pour plus de détails, le maître d'ouvrage peut se référer à la Norme AFNOR NF X10-999 intitulée : "Forage d'eau et de géothermie. Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages". Cette norme décrit les matériaux à utiliser, les diamètres de forage et épaisseurs de ciment, ainsi que les pompages d'essais.

OBJET ET CONSISTANCE DES TRAVAUX

Description de l'ouvrage

Cette rubrique comporte la profondeur et les diamètres de chaque ouvrage, ainsi que leur disposition sur le terrain.

De plus, l'étude de dimensionnement et le travail de l'expert sous-sol permettent de fournir au minimum :

- une description de la nature des couches géologiques qui devraient être rencontrées,
- une coupe technique prévisionnelle et un plan d'implantation détaillé de chaque forage,
- une description des nappes et de leurs caractéristiques,
- une évaluation des débits espérés.

Limites de fourniture

Il faut que soient précisément définis, et sans ambiguïté, les périmètres respectifs de responsabilités fournisseurs - entreprises // clients, en évitant toute lacune : il s'agira principalement de définir qui, de l'installateur ou du foreur, fournit et installe les pompes de relevage et de refoulement.

SPÉCIFICATION DES MATÉRIAUX ET ÉQUIPEMENTS

Cette rubrique fournit :

- les références pour les différents matériaux utilisés :
 - tubes pleins et crépinés,
 - gravier pour massifs filtrants,
 - ciments.
- les caractéristiques des pompes et équipements de relevage et de refoulement.

³ Cimentations, et, pour les opérations sur nappe, massif filtrant

⁴ À ne pas confondre avec le tubage perdu éventuel de tenue des sols et terrains superficiels

⁵ À la charge soit du foreur, soit de l'installateur

ÉQUIPEMENTS FIXES, CIMENTATIONS ET MASSIFS FILTRANTS

Ces spécifications sont cruciales pour assurer la longévité de l'installation et la préservation des nappes.

La conformité aux règles de l'art (guide des bonnes pratiques, normes) est indispensable.

Les points suivants sont particulièrement importants :

- description et positionnement des tubes et crépines⁶,
- spécifications tubes et crépines (matériaux, diamètres),
- description des parties à cimenter,
- spécifications pour le ciment : densité du laitier, exigences sur l'eau utilisée, etc.,
- modalités de cimentation (ex : cimentation remontante ; durée repos avant reprise des travaux),
- description des massifs filtrants : dimensions, spécification des matériaux.

TÊTES DE FORAGES

- Hauteur hors sol.
- Petit ouvrage de protection (capot, dalle de propreté) : description.

NETTOYAGE

Avant toute mise en œuvre de pompage d'essai, l'ouvrage est impérativement nettoyé jusqu'à obtention d'une eau claire.

Le cahier des charges laisse la technique libre ou précise s'il est réalisé par pompage ou air-lift.

POMPAGES D'ESSAI⁷

Le foreur doit réaliser au minimum :

- un pompage d'essai par palier (au minimum 3 paliers de 1 h par débit croissant), réalisé avec sa propre pompe, qui démontre la capacité de l'ouvrage à tenir la charge hydraulique, et fournit les caractéristiques spécifiques à l'ouvrage (pertes de charges),
- un pompage continu de 24 h minimum ("pompage de longue durée à débit constant"), réalisé avec sa propre pompe, qui fournit une indication sérieuse sur la productivité de la nappe aquifère.

Le cahier des charges précise :

- pour chacun de ces pompages : les durées, les enchaînements, les mesures à réaliser, et les exigences particulières (exemple : continuité pour les essais par palier),
- les échantillonnages éventuels d'eau et les analyses nécessaires⁸ au terme du "pompage de longue durée à débit constant", notamment si l'eau de la nappe est potentiellement chargée en éléments corrosifs pour les pompes, ou en éléments favorisant le colmatage de l'ouvrage d'injection.

TEST D'ABSORPTION DES FORAGES DE RÉINJECTION

Pour les forages de réinjection⁹, le foreur réalise :

- un pompage d'essai par palier (au minimum 3 paliers de 1 h par débit croissant), réalisé avec sa propre pompe, qui démontre la capacité de l'ouvrage à tenir la charge hydraulique, et fournit les caractéristiques spécifiques à l'ouvrage (pertes charges),
- un test d'absorption d'une durée minimale de 8 heures au débit de pointe d'exploitation (sur eau claire) ; ce test ne doit pas être réalisé simultanément à des pompages (d'essais, de développement ou de nettoyage) effectués à proximité.

⁶ Rappelons deux points-clés de la réglementation et de la qualité :

- la réinjection doit avoir lieu exclusivement dans la nappe captée,
- en nappe captive, le forage se déroule en deux étapes, imposant pour la traversée de la formation à capter un diamètre inférieur à celui nécessaire pour la foration des terrains de couverture.

⁷ Dans tout contentieux sur des ouvrages de forage sur nappe, les pompages d'essai jouent un grand rôle.

⁸ Par exemple : analyse : type P1 + fer + granulométrie laser.

DÉVELOPPEMENT

Le développement de l'ouvrage devra être nécessaire en cas de résultat de pompage insuffisant. Dans ce cas, le cahier des charges précise :

- s'il est libre ou imposé (acidification et pompage ou simple pompage),
- les mesures à réaliser.

