

Extension du bâtiment principal de la Délégation Régionale Occitanie de l'IRD

Phase PRO-DCE – Ind B

Lot 17 - GEOTHERMIE CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES



27/03/2026

SOMMAIRE

1 -	<u>INDICATIONS GENERALES</u>	4
1.1 -	OBJET DU MARCHÉ	4
1.2 -	OBLIGATIONS GÉNÉRALES ET FRAIS DE L'ENTREPRISE	5
1.3 -	OBJECTIFS ENVIRONNEMENTAUX ET POINT DE VIGILANCE	5
1.4 -	CONSISTANCE ET LIMITES DES PRESTATIONS	5
1.5 -	PRESCRIPTIONS CONCERNANT L'OFFRE DE L'ENTREPRISE	7
1.6 -	RAPPEL DE LA RÉGLEMENTATION	8
1.6.1 -	GENERALITES	8
1.6.2 -	NORMES	8
1.6.3 -	ARRETES, DECRETS ET REGLEMENTS	8
1.7 -	QUALIFICATIONS ET CERTIFICATIONS PROFESSIONNELLES	9
1.8 -	ASSURANCES	9
1.9 -	COORDINATION	9
1.10 -	RÉCEPTION	9
2 -	<u>DESCRIPTION DES OUVRAGES - EXTENSION</u>	10
2.1 -	FORAGE	10
2.2 -	SONDES GEOTHERMIQUES	11
2.3 -	REPLISSAGE DU Puits de Forage	12
2.4 -	RACCORDEMENT DES SONDES GEOTHERMIQUES AU COLLECTEUR	12
2.4.1 -	LIAISONS HORIZONTALES	12
2.4.2 -	MATERIELS DE RACCORDEMENT	13
2.5 -	COLLECTEUR	14
2.6 -	RACCORDEMENT COLLECTEUR / LOCAL TECHNIQUE	15
2.7 -	ESSAIS – CONTRÔLES	15
2.7.1 -	TRANSMISSION DES DONNEES ET RECURRENCE	16
2.7.2 -	VERIFICATIONS AVANT TRAVAUX	16
2.7.3 -	VERIFICATIONS EN COURS DE TRAVAUX	17
2.8 -	MISE EN SERVICE	18
2.8.1 -	REPLISSAGE	18
2.8.2 -	EQUILIBRAGE DES CIRCUITS GEOTHERMIQUES	18
2.8.3 -	DOE	19
3 -	<u>DESCRIPTION DES OUVRAGES - SURELEVATION</u>	20
3.1 -	FORAGE	20
3.2 -	SONDES GEOTHERMIQUES	21
3.3 -	REPLISSAGE DU Puits de Forage	22
3.4 -	RACCORDEMENT DES SONDES GEOTHERMIQUES AU COLLECTEUR	22
3.4.1 -	LIAISONS HORIZONTALES	22
3.4.2 -	MATERIELS DE RACCORDEMENT	23
3.5 -	COLLECTEUR	24
3.6 -	ESSAIS – CONTRÔLES	25
3.6.1 -	TRANSMISSION DES DONNEES ET RECURRENCE	26
3.6.2 -	VERIFICATIONS AVANT TRAVAUX	26
3.6.3 -	VERIFICATIONS EN COURS DE TRAVAUX	26

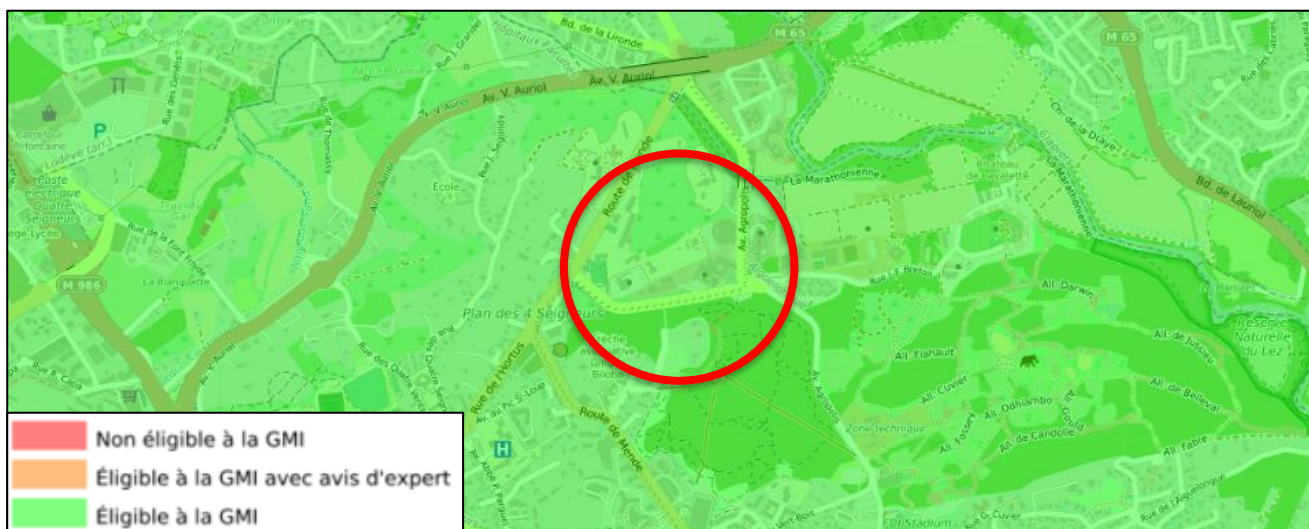
3.7 -	MISE EN SERVICE	28
3.7.1 -	REPLISSAGE	28
3.7.2 -	EQUILIBRAGE DES CIRCUITS GEOTHERMIQUES	28
3.7.3 -	DOE	29
4 -	<u>ANNEXES – DIMENSIONNEMENT EXTENSION</u>	<u>30</u>
5 -	<u>ANNEXES – DIMENSIONNEMENT SURELEVATION</u>	<u>33</u>
6 -	<u>ANNEXES – EXTRAIT RAPPORT DE TRT CIRAD</u>	<u>36</u>

1 - INDICATIONS GENERALES

1.1 - OBJET DU MARCHE

L'équipement concerne les futures installations géothermiques de l'extension du bâtiment principal de la Délégation Régionale Occitanie de l'IRD, à Montpellier (34), qui sera composée d'un bâtiment extension et d'une surélévation, chacun bénéficiant de sa propre installation géothermique.

Le site est en zone verte de la cartographie réglementaire pour la GMI avec échangeur fermé jusqu'à 200 m :



L'entreprise de forage réalisera une **prestation de forage** et installera un **système de sondes géothermiques** :

- **6 sondes de 150ml/u, pour l'extension**
- **2 sondes de 150 ml/u, pour la surélévation**

Au-delà de la prestation de forage, l'entreprise réalisera une **prestation de :**

- **Raccordement hydraulique en surface** jusqu'à un **collecteur enterré**, via un système de canalisation, puis raccordement au local technique pour l'extension
- **Raccordement hydraulique en surface** jusqu'à un **collecteur mural** directement dans le local technique surélévation

Le projet de l'IRD comprendra ainsi 8 sondes au total.

La position indicative des sondes est définie sur le plan joint et devra être validée par l'entreprise en EXE. Il appartient à l'Entreprise de faire intervenir un **géomètre pour repérer les sondes**.

L'attention de l'entreprise est attirée sur la nécessité de respecter l'environnement dans toute son action sur ce chantier : **protection des ouvrages existants**, respect du site et notamment de ses arbres, déchets, etc.

L'intervention se fera au niveau d'un site en activité. Les pompe à chaleur géothermiques seront installées dans des locaux techniques donnant sur l'extérieur.

La préparation du chantier en atelier et sur site, l'évacuation et la remise en état des lieux font partie intégrante du présent marché.

Les Entrepreneurs remettant une offre devront impérativement être habilités et disposer de la qualification **CERTIFORAGE SONDES (certificat en cours de validité à produire avec l'offre)**.

Chaque prestation englobe la fourniture sur le chantier des équipements et matériaux, la pose, le montage, le raccordement de ceux-ci, la réalisation des essais et la remise des documents demandés dans le présent C.C.T.P.

1.2 - OBLIGATIONS GÉNÉRALES ET FRAIS DE L'ENTREPRISE

Indépendamment des obligations définies au Cahier des Clauses Administratives Particulières (CCAP), l'entrepreneur devra tous les frais qui résulteront de l'exécution de ses travaux.

1.3 - OBJECTIFS ENVIRONNEMENTAUX ET POINT DE VIGILANCE

Le projet répond à des exigences environnementales très fortes de la Maîtrise d'Ouvrage, parmi lesquels on retrouve :

- **La volonté d'être un bâtiment exemplaire sur le plan énergétique**, c'est-à-dire des consommations qui soient les plus faibles possibles grâce à la conception du bâtiment et des équipements mis en place ;
- **Les objectifs de la RE2020, en termes d'énergie et de carbone, seuils de 2025 voire 2028 ; ce qui impliquera la fourniture d'un certain nombre de Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES)** pour certains éléments précis du bâtiment afin de faire correspondre la réalité des matériaux employés avec la théorie des calculs réglementaires ;

1.4 - CONSISTANCE ET LIMITES DES PRESTATIONS

Les prestations de l'entreprise sont les suivantes :

- Démarches administratives liées à la géothermie (déclarations selon Décret de 2015 et Arrêté GMI du 25 juin 2015 ; constitution du dossier réglementaire ; etc.) ;
- L'entreprise de forage qualifiée réalise elle-même la déclaration d'intention de commencement de travaux (DICT) prévue par l'article R. 554-25 du Code de l'environnement ;
- Réalisation des forages dans les règles de l'art et normes pour une utilisation par des sondes et dans le respect des éventuelles nappes phréatiques traversées.
- Le recueil et l'évacuation des boues de forage vers un centre de traitement agréé avec fourniture de bons de réception desdits centres pour la totalité du tonnage évacué ;
- Fourniture et pose de l'ensemble des équipements hydrauliques, y compris têtes de forages, liaisons horizontales et collecteurs nécessaires à l'installation jusqu'aux PACs, existante ;

- Cimentation des forages au coulis selon règles ;
- Fourniture et pose des têtes de sonde (protection pendant le chantier de bâtiment)
- Réalisation des lits de sable et pose du grillage avertisseur ;
- Mise en place et raccordement du collecteur ;
- Clôture de sa partie du chantier ;
- Le repli de ses matériaux et matériels excédentaires ;
- Essais en pression des réseaux mis en œuvre ;
- Tous autres menus ouvrages nécessaires au parfait achèvement des installations de son corps d'état, conformément aux règles de l'art.

