



CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES ET PARTICULIÈRES

LOT Géothermie sur sondes verticales
CNRS Délégation Provence et Corse
13009 Marseille



Emetteur	Destinataire
GEOSYNERGIE	CNRS Délégation Provence et Corse

	Indice	Date	Rédacteur	Relecteur	Relecteur
	A	Octobre 2025	Siffrein CROSET	Evan MAGNIER	Bryan MIGNOT
			Visa 	Visa 	Visa

Table des matières

1. Prescriptions générales	4
1.1 Généralités	4
1.2 Localisation	5
2. Objet du marché et intervenants	7
2.1 Prestations à la charge du lot géothermie.....	7
2.2 Intervenants.....	9
2.3 Dispositions générales	10
2.4 Dossier de réponse de l'entreprise soumissionnaire.....	11
2.4.1 Qualifications, certifications et assurances	11
2.4.2 Assurances.....	11
2.4.3 Offre technique et financière	12
2.5 Rappel de la réglementation	12
2.5.1 Généralités.....	12
2.5.2 Normes.....	14
2.5.3 Arrêtés, décrets et règlements.....	15
2.6 Réception des ouvrages	15
3. Contexte du projet	17
3.1 Contexte géographique.....	17
3.2 Contexte géologique au droit du projet (forage sonde test).....	18
3.3 Contexte de travail en milieu occupé	19
4. Etudes et description des ouvrages	20
4.1 Etudes d'exécution.....	20
4.2 Préparation du chantier	20
4.3 Qualité du matériel utilisé.....	21
4.4 Forages géothermiques	22
4.5 Gestion des boues de forages.....	22
4.6 Sondes géothermiques	23
4.7 Remplissage du forage et scellement	24
4.8 Réalisation des tranchées et réfection de l'enrobé	26
4.9 Raccordement des sondes géothermiques	29
4.10 Pénétration des réseaux géothermiques dans le local technique.....	31
4.11 Fourniture et pose de la paire de collecteurs murale - Limite de prestation.....	32

1. Prescriptions générales

1.1 Généralités

Le présent document a pour objectif de décrire les travaux à réaliser par le **lot géothermie sur sondes verticales** dans le cadre du projet de la rénovation énergétique des bâtiments B, B', BM et IM du Campus Joseph Aiguier à Marseille (13).

Ce document indique les conditions à garantir en fonction des bases de calcul, les clauses de garantie et de réception ainsi que les conditions de fourniture, d'exécution et de pose.

En cas de difficulté d'interprétation, il sera choisi les conditions assurant les meilleures performances d'exploitation.

Tous travaux non spécifiés au présent descriptif, et qui seraient nécessaires au bon fonctionnement de l'installation, seront à prendre en charge par l'entreprise, celle-ci ne pouvant se prévaloir d'une erreur ou d'une omission susceptible d'être relevées dans le présent C.C.T.P pour refuser l'exécution de travaux nécessaires au parfait achèvement des installations (celles-ci devant être livrées en ordre de fonctionnement).

L'entreprise doit une garantie de résultat impliquant qu'elle doit mettre tout en œuvre pour livrer l'installation en ordre de marche industrielle, en ayant préalablement traité l'ensemble des interfaces et en prenant en charge dans le cadre forfaitaire de son marché, l'ensemble des prestations nécessaires.

A ce stade du projet, il est prévu la réalisation de :

- **27 sondes géothermiques verticales Ø 40 mm de 185 m de profondeur ;**
- **Le raccordement des 28 sondes géothermiques (27 sondes + la sonde test) jusqu'à l'interface entre ce lot et le lot CVC ;**
- **L'ouverture et la fermeture des tranchées ;**
- **La découpe et la pose d'enrobé une fois les sondes raccordées ;**
- **La fourniture et la pose d'un collecteur mural ;**
- **L'équilibrage hydraulique du champ de sondes géothermiques ;**

1.2 Localisation

Dans le cadre du projet de la rénovation énergétique des bâtiment B, B', BM et IM du Campus Joseph Aiguier à Marseille, la Maitrise d'Ouvrage souhaite mettre en œuvre une solution de géothermie sur sondes afin de satisfaire une partie de ses besoins de chauffage et de rafraîchissement.

Ci-dessous la localisation du projet :

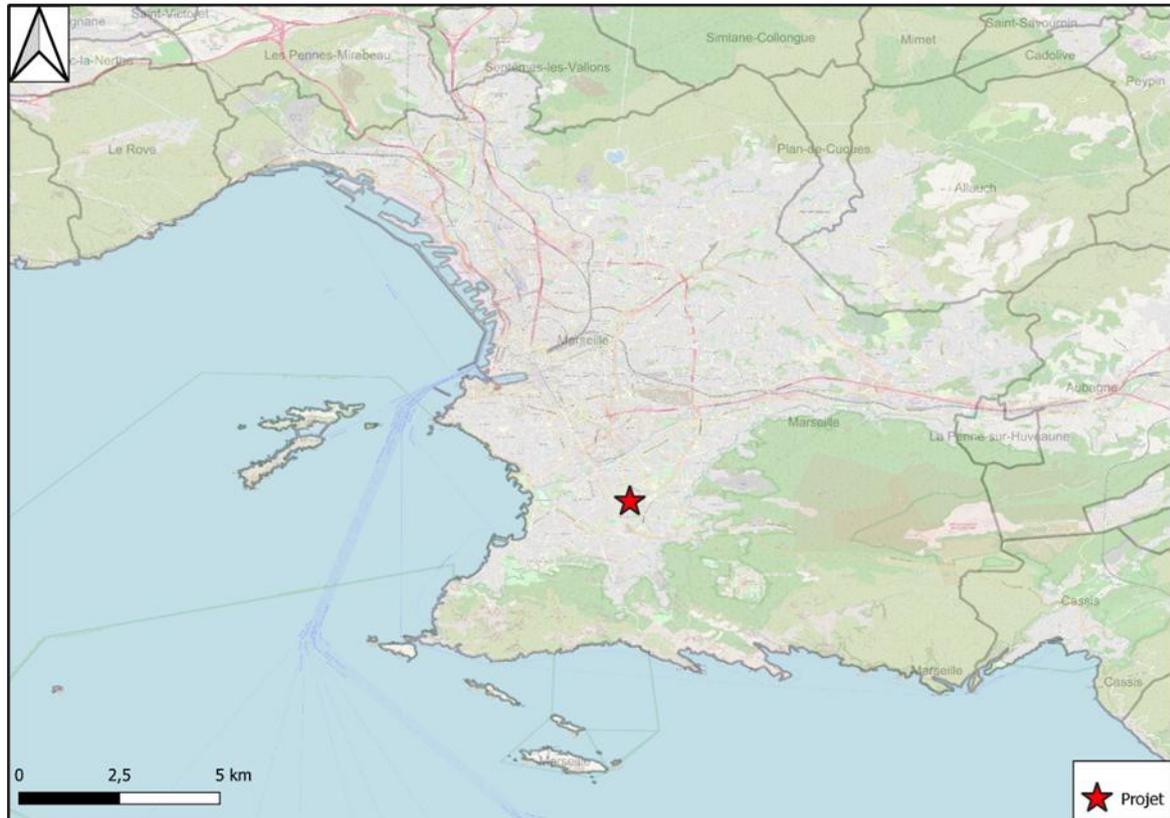


Figure 1 : Localisation du projet



Figure 2 : Parcelle cadastrale du projet - cadastre.data.gouv.fr

Les parcelles cadastrales concernées par le projet sont les suivantes :

- 0011 de la section ON ;
- 0012 de la section ON ;

2. Objet du marché et intervenants

2.1 Prestations à la charge du lot géothermie

Le présent Cahier des Clauses Techniques et Particulières (CCTP) donne les prescriptions et fixe les conditions pour la réalisation de 27 sondes géothermiques et le raccordement de **28 sondes géothermiques verticales de 185 m**.

Pour ce marché, seules les entreprises de forage ayant la Certification « Module sonde », en cours de validité et justifiant les conditions d'assurance du décret n°2016-835 du 24 juin 2016 pourront prétendre répondre à ce marché.

L'attention de l'entreprise est attirée sur la nécessité de respecter l'environnement durant l'ensemble de ses prestations et notamment sur le respect du site et de son environnement proche (arbres, rivières, voisinage etc.).

Les travaux à réaliser concernent :

- La fourniture de tous les éléments utiles à l'obtention des subventions ;
- La gestion des autorisations administratives, Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT), déclaration de forage GMI, etc.. ;
- L'installation et la mise en place des ateliers de forage ;
- L'implantation de l'ensemble des forages par un géomètre expert ;
- Les études d'exécution et de chantier ;
- Le forage, la fourniture, la pose et la cimentation de 27 sondes géothermiques verticales de 185 mètres de profondeur à partir du terrain naturel ;
- La gestion totale des eaux de forages ;
- L'ouverture et fermeture des tranchées, pose de l'enrobée comprise ;
- La fourniture et la pose d'un collecteur mural 28 sorties Ø 50 mm côté sondes et Ø 140 mm côté pompe à chaleur ;
- Le raccordement des 28 sondes géothermiques verticales à la paire de collecteurs murale ;
- Le remplissage en eau glycolée (25% monopropylène glycol, avec une tolérance de +/- 2%) de l'ensemble du réseau ;
- Les tests de circulation et de mise en pression permettant de garantir le bon fonctionnement de l'ensemble du réseau (idéalement avant la fermeture des tranchées) ;
- L'équilibrage hydraulique du champ de sondes géothermiques, depuis la paire de collecteurs murale dans le local technique ;
- L'ensemble des calculs des débits et des pertes de charge nécessaires au dimensionnement des pompes de circulation du lot CVC ;
- La remise en état du site ;
- Le Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) ;

Cette liste n'est pas limitative.

L'entreprise soumissionnaire est réputée spécialiste dans ce domaine et devra présenter à minima 3 références sur des projets similaires, comprenant la réalisation et le raccordement de forages géothermiques entre 100 et 200 mètres de profondeur, si possible sur des projets achevés.

Une attestation de bon achèvement de la part de la Maitrise d'Ouvrage sera un plus dans le cadre du dépouillement des offres.

Dans le cadre de ce marché, l'entrepreneur peut, s'il le souhaite, solliciter le Maître d'Ouvrage pour réaliser une visite sur site afin d'apprécier les conditions d'accès et de réalisation du chantier.