Le cahier des charges laisse la technique libre ou précise s'il est réalisé par pompage ou air-lift.

ÉQUIPEMENTS MOBILES DES OUVRAGES SOUTERRAINS

L'entreprise de forage prend éventuellement en charge, en tant que lot individualisé (la répartition entre l'installateur et le foreur peut en effet être variable) :

- la fourniture de la pompe de relevage, de la colonne de refoulement et des équipements de sécurité ; leurs installations, raccords hydraulique et électrique,
- les essais de ces équipements,
- les travaux de terrassement (tranchées, ...) correspondants,
- le(s) branchement(s) sur la PAC,
- leur mise en service opérationnelle (jusqu'à la PAC).

De même, pour les forages de réinjection, ce lot peut comprendre :

- la fourniture et le raccordement des équipements hydrauliques depuis la PAC, pouvant inclure un refoulement sous pression avec une tête étanche,
- les travaux de terrassement correspondants.

RÉCEPTION

Les modalités de réception sont détaillées sous la forme d'un protocole précisant, en particulier :

- les mesures finales et leurs modalités,
- les représentants respectifs du maître d'ouvrage et de l'entreprise,
- les contrôles finaux et leurs modalités¹⁰.

4. Opérations sur sondes

Note préliminaire : Pour plus de détails (dimensionnement, géométrie du champ captant, cimentation...), le maître d'ouvrage peut se référer au document technique QUALIFORAGE, démarche qualité foreurs ADEME-EDF-BRGM.

OBJET ET CONSISTANCE DES TRAVAUX

Description de l'ouvrage

Ce paragraphe comporte le nombre, la profondeur et les diamètres des forages et des sondes, ainsi que leur disposition sur le terrain.

De plus, l'étude de dimensionnement et le travail de l'expert sous-sol devraient permettre de fournir au minimum :

- une description de la nature des couches géologiques qui devraient être rencontrées,
- une coupe technique prévisionnelle et un plan d'implantation détaillé.

⁹ Pour tout débit de réinjection en nappe supérieur à 8 m³/h, il est rappelé qu'une étude d'incidence est obligatoire

¹⁰ Dans certains cas sont prévues des options pouvant aller jusqu'à des diagraphies au micro-moulinet de forage (pour localisation des zones de productivité de l'aquifère) ou des diagraphies gamma-ray (contrôle de la cimentation des tubages).

Limites de fourniture

Il faut que soient précisément définis, et sans ambiguïté, les périmètres respectifs de responsabilités fournisseur - entreprise // clients, en évitant toute lacune : il s'agira principalement de définir qui, de l'installateur ou du foreur, effectue les travaux en surface pour le raccordement des sondes à la pompe à chaleur (tranchées, pose du circuit de surface, raccordement), et qui dresse le plan de recollement final et rassemble le dossier des ouvrages exécutés.

SPÉCIFICATION DES MATÉRIAUX ET ÉQUIPEMENTS

Dans cette rubrique, doivent être fournies les références pour les différents matériaux et équipements utilisés :

- ciments,
- sondes,
- liquide caloporteur (eau glycolée avec mono propylène glycol, selon conditions hivernales locales).

Pour les sondes elles-mêmes, une fiche d'épreuve de la sonde en atelier devra être fournie.

ÉQUIPEMENTS FIXES

- Les sondes seront conformes aux spécifications (§ ci-dessus).
- Leur étanchéité aura préalablement été testée.
- Elles devront avoir une longueur hors sol permettant le premier raccord, tel que prévu par le client.
- Modalités de mise en place¹¹.

CIMENTATION

La spécification de la cimentation est cruciale pour assurer les échanges thermiques, la longévité de l'installation et la préservation des nappes.



La conformité au guide des bonnes pratiques et aux recommandations de l'engagement national qualité ADEME-BRGM-EDF est indispensable¹².

TÊTES DE FORAGES

Cette rubrique précise la cote d'arrêt du bouchon de ciment en contrebas de la tranchée, pour permettre de respecter la courbure des tubes de sondes sans effort excessif.

Elle prévoit des regards munis d'un bac de rétention pour les raccords.

La hauteur de dépassement des tubes de sonde depuis le terrain naturel devra être précisée dans le devis pour le raccordement ultérieur des sondes (au premier collecteur ou à la pompe à chaleur).

TESTS DE MISE EN PRESSION

Les tests de mise en pression seront réalisés conformément au document technique QUALIFORAGE et au guide de bonnes pratiques GÉOQUAL.

RÉCEPTION

Les modalités de réception sont précisées sous la forme d'un protocole précisant, en particulier :

- les mesures finales et leurs modalités,
- les représentants respectifs du maître d'ouvrage et de l'entreprise,
- les contrôles finaux et leurs modalités.

La réception des travaux comporte obligatoirement une épreuve de pression conforme aux recommandations du constructeur des sondes, épreuve réalisée au minimum pendant une heure.



¹¹ La mise en place des sondes est une opération délicate (il faut éviter pincements, frottements et éraflures), et il peut y avoir à les lester (cas de présence d'eau dans le forage).

¹² La cimentation sur toute la hauteur, remontante et sous pression, assure de façon certaine la protection des nappes traversées, et doit être réalisée avec un ciment assurant une bonne conductivité thermique.