Cette liste n'est pas limitative.

Les limites de prestation avec le lot Terrassement-VRD (n°1) sont les suivantes :

- Réalisation des tranchées, préparation du fond de tranchée par pose du lit de sable 10cm, pente 1% minimum : lot Terrassement-VRD
- Fourniture et pose des canalisations horizontales : **à ce lot**
- Recouvrement des canalisations d'un lit de sable de 10cm ainsi que la fourniture et pose du grillage avertisseur violet : lot Terrassement-VRD
- Fermeture des tranchées et pose du revêtement : lot Terrassement-VRD

Les limites de prestation avec le lot CVC (n°16) sont les suivantes :

- Le présent lot doit les pénétrations en local technique extension : mise en place d'un jeu de vannes sur les réseaux en locaux technique
- Le présent lot doit les pénétrations en local technique surélévation et la fourniture + pose du collecteur mural 2 entrées / 2 sorties selon indications du lot CVC
- Le présent lot doit le remplissage des champs de sondes et son équilibrage

1.5 - PRESCRIPTIONS CONCERNANT L'OFFRE DE L'ENTREPRISE

Le dossier de consultation doit être considéré comme un programme destiné à renseigner l'Entrepreneur sur le but recherché et sur la qualité des ouvrages.

En conséquence :

- Les renseignements donnés dans le présent document ne peuvent pas être considérés comme limitatifs,
- L'Entrepreneur a l'obligation, avec sa soumission, d'apporter des précisions complémentaires ou améliorer le principe si besoin était.

Toute modification discrète, apparente ou non apparente des offres par rapport au présent CCTP, se doit d'être signalée par les soumissionnaires au pouvoir adjudicateur, notamment lors de la remise des offres.

Toute observation éventuelle devra être jointe à la remise de l'offre.

L'entrepreneur devra indiquer dans son offre le nom d'un responsable pouvant fournir tous les renseignements utiles lors du dépouillement des offres.

Dans son offre, l'Entrepreneur devra indiquer obligatoirement les marques et références des matériels proposés.

1.6 - RAPPEL DE LA RÉGLEMENTATION

1.6.1 - GENERALITES

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 objet du présent C.C.T.P.

En cas de discordance entre ces différents documents, celui de 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
- Code de l'environnement
- Code de la santé publique, notamment art. L 1321-1
- Règlement Sanitaire Départemental
- Arrêté du 17 juillet 2009 modifié et Loi sur l'eau

1.6.2 - NORMES

En particulier, l'opération respectera les **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.

Liste non limitative. En cas de discordance entre ces différentes normes, celle de date la plus récente fait foi.

1.6.3 - ARRETES, DECRETS ET REGLEMENTS

- 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

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

L'arrêté du 29 mai 2024 fixant les modalités de certification prévues à l'article L. 164-1-1 du code minier, le référentiel, les modalités d'audit, les conditions d'accréditation des organismes de certification

L'arrêté du 29 mai 2024 modifiant l'arrêté ministériel du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance et l'arrêté ministériel du 25 juin 2015 relatif à l'agrément d'expert en matière de géothermie de minime importance

1.7 - QUALIFICATIONS ET CERTIFICATIONS PROFESSIONNELLES

Le foreur doit obligatoirement respecter l'arrêté du 29 mai 2024 relatif à la qualification des entreprises de forage. A ce titre, il doit être **titulaire de la qualification CERTIFORAGE Sondes** et en justifier au moment de sa candidature.

1.8 - 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.

Les candidats devront également fournir une attestation RC Pro.

1.9 - COORDINATION

L'Entrepreneur doit se conformer aux prescriptions de l'OPC mentionnées dans le calendrier détaillé d'opération joint au marché.

1.10 - RÉCEPTION

Avant la réception, l'Entrepreneur doit fournir au Maître d'Œuvre des plans de récolement des installations parfaitement mis à jour et comportant tous les repères conventionnels et indications nécessaires à la maintenance de l'installation.

2 - DESCRIPTION DES OUVRAGES - EXTENSION

2.1 - FORAGE

La méthode de forage devra être adaptée à la nature géologique des différentes couches de terrain traversées. **Il appartient à l'entreprise de réaliser ses propres recherches sur la nature du sous-sol jusqu'à l'horizon de forage (150 m).**

Il n'est pas prévu la réalisation d'un TRT pour l'opération. Néanmoins, un TRT a été réalisé (à 600m à vol d'oiseau pour le CIRAD), tandis qu'une installation existante (500m à vol d'oiseau) est en fonctionnement depuis 2007. Le rapport du TRT du CIRAD est transmis en annexe.

L'entreprise doit également prendre à sa charge les démarches administratives nécessaires en amont de la réalisation des forages : télédéclaration GMI et DICT.

Les diamètres et les méthodes de forage doivent permettre une cimentation complète de l'espace annulaire sur l'intégralité de la hauteur de l'échangeur. Pour prévenir toute pollution du ou des milieux récepteurs, l'entreprise de forage qualifiée prévoit des dispositifs de traitement, par décantation, neutralisation ou par toute autre méthode appropriée, des déblais de forage, des boues et des eaux extraites du forage pendant le chantier. Les dispositifs de traitement sont adaptés en fonction de la sensibilité des milieux récepteurs.

Pour la réalisation des échangeurs géothermiques fermés, le diamètre du trou nu est d'au minimum 115mm.

La profondeur du forage sera **de 150 m, une tolérance étant autorisée entre 148 et 152 m.**

Tout au long du forage, l'entrepreneur récupère des échantillons géologiques des terrains traversés, au moins tous les 10 m et plus si changement de nature. Il les stocke en récipients numérotés clairement avec la profondeur, la nature du sol. Il les remet au maître d'œuvre.

Le recueil et l'évacuation de la totalité des boues de forage, et la fourniture du bordereau traduisant leur bonne réception en centre de traitement agréé, sont inclus dans la mission.

Après la réalisation du forage, l'entreprise de forage qualifiée communique les coupes géologique et technique de l'échangeur à l'entité responsable du dimensionnement de l'installation afin que les hypothèses au dimensionnement puissent être vérifiées. Elle **réalise le rapport de fin de forage et joint les documents attendus, remplit et signe le procès-verbal de réception** qui seront annexés au dossier de l'installation. **L'entreprise dépose le rapport de fin de forage sur le site du téléservice dédié à l'accomplissement des procédures relatives à la géothermie de minime importance, et en fournit une copie intégrale au BET PLUS DE VERT.**

Pour information, la puissance thermique de la PAC sera de :

- 45 kW chaud pour un régime 0/35°C
- pour une puissance max soutirée d'environ 35 kW (voir rapport dimensionnement en annexe)

2.2 - SONDES GEOTHERMIQUES

Le positionnement des sondes est renseigné sur le plan d'implantation joint au rendu PRO/DCE.

Les caractéristiques des sondes géothermiques sont les suivantes :

Marque : HAKA GERODUR, FRANCK, GEOTEC, ou équivalent.

Type : Double-U

Nature des tuyaux : PEHD (densité PE 100)

Diamètre des tuyaux : Diam. DN32 (diamètre externe) indicatif, épaisseur 2,9 mm mini

Pression nominale : PN 16

Longueur : 150 m utile

Écarteurs : 1 par barre de foration

Le tuyau d'injection du coulis de remplissage sera disposé au centre de la sonde, au travers des écarteurs, et sera installé jusqu'au pied de sonde. La sonde géothermique et le tuyau d'injection seront descendus ensemble dans le puits de forage.

En partie basse, les sondes seront munies d'une cunette de décantation.

Les diamètres extérieurs des tubes de la boucle de sonde sont d'au minimum 32 mm. Les diamètres du trou nu et des tubages de sondes sont choisis selon les règles de l'art.

L'échangeur géothermique doit être muni de :

- **un pied de sonde électro-soudé** en atelier,
- **un lest solide** du pied de sonde, facilitant la descente de la sonde dans le puits de forage tout en assurant une tension sur la sonde pendant la pose. Le lest peut être approvisionné chez le fabricant des sondes, ou réalisé à façon. Il ne devra en aucun cas constituer un risque d'endommagement de la tuyauterie : notamment l'installation d'un poids dans l'espace libre entre les 4 tuyaux en PEHD au-dessus du pied de sonde, est proscrit.
- **des écarteurs** permettant de maintenir un entraxe de 85 mm minimum entre les quatre tuyaux. Les écarteurs sont disposés sur toute la profondeur de la sonde géothermique. La pose des écarteurs peut être réalisée au fur et à mesure de la descente de la sonde géothermique dans le puits de forage.
- **un tuyau d'injection du coulis de remplissage**, de diamètre suffisant pour permettre l'injection du matériau : DN25 minimum. Le tuyau d'injection est disposé dans l'espace libre entre les 4 tuyaux en PEHD, au travers des écarteurs, et sera installé jusqu'au pied de sonde. La sonde géothermique et le tuyau d'injection seront descendus ensemble dans le puits de forage.

La descente de la sonde dans le puits de forage sera exécutée à l'aide d'un touret. La sonde sera préalablement remplie afin de faciliter la descente.

En aucun cas la sonde ne doit être poussée dans le puits de 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 puits.