Cette visite permettra à l'entreprise soumissionnaire d'ajuster sa proposition technique et financière en tenant compte des contraintes d'accès et de réalisation du chantier.

Pour rappel, seules les entreprises possédant une Certification « Module Sonde » en cours de validité, peuvent répondre à ce marché.

2.2 Intervenants

Le Maître d'Ouvrage

Nom : **CNRS Délégation Provence et Corse**
Adresse : 31 Chemin Joseph Aiguier
13009 - Marseille
Représentants du dossier : Anne-Lise DINARD - anne-lise.dinard@cnrs.fr
: Cyril BONNEFOY - cyril.bonnefoy@cnrs.fr

Le Maître d'Œuvre fluides

Nom : **PLB ENERGIE CONSEIL**
Adresse : Immeuble le Mansard
Avenue du 8 Mai Bâtiment C
13090 Aix-en-Provence
Représentant du dossier : Antoine MORTIER - a.mortier@plbenergieconseil.fr

Le Maître d'Œuvre géothermique

Nom : **GEOSYNERGIE**
Adresse : 358 Chemin de la Coutelière
84800 - Lagnes
Représentant du dossier : Siffrein CROSET - s.croset@geosynergie.com

2.3 Dispositions générales

L'entreprise soumissionnaire est réputée spécialiste dans ce domaine, les indications techniques présentes dans le CCTP sont fournies à titre de projet et de comparaison des offres. Elles devront faire l'objet d'une validation attentive de l'Entrepreneur qui pourra éventuellement proposer des variantes techniques après accords de la Maitrise d'Œuvre.

Concernant les travaux de forage, sont imputables à l'Entrepreneur la bonne méthode de forage, ce dernier pourra requérir à l'utilisation d'une technique mieux adaptée si nécessaire.

Si au cours des travaux de forage, et pour une raison qui lui serait imputable, l'Entrepreneur se trouvait dans l'impossibilité de continuer le forage commencé, le Maître d'Œuvre avisera le Maître d'Ouvrage. L'Entrepreneur sera tenu d'exécuter sans délai, à proximité du forage abandonné, un ouvrage identique à l'ancien et dans les mêmes conditions, à l'endroit que lui désignera le Maître d'Œuvre.

Pour le règlement des travaux de forage, il ne sera pas tenu compte de l'ouvrage abandonné, les clauses du marché initial resteront valables mais le temps passé à l'exécution du forage abandonné ne comptera pas dans le délai d'exécution.

L'Entrepreneur n'endosse pas la responsabilité du dimensionnement de l'installation géothermique. L'Entrepreneur est chargé de la conception des installations, de la réalisation des travaux, et doit livrer au Maître d'Ouvrage une installation parfaitement équilibrée et fiable.

L'Entrepreneur prévoit dans sa soumission tous les travaux nécessaires pour assurer l'achèvement complet des ouvrages sans qu'il puisse prétendre à aucune majoration du prix forfaitaire pour raison d'omission dans les plans, descriptions ou annexes. Le fait de devoir la pose entraîne la fourniture et le raccordement si nécessaire du matériel demandé.

Il lui appartient donc de signaler en temps utile, et obligatoirement avant l'exécution, les omissions, les imprécisions ou les contradictions qu'il aurait pu relever dans les documents fournis et de demander les éclaircissements nécessaires. Aucune contestation n'est admise après la conclusion du marché, sous prétexte d'une mauvaise appréciation des difficultés, notamment d'approvisionnement et de mise en œuvre. L'entreprise est donc réputée avoir contrôlé toutes les indications du dossier et avoir étudié en particulier, les dispositions à adopter pour l'installation et l'organisation du chantier.

En conséquence, le soumissionnaire ne peut se prévaloir d'aucune erreur ou omission susceptible d'être relevée dans les pièces du marché, pour refuser l'exécution des travaux nécessaires au complet achèvement des installations en ordre de fonctionnement, pour prétendre ultérieurement à des suppléments au montant de sa soumission ou pour justifier un mauvais fonctionnement.

En cas de difficulté d'interprétation du dossier de consultation des entreprises, les entreprises soumissionnaires peuvent rendre un avis de contestation si ce dernier améliore les performances et l'exploitation du système.

L'entreprise prendra toutes les dispositions nécessaires pour passer des commandes dans les délais compatibles avec le planning de réalisation, le Maître d'Œuvre se réservant la possibilité de refuser tout matériel qu'il ne jugerait pas conforme ou équivalent à celui prescrit.

2.4 Dossier de réponse de l'entreprise soumissionnaire

Dans le cadre de sa réponse, il est demandé à l'Entrepreneur de fournir les documents suivants :

2.4.1 Qualifications, certifications et assurances

L'entreprise de forage présentant ses services pour la réalisation des travaux du champ de sondes devra être titulaire des qualifications, certifications et assurances suivantes :

- Certification « Module sonde » délivrée par Qualit'ENR ;

2.4.2 Assurances

L'entreprise de forage est concernée par l'obligation d'assurance mise en place par le décret n° 2016-835 du 24 juin 2016 relatif à l'obligation d'assurance prévue à l'article L. 164-1-1 du Code minier et portant diverses dispositions en matière de géothermie.

L'assurance de l'Entreprise devra couvrir les ouvrages en phase de réalisation (tous risques chantier/montage/essais) et d'exploitation (garantie décennale). L'entreprise devra fournir avant la signature du marché une attestation d'assurance RC en garantie décennale mentionnant explicitement l'activité de géothermie de minime importance. La police d'assurance doit comprendre dans ses clauses, toutes les garanties nécessaires pour la réalisation des travaux dont l'Entrepreneur a la charge.

Aussi l'entreprise de forage devra justifier que son contrat respecte bien les prescriptions du présent décret notamment vis-à-vis du plafond de garanties.

2.4.3 Offre technique et financière

Hormis l'ensemble des documents contractuels et indicatifs qui constituent le « marché », les Entrepreneurs doivent fournir, en plus de leur offre, les pièces complémentaires suivantes :

- Un devis quantitatif obligatoirement présenté en détaillant et en globalisant dans l'ordre les postes décrits au chapitre 2 du présent CCTP et repris pour le cadre de la DPGF ;
- Un mémoire technique indiquant la liste des marques et matériels proposés, ainsi que la méthode envisagée pour la foration ;

De façon générale, les entreprises devront fournir les éléments techniques suivants dans leur offre :

- Le présent CCTP dûment complété et signé, de même que toutes les pièces administratives du marché ;
- Les caractéristiques des moyens techniques mis en œuvre (foreuse, injecteuse, compresseur, équipements annexes) ;
- Les moyens humains mis en œuvre pour ce projet ;
- Un plan d'implantation pour les ateliers de forage ;
- Les dispositions permettant de garantir le respect de l'environnement et notamment éviter les éventuelles fuites d'hydrocarbures sous les machines, limiter la poussière ou la turbidité des eaux de rejets ;
- La provenance des matériaux utilisés ;

L'Entrepreneur ayant une obligation de résultat, il s'engage par sa soumission à s'exécuter pour l'ensemble de son lot, tous les travaux et fournitures principaux ou accessoires, même non détaillés ci-après, pouvant être considérés comme indispensables à la réalisation complète du projet conformément à la réglementation, aux règles de l'art, aux normes en vigueur et à la parfaite utilisation des ouvrages suivant leur utilisation.

Pendant la phase de candidature ou d'exécution, la Maitrise d'Ouvrage se réserve le droit de réaliser une enquête financière sur les entreprises soumissionnaires ou retenues, permettant de vérifier leur éligibilité à candidater et à mener à bien l'exécution du marché.

2.5 Rappel de la réglementation

2.5.1 Généralités

L'Entrepreneur du présent lot est tenu de respecter les lois, décrets, arrêtés et règlements administratifs qui s'appliquent à cette réalisation ainsi que les normes et documents qui régissent techniquement les travaux du présent C.C.T.P. En cas de dates discordantes entre ces différents documents, celui ayant la date la plus récente fait foi. La liste des documents rappelée ci-dessous n'est pas limitative. Tous les documents en vigueur à la date de remise de l'affaire sont réputés connus de l'Entrepreneur. L'attention de l'Entrepreneur est attirée sur quelques textes de portée générale. L'ensemble de la réglementation étant applicable, l'Entrepreneur doit se reporter aux textes publiés par le R.E.E.F.

Les travaux devront respecter notamment :

- Code minier (modifié par le décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015) ;
- Code de l'environnement ;
- Code de la santé publique, notamment art. L 1321-1 ;
- Code du travail ;
- Code de la construction et de l'habitation ;
- Règlement Sanitaire Départemental ;
- Loi « sécurité chantier » n° 93-1418 du 31 décembre 1993 ;

Cette liste n'est pas limitative, tous règlements, DTU, décrets et arrêtés concernant les installations de GENIE CLIMATIQUE seront respectés également.

Tous les matériaux et déblais excédentaires liés à l'installation, au déblaiement de chantier et à la réalisation des forages, seront laissés sur place et serviront à aplanir au maximum le terrain naturel.

L'Entrepreneur se porte garant du bon fonctionnement de son matériel notamment en ce qui concerne les fuites d'huile, de carburant ou de fumée. Pour ce faire, d'une part la machine de forage et les compresseurs seront positionnés sur une bâche PVC anti-poinçonnant résistante aux hydrocarbures et d'autre part, les cuves à gasoil seront du type double parois homologuées ou bien installées dans des cuvettes de rétention. Il procédera, le cas échéant, à l'évacuation des terres souillées en accord avec la réglementation en vigueur.

Tous les arrêts ou travaux supplémentaires résultants de telles négligences seront à sa charge.

Tous les travaux non conformes aux directives du Maître d'Œuvre seront refusés.

2.5.2 Normes

L'Entrepreneur devra respecter en particulier les normes suivantes :

- **Norme NF X10-970** Janvier 2011 ou ultérieur - Forage d'eau et de géothermie - Sonde géothermique verticale (échangeur géothermique vertical en U avec liquide caloporteur en circuit fermé) - Réalisation, mise en œuvre, entretien, abandon ;
- **Norme NF X10-960-1 à Norme NF X10-960-4** relatives aux boucles de sondes géothermiques verticales ;
- **Norme NF X10-950**, Forage d'eau et de géothermie - Ciment pour géothermie - Exigences.
- **DTU 65.9** relatif aux installations de transport de chaleur ou de froid et d'eau chaude sanitaire entre production de chaleur ou de froid et bâtiments ;
- **Norme XP X10-950** : Forage de géothermie - coulis des échangeurs géothermiques fermés verticaux (sondes géothermiques) de février 2018.
- **NF P 98-331** « Chaussées et dépendances - tranchées : ouverture, remblayage, réfection »
- **EN 13249** : Norme Européenne pour les géotextiles et produits apparentés utilisés dans la construction de routes et autres applications de génie civil ;
- **NF EN 12613** : Dispositifs avertisseurs à caractéristiques visuelles en matière plastique pour câbles et canalisations enterrés (indice de classement : T 54-080) ;
- **NF EN 13108-1** : Granulats pour revêtements de chaussées, trottoirs et autres zones pavées - Partie 1 : Granulats pour couches de roulement et couches de liaison pour revêtements de chaussées ;
- **Norme NF P94-117-1** : Portance des plates-forme - Partie 1 : Module sous chargement statique à la plaque (EV2) ;
- **Norme DIN V 4279-7 : 1994-12** : Essai de pression interne des conduites d'eau sous pression.

Cette liste n'est pas limitative, tous règlements, DTU, décrets et arrêtés concernant les installations de GENIE CLIMATIQUE seront respectés également. En cas de discordance entre ces différentes normes, celle de date la plus récente fait foi.

2.5.3 Arrêtés, décrets et règlements

- Décret n° 2016-835 du 24 juin 2016 relatif à l'obligation d'assurance et portant diverses dispositions en matière de géothermie ;
- Décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015 ;
- Décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié ;
- Décret n° 78-498 du 28 mars 1978 modifié ;
- Décret du 14 novembre 1988 ;
- Arrêté du 17 juillet 2009 modifié et Loi sur l'eau ;
- L'arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables à la géothermie de minime importance ;
- L'arrêté du 25 juin 2015 relatif à la carte des zones en matière de géothermie de minime importance ;
- L'arrêté du 25 juin 2015 relatif à la qualification des entreprises de forage en matière de géothermie de minime importance ;
- L'arrêté du 25 juin 2015 relatif à l'agrément d'expert en matière de géothermie de minime importance ;
- L'arrêté du 9 octobre 2017 modifiant l'arrêté du 4 septembre 2015 ;
- L'arrêté du 20 février 2018 modifiant l'arrêté du 4 septembre 2015 ;
- Décret n° 65.48 du 8 Janvier 1965 concernant la protection et la salubrité applicables sur les chantiers de bâtiment et T.P. ;
- Décret n° 69.330 du 18 Avril 1969 concernant les matériels utilisés sur le chantier et tous les arrêtés d'application de celui-ci ;
- Décret n° 92-647 du 8 juillet 1992 modifié concernant l'aptitude à l'usage des produits de construction ;
- Décret n° 92-332 du 31 mars 1992 sur l'hygiène et la sécurité des lieux de travail ;
- Circulaire DRT n° 95-07 du 14 Avril 1995 relative aux lieux de travail ;

2.6 Réception des ouvrages

À l'achèvement de la totalité des travaux prévus au marché, il est procédé au récolement contradictoire du matériel pour vérifier que la fourniture est conforme aux spécifications du CCTP, aux plans du programme, aux propositions remises par l'Entrepreneur titulaire, aux règlements et aux règles de l'art.

La réception est précédée d'une visite d'essais en présence de la maîtrise d'œuvre d'exécution.

Avant la réception, l'Entrepreneur doit fournir au Maître d'Œuvre le Dossier des Ouvrages Exécutés des installations parfaitement mis à jour et comportant tous les repères conventionnels et indications nécessaires à la maintenance de l'installation. Le Dossier des Ouvrages Exécutés sera fourni en 1 exemplaire papier et 1 exemplaire numérique et rassemblera au minimum les informations suivantes :

- Coupe géologique du sol avec les commentaires associés concernant les formations rencontrées ;

- Coupe technique des forages réalisés avec les informations principales (diamètre des forages, dimensions des différents équipements, profondeurs et épaisseurs, caractéristiques des équipements et matériaux mis en œuvre, etc.) ;
- Plan de recollement au format .dwg réalisé par un géomètre expert, de la position de l'ensemble des réseaux géothermiques ;
- Résultats des essais de pression et de circulation ;
- Cahier des réglages des organes d'équilibrage ;
- Compte-rendu global de fin de chantier et planning des travaux et opérations effectués : cimentation (méthode, nature et quantité du ciment mis en œuvre), manipulations diverses avec les périodes de ces différentes opérations, incidents divers ;
- Copies des fiches techniques des fournisseurs des principaux équipements (sonde, ciment, collecteurs, canalisations, etc.) ;
- Copies des comptes-rendus journaliers du chantier ;

Également, cette réception s'effectue lorsque les conditions suivantes sont remplies :

- Les travaux sont complètement terminés et n'appellent que des réserves mineures
- Les locaux, accès et abords correspondant sont nettoyés
- Les entreprises ont produit les certificats ou attestations d'autocontrôle ;
- Les entreprises ont produit les certificats, attestations et déclarations de conformité auprès des concessionnaires et des administrations concernées (DREAL, etc.).

Si ces conditions sont respectées, l'installation est considérée conforme et peut être remise à la Maîtrise d'Ouvrage aux termes de l'article 1601-2 du Code Civil.

Si la réception est refusée par le Maître d'Ouvrage alors l'Entrepreneur proposera une nouvelle échéance.

3. Contexte du projet

3.1 Contexte géographique

Le projet se situe au sud de la ville de Marseille (13009), sur l'emprise des parcelles 0011, 0012 de la section ON.



Figure 3 : Contexte géographique du projet

3.2 Contexte géologique au droit du projet (forage sonde test)

La phase de reconnaissance réalisée précédemment par l'entreprise LUROFORAGE en juin 2024 a permis d'établir un log lithologique au droit du site. Il appartient à l'entreprise soumissionnaire de mener ses propres recherches pour obtenir plus de détails supplémentaires.

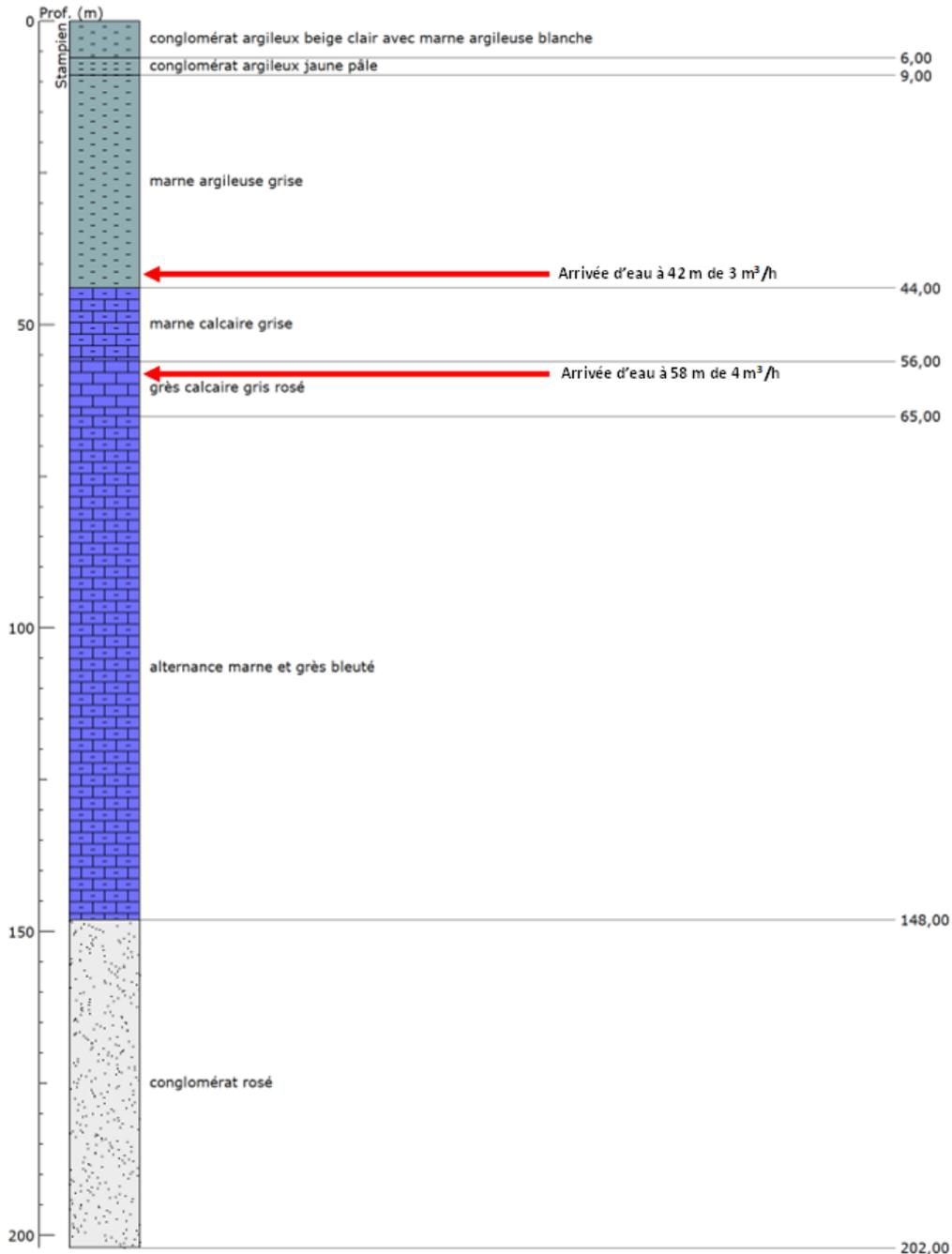


Figure 4 : Log lithologique au droit du projet

3.3 Contexte de travail en milieu occupé

Le projet se déroulera entièrement sur un site occupé. À ce titre, l'entreprise retenue devra, au minimum, respecter les points suivants :

- Validation, signature et diffusion aux équipes travaillant sur place d'un Plan De Prévention (PDP). Le Plan De Prévention sera rédigé par la Maîtrise d'Ouvrage ;
- Signature d'un permis de travail et des permis associés, notamment le permis de fouille et le permis de feu. Ces permis seront rédigés par la Maîtrise d'Ouvrage ;
- Port obligatoire et systématique des EPI pendant toute la durée de présence sur le site ;
- Respect des zones fumeurs ;
- Détention des habilitations et permis nécessaires (conduite d'engins, etc...) ;
- Mise en place d'un balisage d'accès au chantier, comprenant des piquets et de la rubalise, pour éviter toute pénétration non autorisée sur le site.