2.3 - REMPLISSAGE DU Puits DE FORAGE

La cimentation de l'échangeur géothermique fermé doit être réalisée **sur toute sa hauteur et aussitôt la sonde géothermique posée et dont l'étanchéité aura été testée (cf. §1.7)**. La cimentation doit permettre les échanges thermiques homogènes par conduction thermique, entre la boucle et le terrain. Les ciments ou les coulis utilisés pour assurer la cimentation de la sonde et l'étanchéité des différents horizons géologiques doivent avoir une **conductivité thermique d'au minimum 2 W/(m.K)**. La mise en place du coulis de comblement doit être réalisée sous pression, sans vide d'air, au moyen d'une pompe d'injection adaptée, par méthode ascendante à l'aide d'un tube plongeur, par injection du coulis de remplissage depuis la base du forage jusqu'à la cote de 0,5 m en-dessous du niveau du terrain naturel, pour faciliter la réalisation de la tranchée de liaison entre les échangeurs et le local technique.

Le puits de forage sera rempli avec un matériau dédié spécifiquement aux applications géothermiques, de type ThermoCemPlus, Thermoclay, Prestobent, FISCHER Geosolid ou équivalent.

Les caractéristiques du matériau sont les suivantes : **Conductivité thermique > 2 W/m.K**

Au-dessus de la cimentation le puits de forage doit être rebouché avec du sable jusqu'à recouvrir totalement la tête de sonde, puis rebouché avec un matériau de remblayage jusqu'à la surface. Ce remblai ne pourra pas avoir lieu avant la fin de tous les essais prévus, notamment mise en pression des sondes.

2.4 - RACCORDEMENT DES SONDES GEOTHERMIQUES AU COLLECTEUR

2.4.1 - LIAISONS HORIZONTALES

Le circuit incluant la sonde géothermique, les raccords et les canalisations jusqu'à l'ensemble collecteur/distributeur, **ne doit comporter aucun point haut**. Ces canalisations devront être **disposées dans la tranchée en respectant une pente minimale de 1 % (sondes en bas)** et seront disposées sur lit de sable de 10 cm minimum, puis recouvertes de sable (10 cm mini au-dessus de la génératrice) avant rebouchage des tranchées.

A l'extérieur de bâtiment, l'ouverture et rebouchage des tranchées seront réalisés par le lot VRD ainsi que la pose des 2 lits de sable de rattrapage éventuel de la pente (respect des 1%) et protection des canalisations.

Le présent lot réceptionnera le lit de sable après vérification de la pente minimale.

Sur les plans en annexe sont représentés approximativement les tranchées.

Le rayon de courbure minimal prescrit par le fabricant de la tuyauterie devra être respecté. Des manchons coudés seront mis en œuvre sinon.

Les canalisations allers et retours doivent être séparées par une distance d'au moins 20 cm. Si nécessaire, aux endroits de plus forte proximité, des isolants thermiques seront interposés entre les allers et les retours, si possible par manchons isolants. Si le plan masse des tranchées est tel que des chevauchements de tuyaux sont nécessaires afin de séparer les canalisations allers et retours, seules les canalisations de retour peuvent chevaucher d'autres canalisations. Une canalisation réalisant un chevauchement doit être disposée de telle sorte qu'elle reprenne progressivement la pente sans créer de point haut.

Le matériau de remblayage doit être exempt de cendres, de déchets, de roches de plus de 100 mm ou tout autre matériau susceptible d'endommager la tuyauterie. Il doit être tenu compte du tassement de la zone excavée.

2.4.2 - MATERIELS DE RACCORDEMENT

Les sondes sont destinées à être raccordées à un ensemble collecteur/distributeur enterré par l'intermédiaire d'éléments, à fournir parmi :

- raccords DN 32 – DN 32 en PEHD électro-soudables
- pièces en Y 2 X DN 32 – 1 X DN 40 installés sur la tête de sonde, permettant de joindre les deux entrées et les deux sorties des tuyauteries en U.
- raccords coudés DN 40 – DN 40 (minimum) en PEHD électro-soudables
- conduites DN 40 (minimum) en PEHD

Afin d'éviter des raccords supplémentaires et donc des risques de fuite supplémentaires, les conduites horizontales, disposées en tranchées, seront de **même diamètre et de longueur suffisante** jusqu'aux collecteurs enterrés, ou en l'absence de ces derniers jusqu'au local technique.

Tous les raccordements effectués sur site doivent être exécutés selon la **technique de l'électro-soudure**. Des raccordements effectués sur **site par thermo-soudure ne sont pas acceptés**.

Tous les manchons électro-soudables utilisés pour les raccordements sont en PEHD.

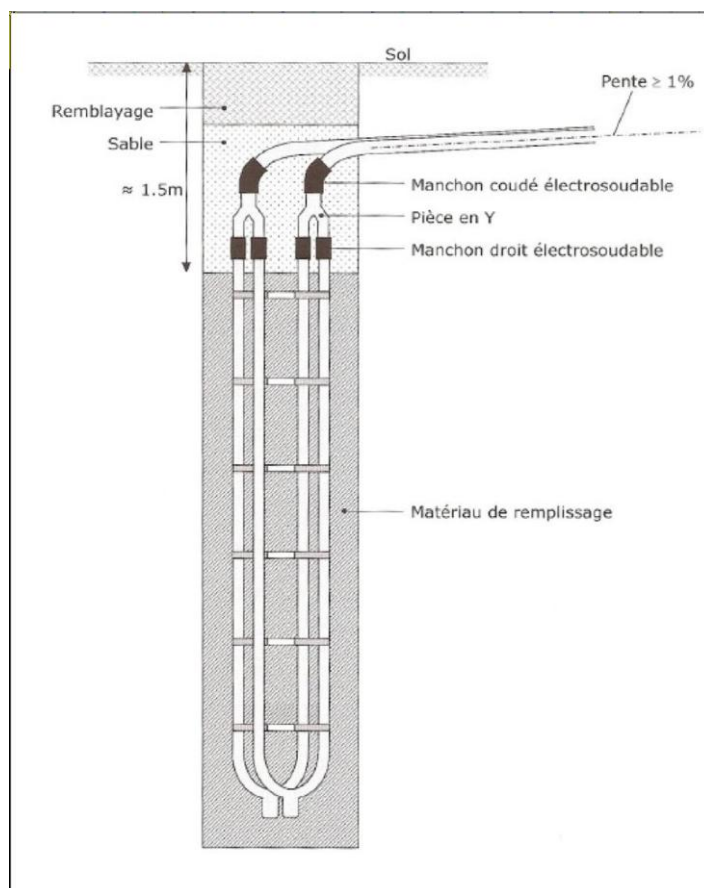
Avant de réaliser la soudure de deux canalisations en PEHD par l'intermédiaire d'un manchon électro-soudable, il est procédé aux opérations suivantes sur chacune des deux canalisations :

- nettoyage de la partie qui sera insérée dans le manchon,
- enlèvement de la couche superficielle de PEHD, à l'aide d'un grattoir.

Le raccordement de la tête de sonde sera particulièrement soigné.

Dans un souci d'avertissement et de signalisation, **un grillage avertisseur (à priori violet) sera disposé au-dessus de chaque sonde et sur le cheminement des liaisons horizontales par le lot VRD** (cf. Plan d'implantation des sondes joint au rendu PRO/DCE).

Un schéma de raccordement de la tête de sonde est proposé sur la figure suivante. Des variantes à ce schéma de raccordement peuvent être proposées par l'Entreprise. Elles devront être approuvées par le Maître d'œuvre avant exécution des travaux.



2.5 - COLLECTEUR

Le présent lot dot la fourniture et la pose d'un **bloc collecteurs/regard enterré à 12 entrées** pour **6 sondes pour l'extension**. Il s'agira d'un ensemble préfabriqué (marque HAKA GERODUR, ou équivalent). Le regard sera muni d'un **regard en fonte carrossable**, permettant d'intervenir sur l'ensemble des **organes de réglage et d'isolement** ;

Le positionnement des collecteurs est renseigné sur le plan d'implantation joint.

L'ensemble collecteur/distributeur enterré doit être composé au minimum de :

- **Un distributeur** en matériau PEHD, de diamètre adéquat, muni des éléments suivants :
 - Une canalisation d'arrivée principale en PEHD (depuis le local technique) munie d'une vanne d'isolement,
 - Un ensemble de canalisations secondaires en PEHD de départ vers les sondes géothermiques, chacune munie d'une vanne de réglage, destinée à l'équilibrage de l'installation (vanne placée sur le départ de chaque circuit individuel),
 - Une vanne de purge d'air placée sur le point haut du distributeur.
- **Un collecteur** en matériau PEHD, de diamètre adéquat, muni des éléments suivants :
 - Une canalisation de départ principale en PEHD (vers le local technique) munie d'une vanne d'isolement,

- Un ensemble de canalisations secondaires en PEHD de retour des sondes géothermiques, chacune munie d'une vanne d'isolement (vanne placée sur le retour de chaque circuit),
- Une vanne de purge d'air placée sur le point haut du collecteur.

Les collecteurs doivent être conçus pour les régimes suivants :

Pression de service max : 6 bars

Température maxi : 40°C

Température mini : - 10°C

Les raccordements effectués sur site au niveau des collecteurs, qu'il s'agisse du raccordement des canalisations individuelles vers les sondes géothermiques, ou du raccordement des canalisations principales vers le local technique, doivent être exécutés selon la technique de l'électro-soudure, avec du matériel normalisé. **Des raccordements effectués sur site par thermo-soudure ne sont pas acceptés.**

2.6 - RACCORDEMENT COLLECTEUR / LOCAL TECHNIQUE

L'ensemble collecteur/distributeur enterré de l'extension est destiné à être raccordé au local technique accueillant la PAC, par l'intermédiaire de tubes **DN 75 minimum** en PEHD.

Pour prévoir le passage des 2 tubes de liaison depuis le collecteur, le lot Gros-Œuvre (n°2) aura prévu une réservation (à demander en phase de préparation de chantier par le présent lot) dans la longrine et dans le plancher bas du local technique, directement au droit de l'emplacement du collecteur.