L'entreprise devra tenir compte de ces contraintes lors du remplissage de la DPGF.

4. Etudes et description des ouvrages

4.1 Etudes d'exécution

Avant le commencement des travaux, l'Entrepreneur devra fournir à minima, les études d'exécutions suivantes :

- Un planning d'intervention pour l'ensemble des prestations ;
- Les fiches techniques des matériaux utilisés pour l'ensemble des prestations ;
- Un descriptif technique des méthodes et moyens utilisés pour les essais (mise en pression et essais de circulation) ;
- Un plan d'exécution d'implantation des sondes géothermiques **repérées par un géomètre expert** et de leurs raccordements jusqu'au local technique (collecteurs inclus), comprenant des coupes aux endroits que la Maîtrise d'Œuvre jugera nécessaire ;
- Une note de calcul des pertes de charge du réseau qui servira à dimensionner le circulateur côté sondes à la charge du lot CVC.
- Une note de calcul indiquant le volume théorique de cimentation ;
- Une note de calcul indiquant le volume théorique de glycol ;
- Un schéma d'exécution précisant la composition des tranchées géothermiques ;
- Rédaction d'un mode opératoire par l'entreprise pour les principales étapes.

Cette liste n'est pas limitative. L'Entrepreneur peut, s'il juge nécessaire, ajouter des études complémentaires justifiant une modification du dispositif du marché.

Les études d'exécution devront être rendues dans un délai de 15 jours après la notification officielle du marché.

4.2 Préparation du chantier

Avant l'installation de son matériel, l'Entrepreneur devra vérifier que les conditions suivantes sont respectées :

- La déclaration d'ouverture des travaux d'exploitation de l'activité géothermique correspondant aux travaux envisagés a été réalisée conformément au décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié.
- Les déclarations de travaux (DT) et d'Intention de Commencement de Travaux (DICT) ont été réalisées de manière conjointe ;
- Une alimentation en eau disponible dans un rayon de 300 m pour toute la durée du chantier. Dans le cas contraire, l'Entrepreneur devra avoir une autonomie en eau ;
- De disposer de toutes les signalisations et protection à destination des ouvriers ;
- De disposer des protections de chantier nécessaire afin d'éviter toutes pollutions accidentelles ;
- De disposer des mesures et des formations nécessaires vis-à-vis des gestes de premiers secours ;
- De disposer des autorisations et d'un point de rejet des eaux d'exhaure issues des bassins de retentions, elles-mêmes issues des forages ;

- D'une alimentation électrique, mise à disposition par la Maitrise d'Ouvrage permettant de réaliser l'ensemble des prestations dans les règles de l'art.

Une réception de l'installation du chantier sera effectuée avant le démarrage effectif des travaux. La présence des équipements annoncés dans l'offre sera contrôlée. Le démarrage du chantier sera donc conditionné par la présence effective des différents matériels annoncés (foreuses, coulis géothermique, injecteuse, sondes géothermiques, compresseur, etc.).

Le Titulaire du marché devra nommer un chef de chantier, qui tiendra à jour et à disposition du Maître d'Œuvre géothermique, un carnet mentionnant quotidiennement les éléments suivants :

- Les profondeurs atteintes à partir du terrain naturel, le mode de foration, les diamètres, la nature et l'épaisseur de la lithologie rencontrée ;
- Les modes de préparation, la composition et le volume du coulis géothermique injecté par forage ;
- Les incidents en cours de travaux ;

4.3 Qualité du matériel utilisé

L'Entrepreneur devra employer un matériel en bon état de marche, entretenu, vérifié périodiquement, conforme aux normes de sécurité et les réglementations en vigueur en matière de sécurité, d'environnement et de pollution.

En cas du non-respect de ces critères, la Maîtrise d'Œuvre ou le Maître d'Ouvrage pourra arrêter le chantier le temps de la mise en conformité du matériel utilisé.

Les matériaux et matériels utilisés par l'Entrepreneur devront être en adéquation avec les travaux de géothermie préconisés dans le présent CCTP. Par conséquent, ils ne doivent pas altérer, dégrader ou modifier la qualité physico-chimique des eaux souterraines. Le non-respect de ces critères engagera la responsabilité de l'Entrepreneur et le changement du matériel demeurera à sa charge.

L'Entrepreneur devra renseigner dans son mémoire les fiches techniques des matériaux utilisés, afin de limiter autant que possible les risques de corrosion, d'écrasement ou de rupture des tubes.

Le coulis géothermique envisagé devra être conforme à la norme en vigueur (Norme XP X10-950) et respecté une conductivité thermique minimale de 2 W/m.K.

4.4 Forages géothermiques

L'entreprise devra utiliser du matériel adapté aux travaux de géothermie, à la profondeur et à la nature du sous-sol. L'entreprise devra également s'assurer du bon placement de la machine de forage et de sa verticalité.

Les forages verticaux devront se faire à minima à 185 m de profondeur (une tolérance de +/- 2 mètres est acceptée) et d'un diamètre compris en 130 mm et 193 mm. Le but étant d'installer une sonde géothermique Ø 40 mm à 185 m de profondeur.

La méthode de forage sera adaptée à la nature géologique du terrain et des différentes couches traversées. Il appartient à l'Entrepreneur de mener également ses propres recherches sur la nature du sous-sol.

Les diamètres et la méthode de forage doivent permettre une cimentation complète de l'espace annulaire sur l'intégralité de la hauteur de la sonde géothermique verticale.

À la vue du déroulement du forage test, l'utilisation d'une méthodologie de forage à la boue est recommandée.

4.5 Gestion des boues de forages

La gestion de la totalité des fluides et des boues de forage est à la charge du présent lot.

L'Entrepreneur devra prévoir plusieurs bennes de décantation étanches où les fluides et boues de forages seront rejetés lors de la foration.

Pour gérer efficacement les arrivées d'eau potentielles lors des forages, l'Entreprise en charge du présent lot devra la mise en place d'un système de décantation à **l'aide de deux ou trois bennes étanches, chacune ayant une capacité de 9 m³**. Ce système sera conçu pour garantir que l'eau rejetée dans le réseau pluvial soit propre, minimisant ainsi le risque d'encrassement et les **coûts potentiels de curage du réseau pluvial**, tout en respectant les réglementations locales.

Si ce système ne permet pas de gérer efficacement les rejets des eaux de forage, l'Entrepreneur devra mettre en place un dispositif de filtration dédié, tel qu'une benne lamellaire, permettant de filtrer l'eau jusqu'à 100 µm, avant de la rejeter dans le réseau d'EP.

Ce procédé aura pour objectif de retenir les particules et sédiments « lourds », tout en permettant le rejet d'une eau légèrement turbide mais exempte de matières en suspension susceptibles d'entraîner un encrassement du réseau d'eau pluviale.

L'Entrepreneur devra s'assurer du dimensionnement et de l'entretien régulier du dispositif afin de garantir son efficacité tout au long des travaux.

Avant de rejeter l'eau dans le réseau pluvial, une vérification visuelle de la qualité de l'eau sera effectuée pour s'assurer qu'elle est propre et ne risque pas d'encrasser le réseau. Cette étape est cruciale pour éviter les coûts potentiels de curage du réseau pluvial.

Si l'eau est jugée propre par la personne responsable du chantier, elle sera rejetée dans le réseau pluvial. Il est essentiel de documenter ce processus de rejet pour des raisons de transparence et de conformité avec les réglementations locales.

Le point de rejet définitif sera sélectionné avant le démarrage des travaux, en accord avec la Maitrise d'œuvre, le concessionnaire du réseau et le Maître d'Ouvrage.

4.6 Sondes géothermiques

Les caractéristiques des sondes géothermiques sont les suivantes :

- Marque : ELYDAN ou techniquement équivalent ;
- Modèle : TERRA EXTREM NEO spiralée ;
- Type : Double U ;
- Nature : PEHD (PE 100, PN16, SDR 11) ;
- Diamètre extérieur : Ø 40 mm ;
- Epaisseur : 3.7 mm ;
- Longueur : 185 mètres minimum ;
- Garantie des sondes : 50 ans.

Pour ce marché, la fourniture et la pose de **sondes géothermiques verticales spiralées par l'Entrepreneur est un plus**. L'intérieur de ces sondes dispose d'ailettes, qui de par leurs géométries, augmentent la turbulence en surface du fluide et diminuent ainsi la résistance thermique du fluide dans la sonde. La diminution de cette résistance augmente le transfert thermique par convection forcée du fluide.



Figure 5 : Intérieur d'une sonde spiralée

Les sondes devront être équipées d'un pied de sonde électro-soudé et testé en usine. Aucune électrosoudure au niveau de la sonde en elle-même ne sera acceptée. Les sondes devront être munies en partie basse d'une cunette de décantation.

L'Entrepreneur devra également prévoir les accessoires suivants :

- Un ou plusieurs poids accrochés au pied de la sonde, permettant de faciliter la descente de celle-ci.
- Un tube d'injection placé au centre des 4 tubes de la sonde (\varnothing 25 mm x 2.3 mm), permettant d'injecter le coulis géothermique en pression du bas de la sonde jusqu'à débordement.
- Un second tuyau d'injection de coulis géothermique pourra être demandé à l'entreprise si les cimentations ne remontent pas systématiquement à la surface.

La descente de la sonde dans le forage sera obligatoirement exécutée à l'aide d'un touret.

En présence d'eau dans le forage, la sonde sera préalablement remplie d'eau propre et claire afin de faciliter la descente. En aucun cas la sonde ne doit être poussée dans le forage : l'installation d'un lest et le remplissage de la sonde doivent suffire pour permettre la descente par gravité de la sonde géothermique.

Le cas échéant, le tubage en tête de forage devra être protégé afin qu'il n'endommage pas les tuyaux PEHD lors de la descente de la sonde dans le forage.