Les tubes seront ainsi acheminés jusqu'en chaufferie où ils seront équipés de brides, en attente pour raccordement sur la PAC (prestation à charge du lot CVC).

Si le rayon de cintrage des tubes sélectionnés est trop important, des raccords coudés seront prévus.

Lors de la pénétration de la tuyauterie dans le local technique, toutes les mesures devront être prises afin de préserver l'isolation thermique et l'étanchéité.

2.7 - ESSAIS – CONTRÔLES

Avant de réaliser le remplissage du puits de forage, un test en pression sera effectué pour chacune des deux tuyauteries en U constituant la sonde géothermique, selon la **norme NF X10-970**.

L'entreprise de forage qualifiée réalise des contrôles lors :

- **de la réalisation du forage** afin de disposer, pour l'échangeur géothermique, de la coupe géologique, de la coupe technique de l'échangeur géothermique et de la localisation précise de l'ouvrage. Les informations suivantes sont renseignées : le ou les niveaux des nappes rencontrées, les caractéristiques des équipements mis en place, les conditions de réalisation (méthode et matériaux utilisés lors de la foration, volume théorique des cimentations et volume injectés, profondeurs atteintes, zones de pertes rencontrées et résultats des tests de mise en pression des sondes ;

- **de la cimentation** par des opérations de suivi des volumes injectés, d'éventuels essais diagraphiques de vérification de la cimentation ainsi que des essais de caractérisation des coulis ou ciments injectés. L'entreprise de forage qualifiée dresse un procès-verbal de contrôle de la cimentation qui atteste de la profondeur de l'ouvrage, de la qualité et le type de ciment utilisé.

Le titulaire du présent marché aura à sa charge tous les essais nécessaires au fonctionnement nominal des installations.

Un relevé de tous les essais, débits, pressions, etc... sera établi et fourni par le titulaire avant la réception des travaux.

Tous les essais peuvent être différés tant qu'une partie quelconque des fournitures ou de leur mise en œuvre n'est pas acceptée.

Au cas où les essais donneraient des résultats insuffisants, l'entrepreneur devra procéder à la mise en conformité des installations à ses frais, et ce 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. En cours des travaux, le Maître d'œuvre peut demander des essais et faire des contrôles inopinés.

Tous ces travaux d'essais et contrôle ont lieu avant le remblayage des tranchées.

L'entreprise prévoira tout le matériel, la fourniture et les prestations nécessaires à la réalisation de ces essais. Ces essais seront consignés sur un procès-verbal qui sera joint au D.O.E.

2.7.1 - TRANSMISSION DES DONNEES ET RECURRENCE

Il est attendu de la part de l'Entrepreneur une transmission hebdomadaire de l'état d'avancement du chantier incluant :

- **Les sondes réalisées**
- **Les quantités de coulis injectées par forage**
- **Les résultats des essais en pression, détaillés aux paragraphes suivants**
- **Les éventuelles difficultés rencontrées d'un point de vue géologique et mesures prises en réponse aux difficultés**

Il est attendu un cahier des essais et réglages précis et ordonné, avec photos justificative.

Une trame de cahier de suivi des essais devra être fournie et validée par le Maître d'œuvre.

Plusieurs types d'essais et contrôles sont à distinguer :

2.7.2 - VERIFICATIONS AVANT TRAVAUX

Avant travaux, il est procédé à la vérification :

- de la conformité des matériels fournis : échangeur géothermique, raccords électro-soudables, tuyauterie de raccordement, ensembles collecteur/distributeur, matériau de cimentation,
- de la mise en œuvre du matériel
- de la conformité des installations en fonction des prestations figurant au cahier des charges et selon les modifications éventuelles approuvées en cours de préparation,
- de l'état du matériel.

2.7.3 - VERIFICATIONS EN COURS DE TRAVAUX

Lors de sa demande de réception des installations, il sera demandé à l'Entrepreneur un cahier de résultat de ses essais et contrôles, faute de quoi la réception ne pourrait être acceptée.

Essais de réception de l'échangeur géothermique fermé :

A l'issue de l'installation de l'échangeur, l'entreprise de forage qualifiée réalise les essais ou **épreuves de mise en pression et de perte de charge** selon les règles de l'art afin de contrôler l'étanchéité de la sonde, principalement au niveau des soudures du pied de sonde.

Si le contexte hydrogéologique et la méthode de forage ne permettent pas une bonne tenue des parois du forage les tests de mise en pression seront réalisés après la phase de cimentation.

Lors de sa demande de réception des installations, il sera demandé à l'Entrepreneur un cahier de résultats de ses essais et contrôles, faute de quoi la réception ne pourrait être acceptée.

A l'issue de l'installation de l'échangeur, l'entreprise de forage qualifiée réalise les essais ou épreuves de mise en pression, de perte de charge et de circulation selon le protocole d'essai défini ci-après afin de contrôler l'étanchéité de la sonde, principalement au niveau des soudures du pied de sonde.

Si le contexte hydrogéologique et la méthode de forage ne permettent pas une bonne tenue des parois du forage, les tests de mise en pression seront réalisés après la phase de cimentation.

Les essais d'étanchéité à réaliser sont les suivants :

- Test de pression pour chaque sonde géothermique réalisé en usine, le fournisseur doit transmettre les certificats des tests en pression en usine, à l'Entrepreneur qui les transmettra ensuite à la MOE au démarrage des travaux.

- Test de pression pour chaque sonde géothermique. Ce test, réalisé à 3 bars minimum (durée 30 min minimum), doit être effectué avant le remplissage du puits de forage.

La pression ne doit pas chuter de plus de 1 bar pour que l'essai soit concluant. L'Entreprise de forage effectuera ce test et fournira à la MOE les attestations de cet auto-contrôle.

- Test de pression pour chaque circuit géothermique individuel, comprenant une sonde géothermique, les raccords en Y, la tuyauterie de raccordement jusqu'aux collecteurs enterrés. Chaque circuit est testé à 6 bars (durée 30 min minimum), avant son raccordement sur les collecteurs enterrés.

La pression ne doit pas chuter de plus de 1 bar pour que l'essai soit concluant. L'Entreprise de forage effectuera ce test et fournira à la MOE les attestations de cet auto-contrôle.

- Test de pression pour le circuit complet associé à la paire de collecteurs. Le test porte sur le circuit complet comprenant tous les circuits géothermiques individuels raccordés à un ensemble collecteur/distributeur enterré, les vannes de réglage et d'isolement associées à chaque circuit géothermique individuel, l'ensemble collecteur/distributeur enterré, et la tuyauterie de raccordement entre l'ensemble collecteur/distributeur et le local technique. Ce test est réalisé à 6 bars (durée 30 min minimum). Ce test est réalisé avant le raccordement définitif du circuit en local technique, et avant remblayage des tranchées.

Pour que l'essai soit concluant, la pression ne doit pas chuter de plus de 1 bar. L'Entreprise de forage effectuera ce test et fournira à la MOE les attestations de cet auto-contrôle.

L'essai de perte de charge est obligatoirement réalisé après la mise en place de la sonde, mais de préférence avant la cimentation (en cas de dysfonctionnement, le foreur peut encore retirer la sonde).

Il s'agit de mesurer, à l'aide d'un manomètre différentiel, la perte de charge, c'est-à-dire la différence de pression entre l'entrée et la sortie de sonde pour un débit donné et de la comparer aux abaques théoriques (voir STR-PE ou fabricant de sonde). L'incohérence avec la valeur théorique issue des abaques démontrera l'anomalie.

En parallèle, l'essai de circulation sera réalisé et permettra de vérifier la cohérence avec le résultat de l'essai de perte de charge. Il s'agit de vérifier, à l'aide d'un compteur volumétrique, le débit de chaque boucle de sonde.

Il est réalisé à l'eau claire (eau du réseau).

Les essais à réaliser sont les suivants :

- **essais d'étanchéité en pression** selon la **norme NF X10-970 (avant et après cimentation)**
- **mesure de la perte de charge** selon la **norme NF X10-970**

2.8 - MISE EN SERVICE

2.8.1 - REMPLISSAGE

Pour la réalisation des essais en pression et de circulation, l'ensemble du champ de sondes aura été rempli par de l'eau pure.

Le remplissage définitif est à ce lot : il s'agira de mono-propylène-glycol à 25%.

Selon la réglementation, la température du fluide caloporteur qui retourne vers les échangeurs géothermiques fermés doit être comprise entre - 3 °C et + 40 °C. C'est pourquoi **le régime prévisionnel du primaire de la PAC est de 0°/-3°C**.

Le fluide caloporteur contenu dans le circuit primaire de l'échangeur et les éventuels métabolites de sa dégradation ou de sa biodégradation ne doivent avoir aucune répercussion sur l'environnement en cas de fuite. Il doit être biodégradable, de qualité alimentaire. Le fluide caloporteur contenu dans le circuit primaire de l'échangeur ne contient pas de substance réglementée par le règlement CE n° 1005/2009. La composition et le volume du fluide caloporteur doivent être mentionnés dans le rapport de fin de forage.

2.8.2 - EQUILIBRAGE DES CIRCUITS GEOTHERMIQUES

L'équilibrage est obligatoire et important. La procédure et la méthode d'équilibrage sont soumises à l'approbation du Maître d'œuvre. **L'équilibrage est vérifié contradictoirement** avant la visite en vue de la réception des installations. La précision (écart maximal entre le débit souhaité et le débit obtenu) demandée est de 5 %. La position des organes de réglage doit être verrouillée.

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.

Sur la base des schémas hydrauliques de principe, l'entreprise établit les schémas d'équilibrage. Ces schémas indiquent notamment la position, le type, la valeur de réglage, le débit souhaité, le débit obtenu et la perte de charge de chaque organe d'équilibrage.

2.8.3 - DOE

Dans un délai 15 jours maximum suivant la fin des travaux, l'entreprise de forage qualifiée remet à l'exploitant et dépose également, sur le téléservice dédié à l'accomplissement des procédures relatives à la géothermie de minime importance, le rapport de fin des travaux conforme à l'arrêté de 2015.