4.7 Remplissage du forage et scellement

Un scellement efficace du forage est indispensable non seulement pour prévenir toute pollution accidentelle des eaux souterraines, mais également pour assurer un bon contact thermique entre la sonde géothermique et le terrain. Cette opération devra être réalisée avec un soin tout particulier.

Le forage sera cimenté sur toute sa hauteur, jusqu'à la profondeur du raccordement de la tête de sonde (entre -0.8 et -1.3 m/TN). Cette cimentation sera réalisée par injection sous pression, du fond du forage jusqu'à débordement en surface. Le tube d'injection est un « tube perdu » et n'est pas remonté à l'issue de l'opération de cimentation.

Si l'Entrepreneur ne parvient pas à faire déborder le coulis géothermique en surface, un complément de coulis devra être mis en œuvre gravitairement et ce à ses frais, sans pouvoir porter réclamation.

Les caractéristiques du matériau de remplissage sont les suivantes :

- Marque : LAVIOSA ou équivalent ;
- Type : THERMOPLAST PLUS ou équivalent ;
- Conductivité thermique : à minima 2 W/m.K ;
- Ratio ciment/eau en poids du coulis : 1.20 à 1.25.

Deux échantillons de 1L chacun seront remis et conservés par la Maîtrise d'Ouvrage.
En aucun cas les boues de forage devront servir au remplissage des forages.

L'Entrepreneur aura à sa charge de produire :

- Une note de calcul indiquant le volume théorique de cimentation et devra justifier la bonne quantité de ciment par présentation des bons de commande ;
- La quantité de sac de ciment employée par sonde géothermique ;

Pour l'injection de coulis, il est fortement recommandé d'utiliser une injecteuse spécifique de marque GERTEC ou équivalent, disposant d'une pression de 50 bars pour un débit de 60 l/min.

L'Entrepreneur devra cimenter la sonde géothermique le même jour de la pose de celle-ci.

Ci-dessous un schéma de principe représentant une sonde géothermique :

Légende

De 2 à 7 : boucle de sonde (dispositif inséré dans le forage, d'un seul tenant). Le collecteur en tête ne fait pas partie intégrante de la boucle de sonde, mais du circuit primaire (raccordement)

- 1 Collecteur en forme d'Y
- 2 Tube d'injection du ciment, diamètre généralement de 25 mm
- 3 Manchon électrosoudable en tête de sonde
- 4 Écarteur
- 5 Pied de sonde
- 6 Poids pour lester la sonde et faciliter sa mise en place
- 7 Cimentation avec un coulis de ciment bentonite spécialement adapté à la géothermie

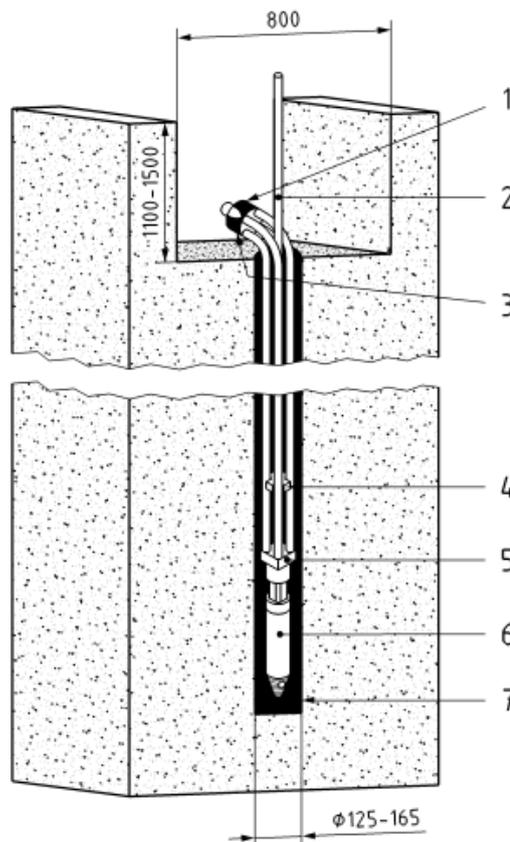


Figure 6 : Exemple d'une sonde géothermique - Norme NF X10-970

4.8 Réalisation des tranchées et réfection de l'enrobé

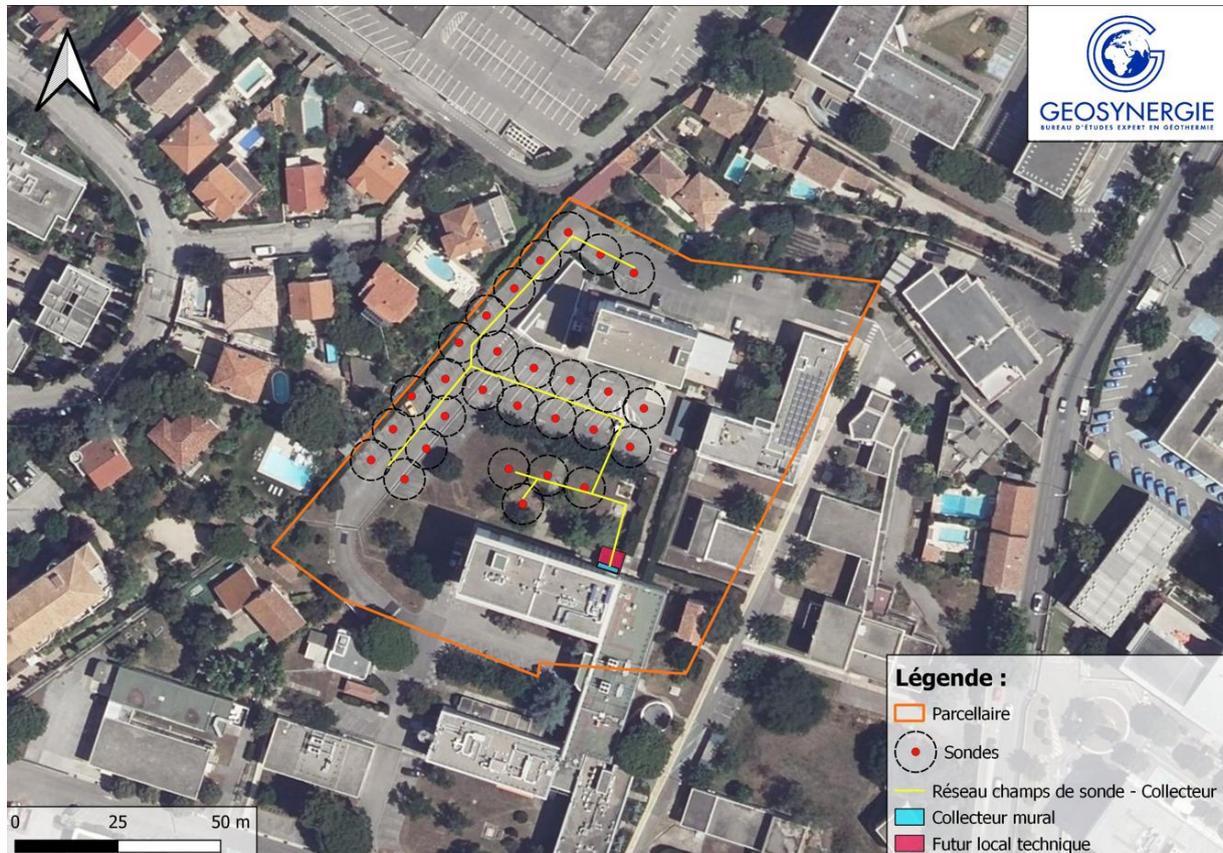


Figure 7 : Implantation de principe du futur champ de SGV, raccordement et collecteur compris (fond satellite)

Il appartient à l'Entrepreneur de vérifier le linéaire des raccordements lors de son éventuelle visite sur site.

Les tranchées seront d'une profondeur comprise entre 0.8 et 1.3 mètres de profondeur et d'une largeur suffisante, permettant de maintenir à une distance d'au moins 30 cm les réseaux géothermiques aller et retour (autant pour les antennes des forages qu'au départ des collecteurs).

Pose du sable au-dessus et en-dessous des réseaux géothermiques :

Au départ des têtes de forages, les réseaux « aller » et « retour » géothermiques en PEHD Ø 50 mm devront être espacés à minima de 30 cm horizontalement et disposés sur un lit de sable, au minimum 10 cm en dessous et 30 cm au-dessus avant rebouchage des tranchées. La présence des sondes géothermiques et des réseaux enterrés devra être signalée par un filet avertisseur de couleur violet, disposé à minima 30 cm au-dessus de la partie haute des réseaux enterrés

Les canalisations sont disposées en tranchées et sont de longueur suffisante afin de permettre le raccordement des sondes jusqu'aux collecteurs sans manchon intermédiaire.

Remblayage et compactage :

Au-dessus de la couche de sable, une première couche de remblai d'une épaisseur maximale de 30 cm pourra être utilisée pour reboucher la tranchée. Attention, cette couche de remblai devra être **totalemtent dépourvue de tout matériau susceptible d'endommager les réseaux enterrés.**

Au-dessus de cette couche de remblai, l'Entrepreneur devra utiliser des matériaux de carrière GNT (Graves Non Traitées) insensibles à l'eau. L'Entrepreneur en charge du présent lot devra prévoir l'évacuation des terres excédentaires vers un site de stockage approprié.

Les matériaux de remblayage (sable, remblai et GNT) devront être posés par couche maximale de 30 cm, avant d'être compactés. Le compactage devra être réalisé avec des plaques vibrantes, des compacteurs à pied ou des pilonneuses, et ce sur toute la longueur de la tranchée.

Les rayons de courbure minimum des réseaux en PEHD prescrit par le fabricant des tubes devront être respectés.

Si l'utilisation d'un brise roche hydraulique pour la réalisation des tranchées devient nécessaire, celle-ci sera à la charge de l'Entrepreneur.

Réfection de l'enrobé :

Pour la pose de l'enrobé, le support devra être propre, sec et stable. Les irrégularités devront être corrigées et les fissures ou les nids-de-poule devront être rebouchés.

L'enrobé devra être homogène et bien malaxé.

L'enrobé devra être transporté dans des camions spécifiques équipés de bennes isolées permettant d'éviter les pertes de chaleur. L'enrobé doit être stocké à une température compris entre 140 et 180 °C et être consommé dans les deux heures suivants sa préparation.

L'enrobé devra être déversé sur la surface à revêtir en une seule fois et à une température comprise entre 140 et 180 °C. Il devra être étalé à l'aide d'une finisseuse et compacté immédiatement à l'aide d'un compacteur.

Une épaisseur d'enrobé de 8 cm devra être respectée. Le respect de cette épaisseur devra être vérifié à l'aide d'un régllet ou d'un profilomètre.

Les règles de sécurité doivent être respectées en tout temps, notamment en ce qui concerne les risques d'incendie et les risques liés aux gaz émis lors de la mise en œuvre de l'enrobé.

Après la pose de l'enrobé, la zone devra être nettoyée pour éliminer les débris et les résidus.

Ci-dessous, une coupe de principe d'une tranchée géothermique, composée de 6 sondes géothermiques :

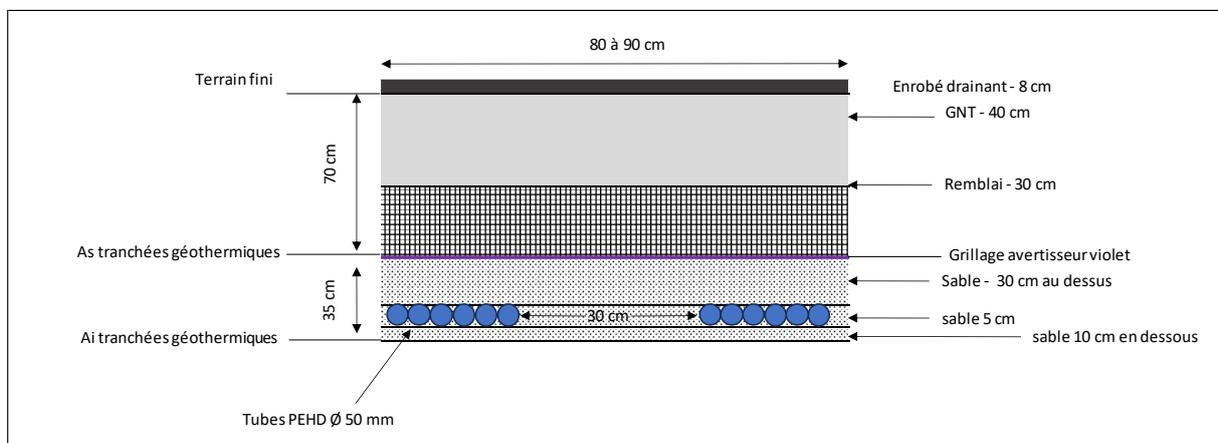


Figure 8 : Coupe de principe d'une tranchée géothermique composée de 6 sondes géothermiques

Pour rappel :

L'Entreprise en charge du présent lot devra respecter les règles de sécurité et d'environnement en vigueur sur le chantier, notamment :

- La mise en place de barrières de sécurité et de panneaux de signalisation ;
- L'utilisation de matériels et d'engins conformes aux normes de sécurité en vigueur ;
- La gestion des déchets et des matériaux excavés conformément aux réglementations environnementales en vigueur.

4.9 Raccordement des sondes géothermiques

L'ensemble des 28 sondes géothermiques seront toutes raccordées à des collecteurs « aller » et « retour » par l'intermédiaire de divers raccords et pièces électro-soudables suivantes :

- Quatre raccords électrosoudables en PEHD de Ø 40-40 par sonde ;
- Deux Y électrosoudables de Ø 40/40/50 installés sur la tête de chaque sonde permettant de joindre les deux entrées et les deux sorties ;
- Tubes PEHD de Ø 50 mm jusqu'à la paire de collecteurs murale ;
- De manière optionnelle, deux manchons coudés électrosoudables à 45° en PEHD de Ø 50 mm par sonde.

Tous les raccordements effectués sur site devront être réalisés grâce à la technique de l'électrosoudure. Les raccordements effectués par la technique de la thermosoudure ne seront pas acceptés.

L'électrosoudage doit être effectué avec du matériel normalisé : des manchons normalisés avec code-barres et un poste d'électrosoudage équipé d'un lecteur de code-barres.

Avant chaque électrosoudure, l'entrepreneur devra procéder aux opérations suivantes sur chacune des deux canalisations :

- Nettoyage de la partie insérée dans le manchon ;
- Élimination de la pellicule superficielle de PEHD à l'aide d'un grattoir manuel.

La paire de collecteurs étant un point de purge du réseau, celle-ci doit se trouver en point haut de l'installation. C'est pourquoi tous les réseaux partant des sondes géothermiques **doivent respecter une pente minimale ascendante de 1%** vers la paire de collecteurs.

Aucun point bas ne sera accepté sur le cheminement des réseaux entre les sondes géothermiques et la paire de collecteurs murale.

Les canalisations sont disposées en tranchées et sont de longueur suffisante afin de permettre le raccordement des sondes jusqu'aux collecteurs sans manchon intermédiaire.

Les rayons de courbure minimum des réseaux en PEHD prescrits par le fabricant des tubes doivent être respectés.

Il appartient à l'Entrepreneur de vérifier le linéaire des raccordements lors de sa visite sur site.

Un schéma reprenant les points essentiels du raccordement des sondes géothermiques est proposé ci-dessous. Des variantes à ce schéma de raccordement peuvent être proposées par l'Entreprise mais devront être approuvées par le Maître d'œuvre avant exécution des travaux.

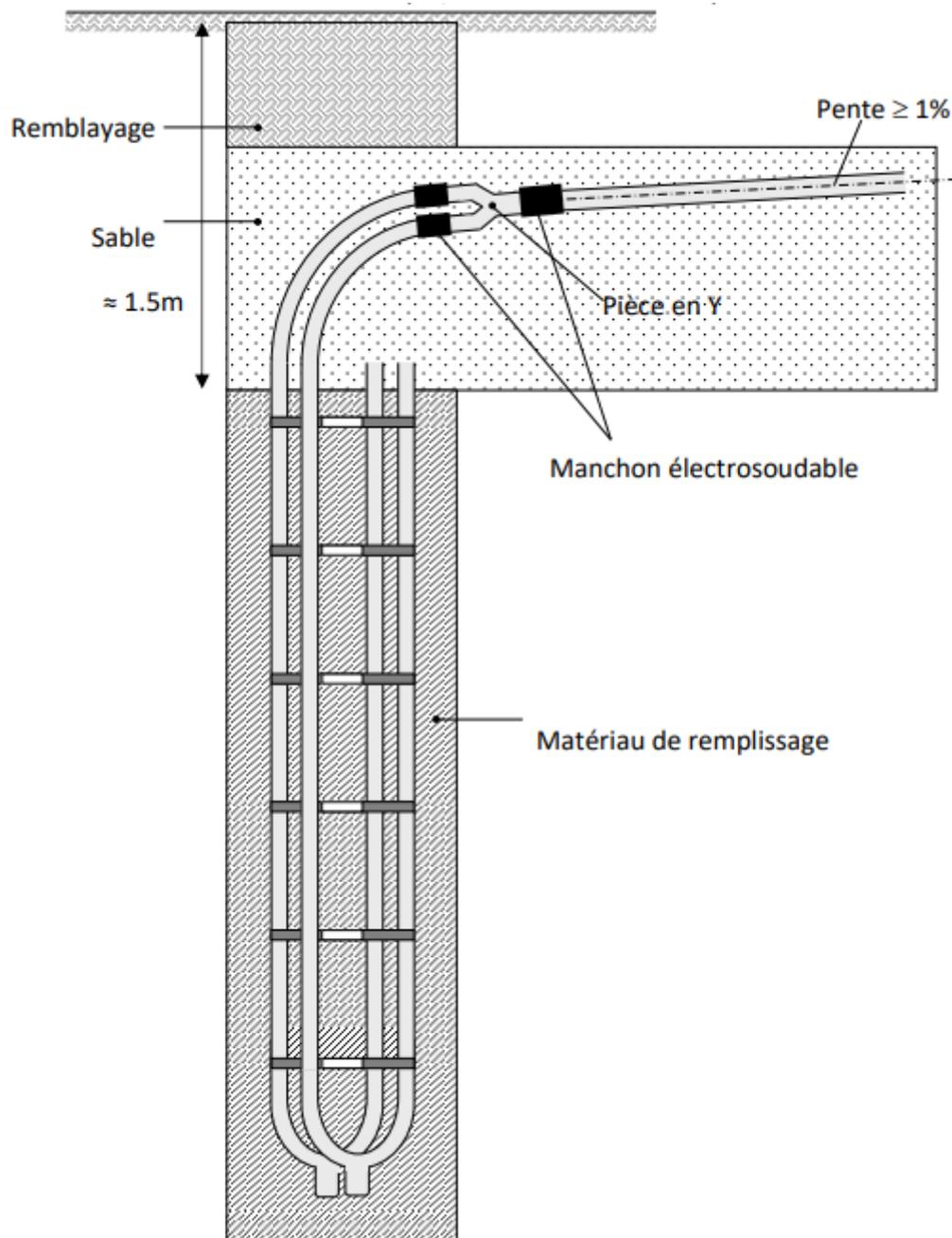


Figure 9 : Schéma de principe pour le raccordement en tête de sonde géothermique

4.10 Pénétration des réseaux géothermiques dans le local technique

La pénétration des tubes PEHD Ø 50 mm des forages vers le local technique devra être rendu parfaitement étanche. **Le présent lot doit l'étanchéité du passage des réseaux géothermiques et la pénétration des réseaux géothermique dans le local technique.** La méthodologie proposée par l'Entrepreneur sera soumise à la validation de la Maîtrise d'Œuvre (bague d'étanchéité, mastic de silicone, mastic à base de bitume...).

Ci-dessous, le schéma de principe la pénétration des réseaux géothermique dans le local technique.