Le dossier des ouvrages exécutés sera remis en un (1) exemplaire papier (MOA) et un (1) exemplaire numérique après approbation du Maître d'Oeuvre. Le dossier des ouvrages exécutés sera composé des pièces suivantes :

- Échantillons géologiques des terrains traversés, numérotés, au moins tous les 10 m et plus si changement de nature. En récipients numérotés clairement avec la profondeur, et réalisés en cours de forage
- Coupes géologiques des terrains traversés
- Coupe technique des forages
- Le plan de récolement avec localisation précise des forages, des tranchées et des collecteurs enterrés. Outre les coordonnées relevées dans le système de coordonnées prévu dans la déclaration de l'ouvrage, la localisation des échangeurs, canalisations souterraines réalisées ainsi que de leurs accessoires annexes (collecteurs dans le cas des échangeurs fermés) est conservée et annoté dans le dossier de l'installation sur un plan cadastral ou
- Un fond cartographique au 1/1000.
- **Le cahier des résultats d'essais et contrôles, qui présentera pour chaque sonde :**
 - o **Date et heure avec photo justificative des essais avant/après (delta de temps de 30mn ou 1h minimum selon les essais)**
 - o **Données synthétisées dans un tableau lisible (pression démarrage essai, heure, pression fin essai, heure, photo x2)**
- Le cahier des réglages des organes d'équilibrage
- Le dossier des matériels installés comportant :
 - o La liste des matériels installés et matériaux utilisés : marques et modèles
 - o pour les sondes : **photocopie des étiquettes avec n° de lot**
 - o **quantité de coulis injecté par forage**
 - o le répertoire des fabricants des matériels installés, et leurs coordonnées postales et téléphoniques au jour de la réception,
 - o une copie de la documentation technique (notice d'installation et d'exploitation)
 - o une copie des certificats de conformité, PV d'essais, et clauses de garantie des matériels installés.
 - o le dossier de sous-traitance (le cas échéant) : liste des sous-traitants éventuels de l'entreprise, certificats de mise en route ou de réception de certains fabricants pour leurs matériels.

3 - DESCRIPTION DES OUVRAGES - SURELEVATION

3.1 - FORAGE

La méthode de forage devra être adaptée à la nature géologique des différentes couches de terrain traversées. **Il appartient à l'entreprise de réaliser ses propres recherches sur la nature du sous-sol jusqu'à l'horizon de forage (150 m).**

Il n'est pas prévu la réalisation d'un TRT pour l'opération. Néanmoins, un TRT a été réalisé (à 600m à vol d'oiseau pour le CIRAD), tandis qu'une installation existante (500m à vol d'oiseau) est en fonctionnement depuis 2007. Le rapport du TRT du CIRAD est transmis en annexe.

L'entreprise doit également prendre à sa charge les démarches administratives nécessaires en amont de la réalisation des forages : télédéclaration GMI et DICT.

Les diamètres et les méthodes de forage doivent permettre une cimentation complète de l'espace annulaire sur l'intégralité de la hauteur de l'échangeur. Pour prévenir toute pollution du ou des milieux récepteurs, l'entreprise de forage qualifiée prévoit des dispositifs de traitement, par décantation, neutralisation ou par toute autre méthode appropriée, des déblais de forage, des boues et des eaux extraites du forage pendant le chantier. Les dispositifs de traitement sont adaptés en fonction de la sensibilité des milieux récepteurs.

Pour la réalisation des échangeurs géothermiques fermés, le diamètre du trou nu est d'au minimum 115mm.

La profondeur du forage sera **de 150 m, une tolérance étant autorisée entre 148 et 152 m.**

Tout au long du forage, l'entrepreneur récupère des échantillons géologiques des terrains traversés, au moins tous les 10 m et plus si changement de nature. Il les stocke en récipients numérotés clairement avec la profondeur, la nature du sol. Il les remet au maître d'œuvre.

Le recueil et l'évacuation de la totalité des boues de forage, et la fourniture du bordereau traduisant leur bonne réception en centre de traitement agréé, sont inclus dans la mission.

Après la réalisation du forage, l'entreprise de forage qualifiée communique les coupes géologique et technique de l'échangeur à l'entité responsable du dimensionnement de l'installation afin que les hypothèses au dimensionnement puissent être vérifiées. Elle **réalise le rapport de fin de forage et joint les documents attendus, remplit et signe le procès-verbal de réception** qui seront annexés au dossier de l'installation. **L'entreprise dépose le rapport de fin de forage sur le site du téléservice dédié à l'accomplissement des procédures relatives à la géothermie de minime importance, et en fournit une copie intégrale au BET PLUS DE VERT.**

Pour information, la puissance thermique de la PAC sera de la surélévation :

- 15 kW chaud pour un régime 0/35°C
- pour une puissance max soutirée d'environ 12 kW (voir rapport dimensionnement en annexe)

3.2 - SONDES GEOTHERMIQUES

Le positionnement des sondes est renseigné sur le plan d'implantation joint au rendu PRO/DCE.

Les caractéristiques des sondes géothermiques sont les suivantes :

Marque : HAKA GERODUR, FRANCK, GEOTEC, ou équivalent.

Type : Double-U

Nature des tuyaux : PEHD (densité PE 100)

Diamètre des tuyaux : Diam. DN32 (diamètre externe) indicatif, épaisseur 2,9 mm mini

Pression nominale : PN 16

Longueur : 150 m utile

Écarteurs : 1 par barre de foration

Le tuyau d'injection du coulis de remplissage sera disposé au centre de la sonde, au travers des écarteurs, et sera installé jusqu'au pied de sonde. La sonde géothermique et le tuyau d'injection seront descendus ensemble dans le puits de forage.

En partie basse, les sondes seront munies d'une cunette de décantation.

Les diamètres extérieurs des tubes de la boucle de sonde sont d'au minimum 32 mm. Les diamètres du trou nu et des tubages de sondes sont choisis selon les règles de l'art.

L'échangeur géothermique doit être muni de :

- **un pied de sonde électro-soudé** en atelier,
- **un lest solide** du pied de sonde, facilitant la descente de la sonde dans le puits de forage tout en assurant une tension sur la sonde pendant la pose. Le lest peut être approvisionné chez le fabricant des sondes, ou réalisé à façon. Il ne devra en aucun cas constituer un risque d'endommagement de la tuyauterie : notamment l'installation d'un poids dans l'espace libre entre les 4 tuyaux en PEHD au-dessus du pied de sonde, est proscrit.
- **des écarteurs** permettant de maintenir un entraxe de 85 mm minimum entre les quatre tuyaux. Les écarteurs sont disposés sur toute la profondeur de la sonde géothermique. La pose des écarteurs peut être réalisée au fur et à mesure de la descente de la sonde géothermique dans le puits de forage.
- **un tuyau d'injection du coulis de remplissage**, de diamètre suffisant pour permettre l'injection du matériau : DN25 minimum. Le tuyau d'injection est disposé dans l'espace libre entre les 4 tuyaux en PEHD, au travers des écarteurs, et sera installé jusqu'au pied de sonde. La sonde géothermique et le tuyau d'injection seront descendus ensemble dans le puits de forage.

La descente de la sonde dans le puits de forage sera exécutée à l'aide d'un touret. La sonde sera préalablement remplie afin de faciliter la descente.

En aucun cas la sonde ne doit être poussée dans le puits de 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 puits.

3.3 - REMPLISSAGE DU Puits DE FORAGE

La cimentation de l'échangeur géothermique fermé doit être réalisée **sur toute sa hauteur et aussitôt la sonde géothermique posée et dont l'étanchéité aura été testée (cf. §1.7)**. La cimentation doit permettre les échanges thermiques homogènes par conduction thermique, entre la boucle et le terrain. Les ciments ou les coulis utilisés pour assurer la cimentation de la sonde et l'étanchéité des différents horizons géologiques doivent avoir une **conductivité thermique d'au minimum 2 W/(m.K)**. La mise en place du coulis de comblement doit être réalisée sous pression, sans vide d'air, au moyen d'une pompe d'injection adaptée, par méthode ascendante à l'aide d'un tube plongeur, par injection du coulis de remplissage depuis la base du forage jusqu'à la cote de 0,5 m en-dessous du niveau du terrain naturel, pour faciliter la réalisation de la tranchée de liaison entre les échangeurs et le local technique.

Le puits de forage sera rempli avec un matériau dédié spécifiquement aux applications géothermiques, de type ThermoCemPlus, Thermoclay, Prestobent, FISCHER Geosolid ou équivalent.

Les caractéristiques du matériau sont les suivantes : **Conductivité thermique > 2 W/m.K**

Au-dessus de la cimentation le puits de forage doit être rebouché avec du sable jusqu'à recouvrir totalement la tête de sonde, puis rebouché avec un matériau de remblayage jusqu'à la surface. Ce remblai ne pourra pas avoir lieu avant la fin de tous les essais prévus, notamment mise en pression des sondes.

3.4 - RACCORDEMENT DES SONDES GEOTHERMIQUES AU COLLECTEUR

3.4.1 - LIAISONS HORIZONTALES

Le circuit incluant la sonde géothermique, les raccords et les canalisations jusqu'à l'ensemble collecteur/distributeur, **ne doit comporter aucun point haut**. Ces canalisations devront être **disposées dans la tranchée en respectant une pente minimale de 1 % (sondes en bas)** et seront disposées sur lit de sable de 10 cm minimum, puis recouvertes de sable (10 cm mini au-dessus de la génératrice) avant rebouchage des tranchées.

A l'extérieur de bâtiment, l'ouverture et rebouchage des tranchées seront réalisés par le lot VRD ainsi que la pose des 2 lits de sable de rattrapage éventuel de la pente (respect des 1%) et protection des canalisations.

Le présent lot réceptionnera le lit de sable après vérification de la pente minimale.