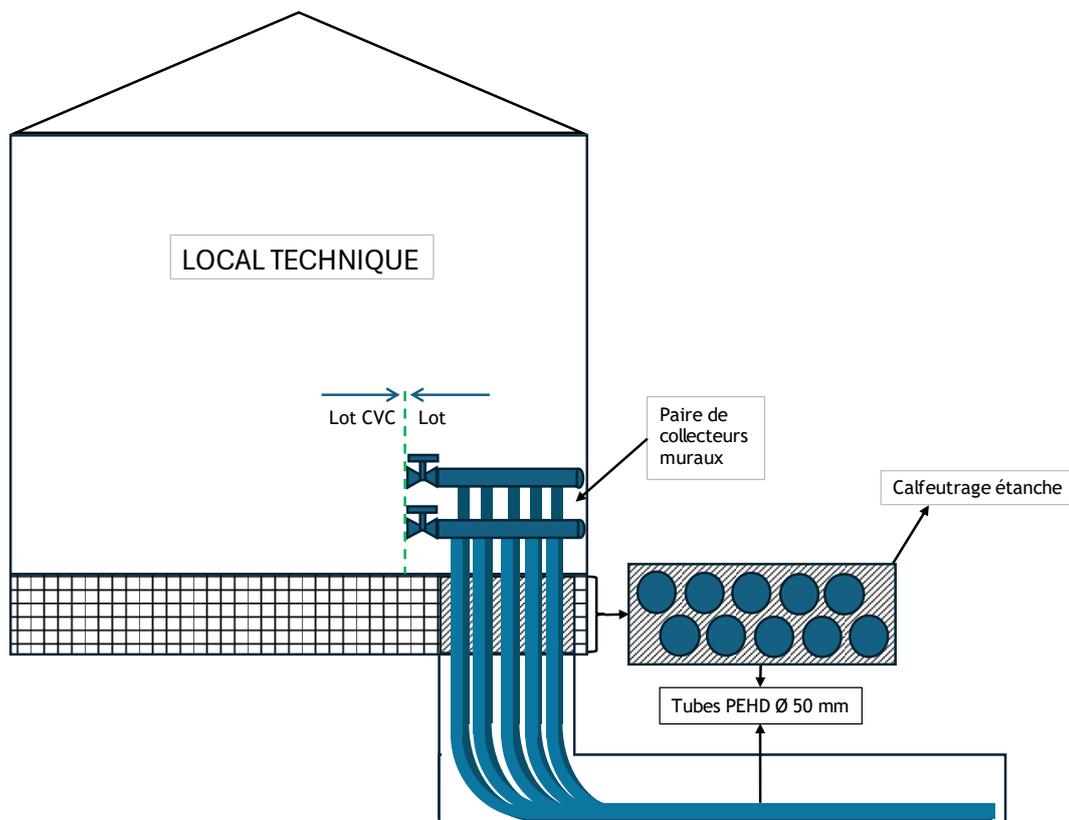


Figure 10 : Pénétration des réseaux géothermiques dans le local technique

L'Entrepreneur devra communiquer l'ensemble des caractéristiques des réservations qu'il compte effectuer, pour validation auprès de la Maîtrise d'œuvre.

4.11 Fourniture et pose de la paire de collecteurs murale - Limite de prestation

Le présent lot doit la fourniture et la pose de la paire de collecteurs murale.

La paire de collecteurs murale sera installée dans le local technique, permettant d'intervenir sur l'ensemble des organes de réglage et d'isolement.

Son emplacement prévisionnel est rappelé ci-dessous :

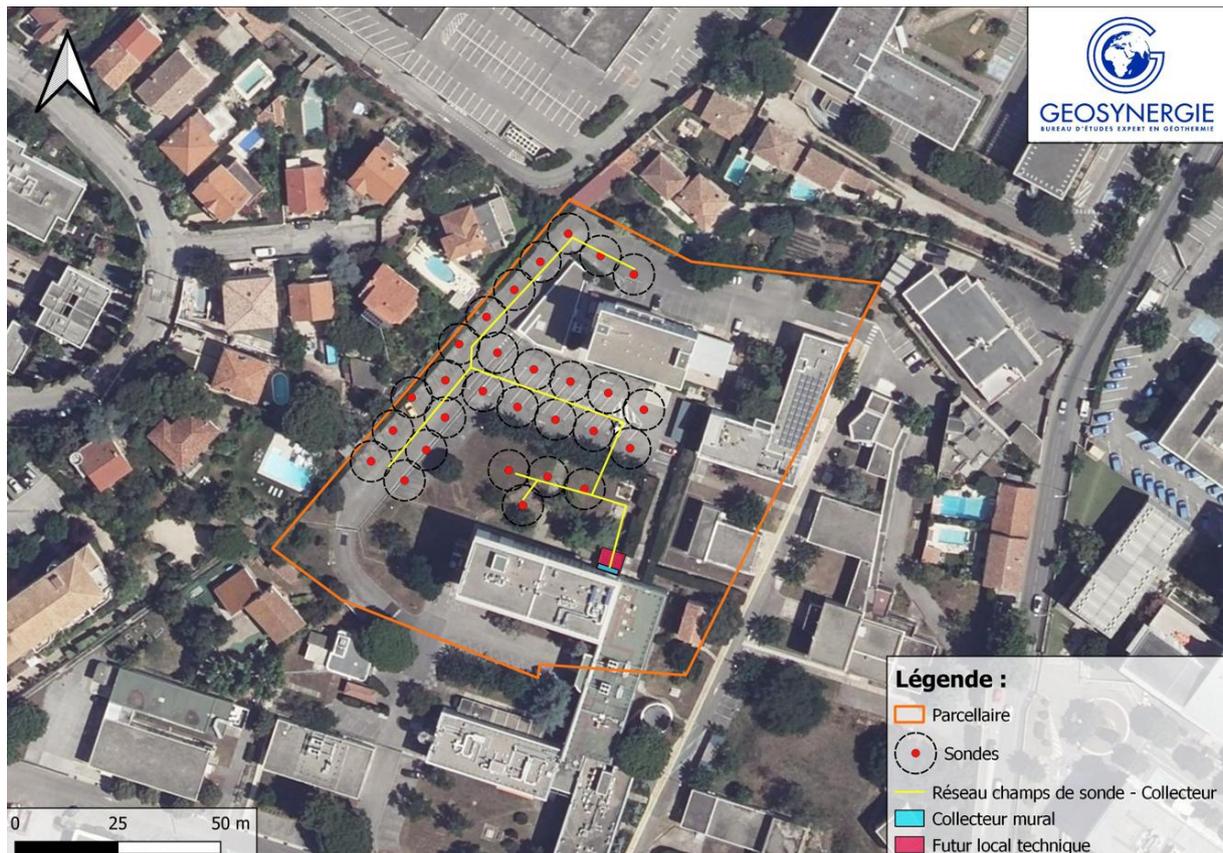


Figure 11 : Emplacement prévisionnel du futur champ de sondes et de la paire de collecteurs

La paire de collecteurs devra être entièrement montée et testée en usine.

La paire de collecteurs devra contenir à minima les organes suivants :

- De deux canalisations principales en PEHD Ø 140 mm ;
- 28 canalisations secondaires en PEHD Ø 50 mm sur lesquelles viendront se raccorder les canalisations horizontales des sondes géothermiques ;
- D'une vanne papillon à bride PN16 d'isolement sur chaque canalisation principale ;
- D'une vanne de réglage sur chaque retour de sonde (28 vannes) ;
- D'un débitmètre 5-42 l/min sur chaque retour de sonde (28 débitmètres) ;
- D'une vanne de remplissage sur chaque canalisation principale ;
- D'une vanne de purge d'air placée sur le point haut du collecteur ;
- D'un manomètre et un débitmètre sur chaque canalisation principale ;

Ci-dessous, un schéma non contractuel d'une paire de collecteurs murale :

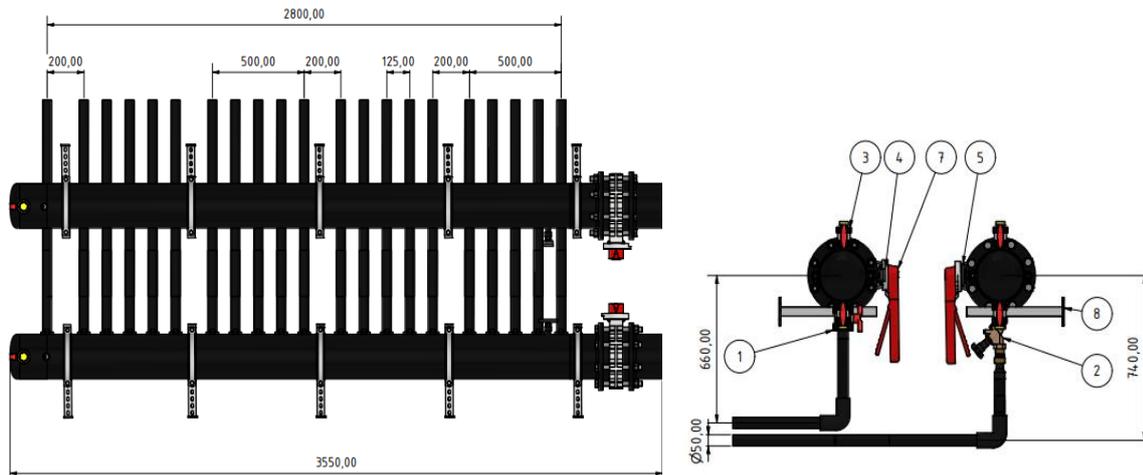


Figure 12 : Schéma d'une paire de collecteurs murale 21 sorties

Les collecteurs devront être conçus afin de résister aux contraintes suivantes :

- Pression maximale : 6 bars ;
- Température minimale : - 10°C ;
- Température maximale : 40°C.

Les raccordements effectués devront tous respecter la technique de l'électrosoudage. Aucun raccordement réalisé avec la technique de la thermosoudure ne sera accepté.

Ce cahier des charges propose une solution de raccordement qui pourra être revue en fonction de la ou des variantes techniquement équivalentes que l'entreprise titulaire du marché sera en mesure de proposer.

4.12 Remplissage du réseau géothermique en eau glycolée

Dès la fin des essais, l'Entrepreneur devra procéder au remplissage en eau glycolée du réseau géothermique. Le fluide caloporteur de l'installation géothermique sera constitué d'un mélange d'eau propre et claire et de monopropylène glycol qualité alimentaire, non toxique et inoffensif pour l'environnement dosé à 25% (une tolérance de +/- 2% est acceptable).

Le mélange entre l'eau et le monopropylène glycol (MPG), **devra s'effectuer avant le remplissage du réseau**, dans un récipient propre et prévu à cet effet. L'absence de mélange préalable des deux agents eau/MPG entraînerait par gravité le glycol au bas de la sonde et deviendrait une entrave à la circulation du fluide.

Au fur et à mesure du remplissage du réseau en fluide caloporteur, l'Entrepreneur devra réaliser des contrôles du dosage par colorimétrie de l'eau et du MPG.

L'Entrepreneur devra prévoir un volume de monopropylène glycol suffisant afin de remplir l'ensemble de l'installation (sondes géothermiques, liaison horizontales, collecteurs, local technique). **A ce titre et afin de garantir une homogénéité dans l'installation, l'Entrepreneur titulaire de ce lot devra prévoir un volume supplémentaire de 250 L (10 bidons de 25 litres) de monopropylène glycol pur, qu'il devra laisser dans le local technique.**

Le remplissage du réseau se fera depuis la paire de collecteurs, via une vanne de remplissage.

Une fois le remplissage effectué, l'Entrepreneur devra faire circuler le fluide caloporteur dans l'ensemble du réseau géothermique, afin d'éliminer les bulles d'air piégées dans le réseau. En cas de baisse de pression, un appoint en fluide caloporteur sera réalisé et la circulation relancée, jusqu'à que la pression soit maintenue constante.

5. Essais, équilibrage et mise en service

Le titulaire du marché aura à sa charge l'ensemble des essais nécessaires au bon fonctionnement de l'installation.

Un relevé de tous les essais (pression, circulation, débit...) sera établi et fourni par l'Entrepreneur au fur et mesure de l'avancement et au plus tard avant la réception des travaux.

Si les essais ne donnent pas les résultats escomptés, l'Entrepreneur devra, à ses frais, procéder à la mise en conformité des installations jusqu'à l'obtention de résultats favorables sanctionnés par un procès-verbal d'autocontrôle.

Ces essais seront réalisés par l'Entrepreneur, en présence du Maître d'Œuvre géothermique. En cours de travaux, le Maître d'Œuvre se réserve le droit de demander les essais et faire des contrôles inopinés.

Idéalement, ces essais seront réalisés avant le remblayage des tranchées.

L'Entrepreneur devra prévoir l'ensemble des moyens humains et matériels pour la réalisation en bonne et due forme de ces essais. Ces essais devront être consignés dans un carnet et sur un procès-verbal, joint au D.O.E. Le carnet des essais devra être mis à disposition du Maître d'Œuvre lors de ses visites de chantier.

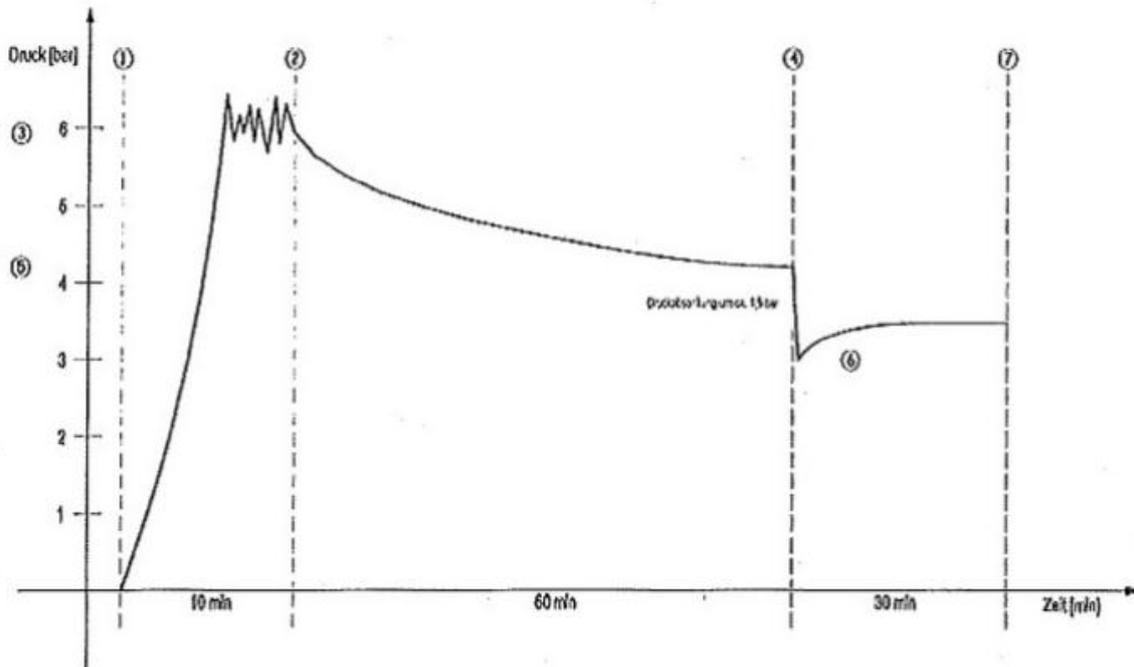
5.1 Essais de mise en pression

L'objectif des essais de pression est de contrôler l'étanchéité des sondes géothermiques.

Les essais de mise en pression à réaliser sur chaque sonde sont les suivants :

- Un test de mise en pression **avant cimentation du forage**. Le test devra être réalisé à une pression de 6 bars pendant 30 min. Le test sera jugé concluant si la pression ne chute pas au-delà de 1 bar après la phase d'équilibrage.
- Un test de mise en pression réalisé après la cimentation de la sonde. Le test devra être réalisé à une pression de 6 bars pendant 30 min. Le test est jugé concluant si la pression ne chute pas au-delà de 1 bar après la phase d'équilibrage.
- Un test de mise en pression au niveau des collecteurs lorsque l'ensemble du champ de sondes est raccordé. Le test sera effectué à 6 bars, pendant 2h30 min. Le test sera jugé concluant si la pression ne chute pas au-delà de 1 bar après la phase d'équilibrage.

Ci-dessous, un exemple de test de mise en pression finale, selon la norme DIN V 4279-7.



Si la pression remonte légèrement durant la phase 6, le champ de sondes est considéré comme étanche.

L'Entrepreneur devra fournir à la Maîtrise d'Œuvre l'ensemble de ces attestations de cet autocontrôle.

5.2 Essais des pertes de charge

L'objectif des essais de circulation avec mesure des pertes de charge est de contrôler l'absence de poinçonnement ou de bouchons dans les canalisations en PEHD.

Idéalement, les essais seront réalisés avant la cimentation de la sonde (en cas de dysfonctionnement, le foreur aura toujours la possibilité de retirer la sonde).

Pour chaque boucle d'une sonde géothermique, un essai de perte de charge doit être réalisé. L'essai de perte de charge consiste à mesurer une pression « aller » et une pression « retour », à l'aide de deux manomètres à glycérine, 0-10 bars.

La différence de pression mesurée entre l'aller et le retour de la boucle de sonde sera comparée aux abaques des pertes de charge théoriques données par le fabricant de la sonde.

Le test s'effectuera à un débit connu et mesuré (à l'aide d'un débitmètre) **d'environ 1.5 m³/h, par boucle de sonde, pour une pression minimale de 2 bars.** L'essai sera jugé concluant si l'écart relatif entre les pertes de charge théoriques données par le fabricant et la mesure effectuée sur site ne dépasse pas 30%.

L'Entrepreneur devra fournir à la Maîtrise d'Œuvre un reportage photo des 57 essais de circulation réalisés (56 photos pour les sondes et une photo pour la paire de collecteurs), avec un tableau comparatif des pertes de charge théoriques et mesurées sur site.

5.3 Equilibrage et mise en service

Avant d'effectuer l'opération d'équilibrage, l'ensemble du réseau devra être rempli avec le fluide caloporteur prévu pour le projet (mélange d'eau et de monopropylène-glycol dosé à 25%).

Le titulaire du présent lot devra réaliser l'équilibrage du réseau géothermique à partir des vannes de réglages situées sur les collecteurs. La procédure et la méthode d'équilibrage sont soumises à l'approbation du Maître d'Œuvre. L'équilibrage est vérifié avant la visite en vue de la réception des installations.

L'équilibrage devra être réalisé circuit par circuit et permettra d'atteindre un écart maximal entre le débit souhaité et le débit obtenu inférieur à 5%. La position des organes de réglages doit être verrouillée et marquée une fois celle-ci validée.

Tous les organes d'équilibrage d'une même opération sont de la même marque et utilisables avec le même appareil de lecture de pression différentielle et de débit.

L'Entrepreneur tiendra à jour son carnet en y inscrivant les schémas d'équilibrage et le réglage obtenu de chaque circuit.

Afin d'éviter l'écrasement des tubes, le remblayage des tranchées se fera une fois que les réseaux entre les sondes géothermiques et la paire de collecteurs seront mis sous pression.

6. Dossier des Ouvrages Exécutés

Le Dossier des Ouvrages Exécutés sera transmis sous format papier et format informatique après validation par le Maître d'Œuvre sur un premier exemplaire.

Pour rappel, l'Entrepreneur pourra prétendre à la réception des travaux après :

- La remise en état du site ;
- La remise du dossier des ouvrages exécutés.

Le Dossier des Ouvrages Exécutés devra contenir les éléments suivants :

- Le plan de récolement avec la localisation précise des forages, des réseaux géothermiques et de la paire de collecteurs ;
- La coupe technique des forages ;
- Le cahier des résultats des essais et contrôles ;
- Le cahier des réglages des organes d'équilibrage ;
- La liste des matériels installés comprenant notamment :
 - La marque et le modèle des matériels ;
 - Une copie de la documentation technique (notice d'utilisation et d'exploitation) à l'exclusion de toute notice commerciale ;
 - Une copie des certificats de conformité, PV d'essais et clauses de garantie des matériels installés ;
- La quantité de sac de ciment géothermique utilisée par sonde géothermique, le bon de livraison correspondant au chantier et la fiche du fournisseur détaillant le mode de préparation ;
- Un reportage photo pour chaque sonde comprenant à minima :
 - Une photographie de la sonde et de son environnement, permettant d'identifier la sonde concernée et d'appréhender le contexte de sa réalisation ;
- La note de calcul de l'ensemble du réseau évaluant les pertes de charge pour un débit de 1.5 m³/h par boucle de sonde ;
- Le dossier de sous-traitance (le cas échéant) : liste des sous-traitants éventuels de l'entreprise ;
- Le certificat de mise en route ou réception de certains fabricants pour leurs matériels ;
- Le récépissé de déclaration au titre de la GMI.