Sur les plans en annexe sont représentés approximativement les tranchées.

Le rayon de courbure minimal prescrit par le fabricant de la tuyauterie devra être respecté. Des manchons coudés seront mis en œuvre sinon.

Les canalisations allers et retours doivent être séparées par une distance d'au moins 20 cm. Si nécessaire, aux endroits de plus forte proximité, des isolants thermiques seront interposés entre les allers et les retours, si possible par manchons isolants. Si le plan masse des tranchées est tel que des chevauchements de tuyaux sont nécessaires afin de séparer les canalisations allers et retours, seules les canalisations de retour peuvent chevaucher d'autres canalisations. Une canalisation réalisant un chevauchement doit être disposée de telle sorte qu'elle reprenne progressivement la pente sans créer de point haut.

Le matériau de remblayage doit être exempt de cendres, de déchets, de roches de plus de 100 mm ou tout autre matériau susceptible d'endommager la tuyauterie. Il doit être tenu compte du tassement de la zone excavée.

3.4.2 - MATERIELS DE RACCORDEMENT

Les sondes sont destinées à être raccordées à un ensemble collecteur/distributeur enterré par l'intermédiaire d'éléments, à fournir parmi :

- raccords DN 32 – DN 32 en PEHD électro-soudables
- pièces en Y 2 X DN 32 – 1 X DN 40 installés sur la tête de sonde, permettant de joindre les deux entrées et les deux sorties des tuyauteries en U.
- raccords coudés DN 40 – DN 40 (minimum) en PEHD électro-soudables
- conduites DN 40 (minimum) en PEHD

Afin d'éviter des raccords supplémentaires et donc des risques de fuite supplémentaires, les conduites horizontales, disposées en tranchées, seront de **même diamètre et de longueur suffisante** jusqu'aux collecteurs enterrés, ou en l'absence de ces derniers jusqu'au local technique.

Tous les raccordements effectués sur site doivent être exécutés selon la **technique de l'électro-soudure**. Des raccordements effectués sur **site par thermo-soudure ne sont pas acceptés**.

Tous les manchons électro-soudables utilisés pour les raccordements sont en PEHD.

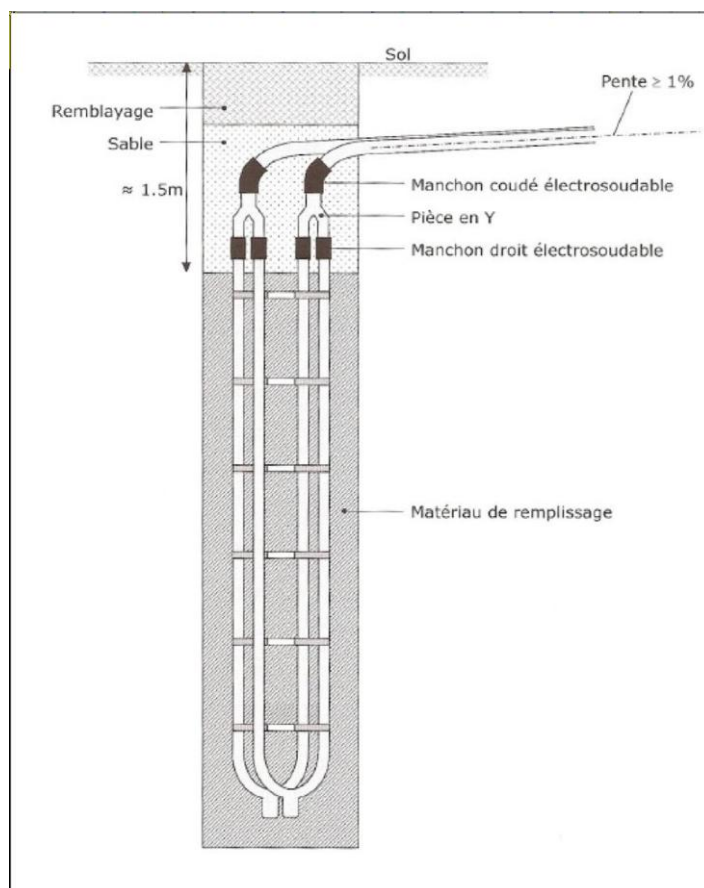
Avant de réaliser la soudure de deux canalisations en PEHD par l'intermédiaire d'un manchon électro-soudable, il est procédé aux opérations suivantes sur chacune des deux canalisations :

- nettoyage de la partie qui sera insérée dans le manchon,
- enlèvement de la couche superficielle de PEHD, à l'aide d'un grattoir.

Le raccordement de la tête de sonde sera particulièrement soigné.

Dans un souci d'avertissement et de signalisation, **un grillage avertisseur (à priori violet) sera disposé au-dessus de chaque sonde et sur le cheminement des liaisons horizontales par le lot VRD** (cf. Plan d'implantation des sondes joint au rendu PRO/DCE).

Un schéma de raccordement de la tête de sonde est proposé sur la figure suivante. Des variantes à ce schéma de raccordement peuvent être proposées par l'Entreprise. Elles devront être approuvées par le Maître d'œuvre avant exécution des travaux.



3.5 - COLLECTEUR

Le présent lot dot la fourniture et la pose d'un **collecteur mural à 4 entrées pour 2 sondes pour la surélévation**, avec organes de réglage et d'isolement.

Le positionnement des collecteurs est renseigné sur le plan d'implantation joint.

L'ensemble collecteur/distributeur enterré doit être composé au minimum de :

- **Un distributeur** en matériau PEHD, de diamètre adéquat, muni des éléments suivants :
 - Une canalisation d'arrivée principale en PEHD (depuis le local technique) munie d'une vanne d'isolement,
 - Un ensemble de canalisations secondaires en PEHD de départ vers les sondes géothermiques, chacune munie d'une vanne de réglage, destinée à l'équilibrage de l'installation (vanne placée sur le départ de chaque circuit individuel),
 - Une vanne de purge d'air placée sur le point haut du distributeur.
- **Un collecteur** en matériau PEHD, de diamètre adéquat, muni des éléments suivants :
 - Une canalisation de départ principale en PEHD (vers le local technique) munie d'une vanne d'isolement,
 - Un ensemble de canalisations secondaires en PEHD de retour des sondes géothermiques, chacune munie d'une vanne d'isolement (vanne placée sur le retour de chaque circuit),
 - Une vanne de purge d'air placée sur le point haut du collecteur.

Les collecteurs doivent être conçus pour les régimes suivants :

Pression de service max : 6 bars

Température maxi : 40°C

Température mini : - 10°C

Les raccordements effectués sur site au niveau des collecteurs, qu'il s'agisse du raccordement des canalisations individuelles vers les sondes géothermiques doivent être exécutés selon la technique de l'électro-soudure, avec du matériel normalisé. **Des raccordements effectués sur site par thermo-soudure ne sont pas acceptés.**

Pour prévoir le passage des 4 tubes de liaison depuis le collecteur, le lot Gros-Œuvre (n°2) aura prévu une réservation (à demander en phase de préparation de chantier par le présent lot) dans la longrine et dans le plancher bas du local technique, selon plan d'implantation.

L'ensemble collecteur/distributeur sera équipé de brides, en attente pour raccordement sur la PAC (prestation à charge du lot CVC).

3.6 - ESSAIS – CONTRÔLES

Avant de réaliser le remplissage du puits de forage, un test en pression sera effectué pour chacune des deux tuyauteries en U constituant la sonde géothermique, selon la **norme NF X10-970**.

L'entreprise de forage qualifiée réalise des contrôles lors :

- **de la réalisation du forage** afin de disposer, pour l'échangeur géothermique, de la coupe géologique, de la coupe technique de l'échangeur géothermique et de la localisation précise de l'ouvrage. Les informations suivantes sont renseignées : le ou les niveaux des nappes rencontrées, les caractéristiques des équipements mis en place, les conditions de réalisation (méthode et matériaux utilisés lors de la foration, volume théorique des cimentations et volume injectés, profondeurs atteintes, zones de pertes rencontrées et résultats des tests de mise en pression des sondes ;
- **de la cimentation** par des opérations de suivi des volumes injectés, d'éventuels essais diagraphiques de vérification de la cimentation ainsi que des essais de caractérisation des coulis ou ciments injectés. L'entreprise de forage qualifiée dresse un procès-verbal de contrôle de la cimentation qui atteste de la profondeur de l'ouvrage, de la qualité et le type de ciment utilisé.

Le titulaire du présent marché aura à sa charge tous les essais nécessaires au fonctionnement nominal des installations.

Un relevé de tous les essais, débits, pressions, etc... sera établi et fourni par le titulaire avant la réception des travaux.

Tous les essais peuvent être différés tant qu'une partie quelconque des fournitures ou de leur mise en œuvre n'est pas acceptée.

Au cas où les essais donneraient des résultats insuffisants, l'entrepreneur devra procéder à la mise en conformité des installations à ses frais, et ce 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. En cours des

travaux, le Maître d'œuvre peut demander des essais et faire des contrôles inopinés. Tous ces travaux d'essais et contrôle ont lieu avant le remblayage des tranchées. L'entreprise prévoira tout le matériel, la fourniture et les prestations nécessaires à la réalisation de ces essais. Ces essais seront consignés sur un procès-verbal qui sera joint au D.O.E.

3.6.1 - TRANSMISSION DES DONNEES ET RECURRENCE

Il est attendu de la part de l'Entrepreneur une transmission hebdomadaire de l'état d'avancement du chantier incluant :

- **Les sondes réalisées**
- **Les quantités de coulis injectées par forage**
- **Les résultats des essais en pression, détaillés aux paragraphes suivants**
- **Les éventuelles difficultés rencontrées d'un point de vue géologique et mesures prises en réponse aux difficultés**

Il est attendu un cahier des essais et réglages précis et ordonné, avec photos justificative. Une trame de cahier de suivi des essais devra être fournie et validée par le Maître d'œuvre.

Plusieurs types d'essais et contrôles sont à distinguer :

3.6.2 - VERIFICATIONS AVANT TRAVAUX

Avant travaux, il est procédé à la vérification :

- de la conformité des matériels fournis : échangeur géothermique, raccords électro-soudables, tuyauterie de raccordement, ensembles collecteur/distributeur, matériau de cimentation,
- de la mise en œuvre du matériel
- de la conformité des installations en fonction des prestations figurant au cahier des charges et selon les modifications éventuelles approuvées en cours de préparation,
- de l'état du matériel.

3.6.3 - VERIFICATIONS EN COURS DE TRAVAUX

Lors de sa demande de réception des installations, il sera demandé à l'Entrepreneur un cahier de résultat de ses essais et contrôles, faute de quoi la réception ne pourrait être acceptée.

Essais de réception de l'échangeur géothermique fermé :

A l'issue de l'installation de l'échangeur, l'entreprise de forage qualifiée réalise les essais ou **épreuves de mise en pression et de perte de charge** selon les règles de l'art afin de contrôler l'étanchéité de la sonde, principalement au niveau des soudures du pied de sonde.

Si le contexte hydrogéologique et la méthode de forage ne permettent pas une bonne tenue des parois du forage les tests de mise en pression seront réalisés après la phase de cimentation.

Lors de sa demande de réception des installations, il sera demandé à l'Entrepreneur un cahier de résultats de ses essais et contrôles, faute de quoi la réception ne pourrait être acceptée.

A l'issue de l'installation de l'échangeur, l'entreprise de forage qualifiée réalise les essais ou épreuves de mise en pression, de perte de charge et de circulation selon le protocole d'essai défini ci-après afin de contrôler l'étanchéité de la sonde, principalement au niveau des soudures du pied de sonde.

Si le contexte hydrogéologique et la méthode de forage ne permettent pas une bonne tenue des parois du forage, les tests de mise en pression seront réalisés après la phase de cimentation.

Les essais d'étanchéité à réaliser sont les suivants :

- Test de pression pour chaque sonde géothermique réalisé en usine, le fournisseur doit transmettre les certificats des tests en pression en usine, à l'Entrepreneur qui les transmettra ensuite à la MOE au démarrage des travaux.

- Test de pression pour chaque sonde géothermique. Ce test, réalisé à 3 bars minimum (durée 30 min minimum), doit être effectué avant le remplissage du puits de forage.

La pression ne doit pas chuter de plus de 1 bar pour que l'essai soit concluant. L'Entreprise de forage effectuera ce test et fournira à la MOE les attestations de cet auto-contrôle.

- Test de pression pour chaque circuit géothermique individuel, comprenant une sonde géothermique, les raccords en Y, la tuyauterie de raccordement jusqu'aux collecteurs enterrés. Chaque circuit est testé à 6 bars (durée 30 min minimum), avant son raccordement sur les collecteurs enterrés.

La pression ne doit pas chuter de plus de 1 bar pour que l'essai soit concluant. L'Entreprise de forage effectuera ce test et fournira à la MOE les attestations de cet auto-contrôle.

- Test de pression pour le circuit complet associé à la paire de collecteurs. Le test porte sur le circuit complet comprenant tous les circuits géothermiques individuels raccordés à un ensemble collecteur/distributeur enterré, les vannes de réglage et d'isolement associées à chaque circuit géothermique individuel, l'ensemble collecteur/distributeur enterré, et la tuyauterie de raccordement entre l'ensemble collecteur/distributeur et le local technique. Ce test est réalisé à 6 bars (durée 30 min minimum). Ce test est réalisé avant le raccordement définitif du circuit en local technique, et avant remblayage des tranchées.

Pour que l'essai soit concluant, la pression ne doit pas chuter de plus de 1 bar. L'Entreprise de forage effectuera ce test et fournira à la MOE les attestations de cet auto-contrôle.

L'essai de perte de charge est obligatoirement réalisé après la mise en place de la sonde, mais de préférence avant la cimentation (en cas de dysfonctionnement, le foreur peut encore retirer la sonde).

Il s'agit de mesurer, à l'aide d'un manomètre différentiel, la perte de charge, c'est-à-dire la différence de pression entre l'entrée et la sortie de sonde pour un débit donné et de la comparer aux abaques théoriques (voir STR-PE ou fabricant de sonde). L'incohérence avec la valeur théorique issue des abaques démontrera l'anomalie.

En parallèle, l'essai de circulation sera réalisé et permettra de vérifier la cohérence avec le résultat de l'essai de perte de charge. Il s'agit de vérifier, à l'aide d'un compteur volumétrique, le débit de chaque boucle de sonde.

Il est réalisé à l'eau claire (eau du réseau).

Les essais à réaliser sont les suivants :

- **essais d'étanchéité en pression** selon la **norme NF X10-970 (avant et après cimentation)**

- **mesure de la perte de charge** selon la **norme NF X10-970**

3.7 - MISE EN SERVICE

3.7.1 - REMPLISSAGE

Pour la réalisation des essais en pression et de circulation, l'ensemble du champ de sondes aura été rempli par de l'eau pure.

Le remplissage définitif est à ce lot : il s'agira de mono-propylène-glycol à 25%. Selon la réglementation, la température du fluide caloporteur qui retourne vers les échangeurs géothermiques fermés doit être comprise entre - 3 °C et + 40 °C. C'est pourquoi **le régime prévisionnel du primaire de la PAC est de 0°/-3°C**.

Le fluide caloporteur contenu dans le circuit primaire de l'échangeur et les éventuels métabolites de sa dégradation ou de sa biodégradation ne doivent avoir aucune répercussion sur l'environnement en cas de fuite. Il doit être biodégradable, de qualité alimentaire. Le fluide caloporteur contenu dans le circuit primaire de l'échangeur ne contient pas de substance réglementée par le règlement CE n° 1005/2009. La composition et le volume du fluide caloporteur doivent être mentionnés dans le rapport de fin de forage.

3.7.2 - EQUILIBRAGE DES CIRCUITS GEOTHERMIQUES

L'équilibrage est obligatoire et important. La procédure et la méthode d'équilibrage sont soumises à l'approbation du Maître d'œuvre. **L'équilibrage est vérifié contradictoirement** avant la visite en vue de la réception des installations. La précision (écart maximal entre le débit souhaité et le débit obtenu) demandée est de 5 %. La position des organes de réglage doit être verrouillée.

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.

Sur la base des schémas hydrauliques de principe, l'entreprise établit les schémas d'équilibrage. Ces schémas indiquent notamment la position, le type, la valeur de réglage, le débit souhaité, le débit obtenu et la perte de charge de chaque organe d'équilibrage.

3.7.3 - DOE

Dans un délai 15 jours maximum suivant la fin des travaux, l'entreprise de forage qualifiée remet à l'exploitant et dépose également, sur le téléservice dédié à l'accomplissement des procédures relatives à la géothermie de minime importance, le rapport de fin des travaux conforme à l'arrêté de 2015.

Le dossier des ouvrages exécutés sera remis en un (1) exemplaire papier (MOA) et un (1) exemplaire numérique après approbation du Maître d'Oeuvre. Le dossier des ouvrages exécutés sera composé des pièces suivantes :

- Échantillons géologiques des terrains traversés, numérotés, au moins tous les 10 m et plus si changement de nature. En récipients numérotés clairement avec la profondeur, et réalisés en cours de forage
- Coupes géologiques des terrains traversés
- Coupe technique des forages
- Le plan de récolement avec localisation précise des forages, des tranchées et des collecteurs enterrés. Outre les coordonnées relevées dans le système de coordonnées prévu dans la déclaration de l'ouvrage, la localisation des échangeurs, canalisations souterraines réalisées ainsi que de leurs accessoires annexes (collecteurs dans le cas des échangeurs fermés) est conservée et annoté dans le dossier de l'installation sur un plan cadastral ou
- Un fond cartographique au 1/1000.
- **Le cahier des résultats d'essais et contrôles, qui présentera pour chaque sonde :**
 - o **Date et heure avec photo justificative des essais avant/après (delta de temps de 30mn ou 1h minimum selon les essais)**
 - o **Données synthétisées dans un tableau lisible (pression démarrage essai, heure, pression fin essai, heure, photo x2)**
- Le cahier des réglages des organes d'équilibrage
- Le dossier des matériels installés comportant :
 - o La liste des matériels installés et matériaux utilisés : marques et modèles
 - o pour les sondes : **photocopie des étiquettes avec n° de lot**
 - o **quantité de coulis injecté par forage**
 - o le répertoire des fabricants des matériels installés, et leurs coordonnées postales et téléphoniques au jour de la réception,
 - o une copie de la documentation technique (notice d'installation et d'exploitation)
 - o une copie des certificats de conformité, PV d'essais, et clauses de garantie des matériels installés.
 - o le dossier de sous-traitance (le cas échéant) : liste des sous-traitants éventuels de l'entreprise, certificats de mise en route ou de réception de certains fabricants pour leurs matériels.

4 - ANNEXES – DIMENSIONNEMENT EXTENSION

DONNEES DU PROJET

=====

TERRAIN

Conductivité thermique du terrain	2	W/(m·K)
Capacité thermique volumique du terrain	2	MJ/(m³·K)
Température moyenne annuelle du terrain en surface	13,9	°C
Flux de chaleur géothermique	0,09	W/m²

FORAGE

Configuration:	5 ("6 : 1 x 6 line")	
Profondeur	150	m
Espacement	10	m
Installation	Double-U	
Diamètre du forage	152	mm
Diamètre tube en U	32	mm
Epaisseur tube en U	3	mm
Conductivité thermique tube en U	0,42	W/(m·K)
Entre-axe tubes	90	mm
Conductivité thermique remplissage	2	W/(m·K)
Résistance de contact tube/remplissage	0	(m·K)/W

RESISTANCES THERMIQUES

Les résistances thermiques de la sonde sont calculées.

Nombre de multipôles 10

Le transfert de chaleur interne entre le fluide montant et descendant est pris en compte.

FLUIDE CALOPORTEUR

Conductivité thermique	0,47	W/(m·K)
Capacité thermique massique	3930	J/(kg·K)
Densité	1033	kg/m³
Viscosité	0,0079	kg/(m·s)
Point de congélation	-10	°C
Débit par sonde	0,42	l/s

DEMANDE DE BASE

Nombre d'années simulées	25
Mois de mise en service	JAN

VALEURS CALCULEES

=====

* Hourly calculation *

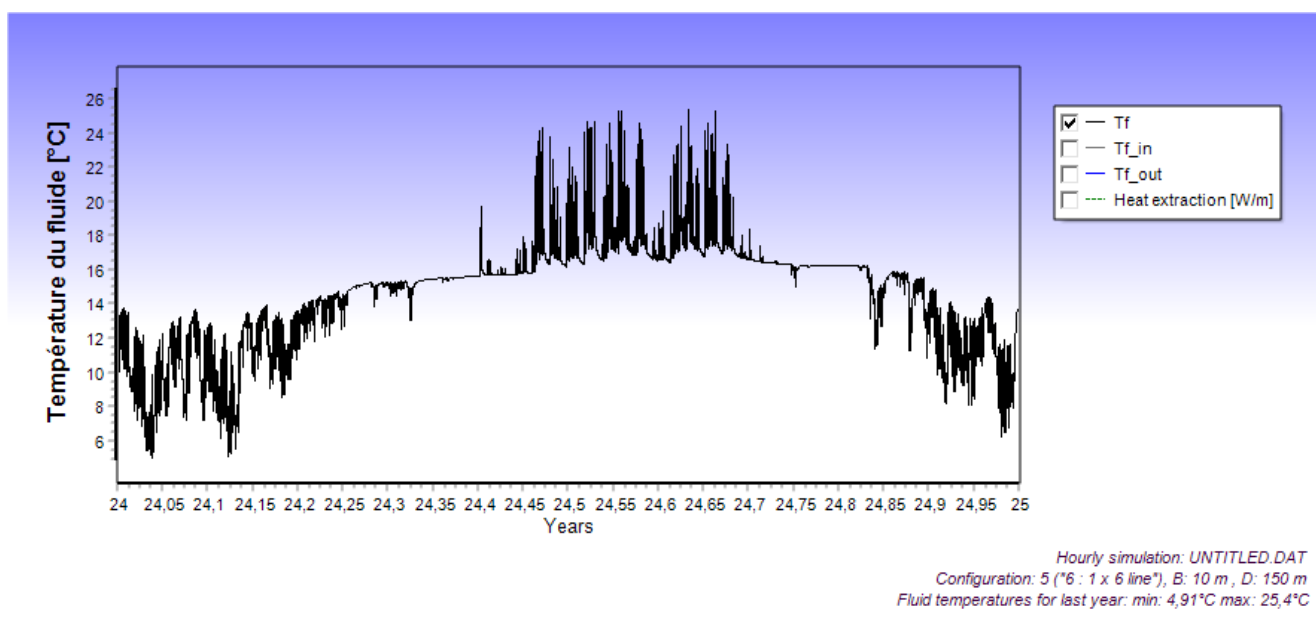
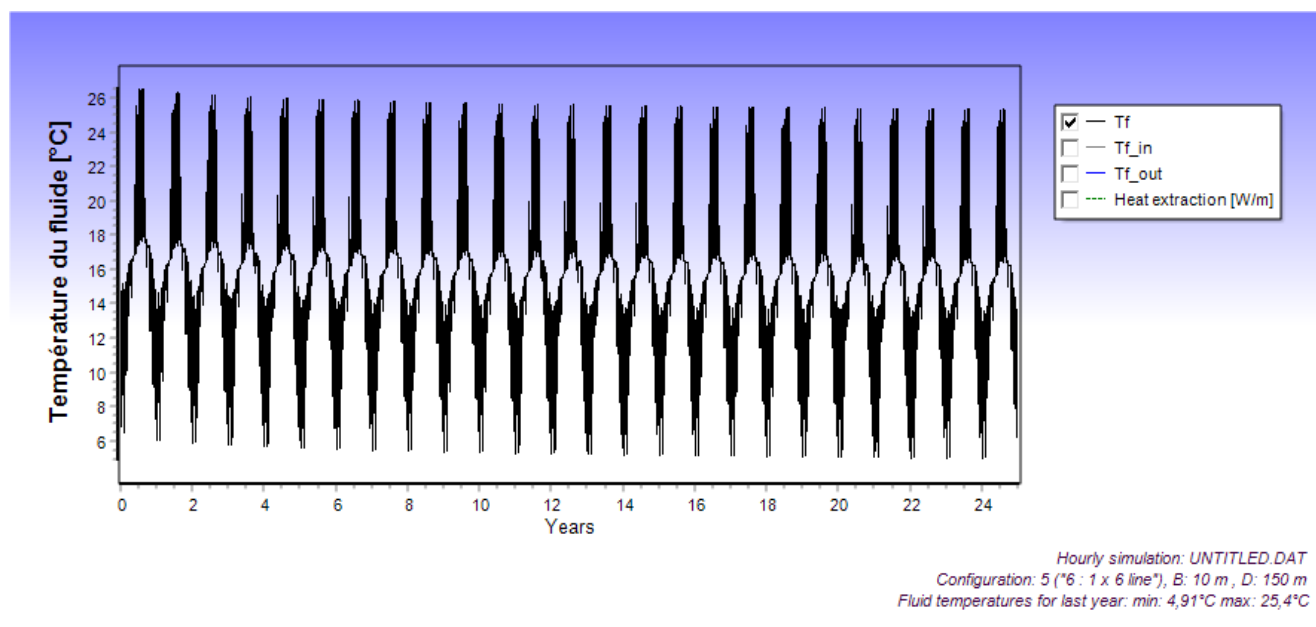
Longueur totale des forages	900	m
-----------------------------	-----	---

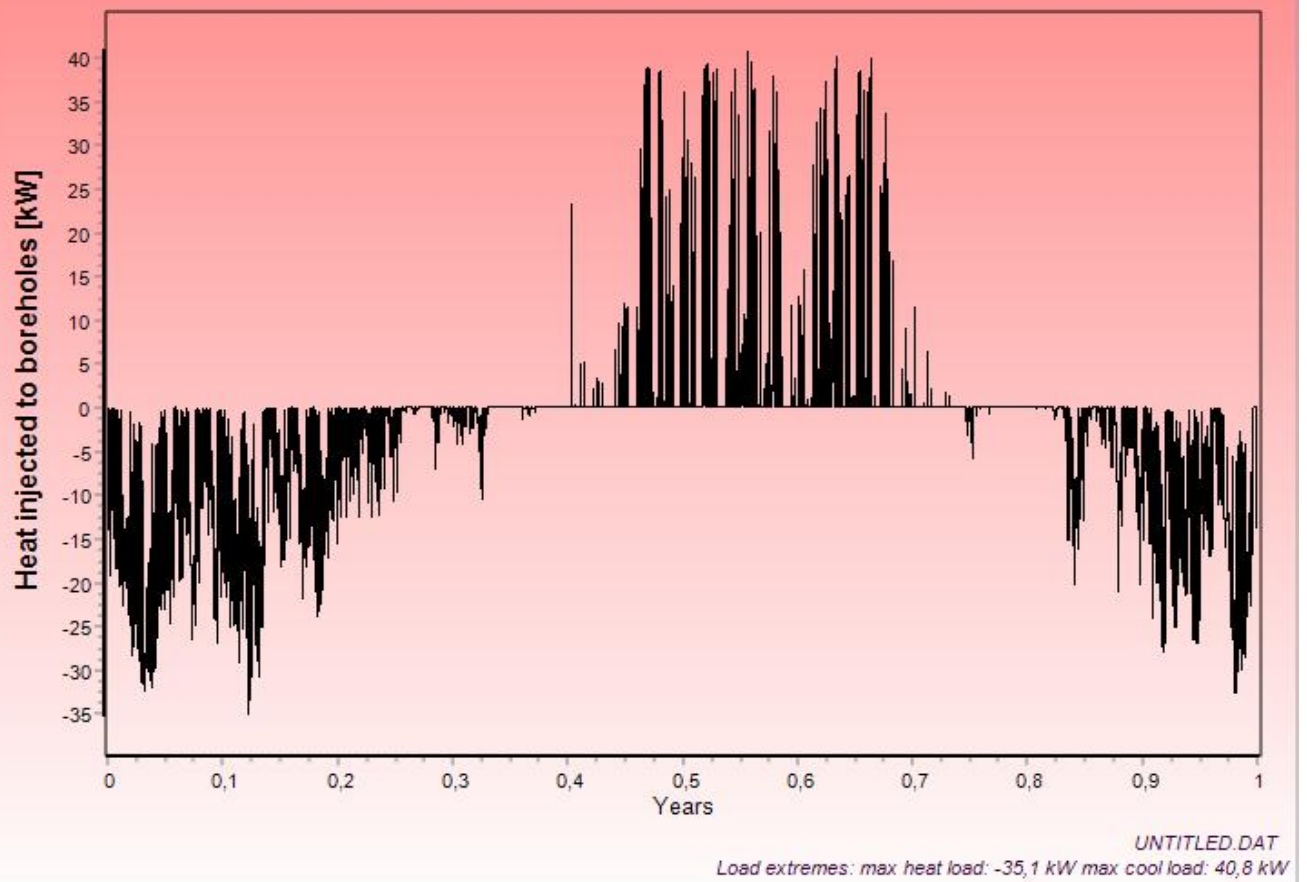
RESISTANCES THERMIQUES

Résistance thermique interne du forage	0,39	(m·K)/W
Nombre de Reynolds	1345	
Résistance thermique fluide/tube	0,1675	(m·K)/W
Résistance thermique du matériel du tube	0,07868	(m·K)/W
Résistance de contact tube/remplissage	0	(m·K)/W
Résistance thermique de la sonde fluide/terrain	0,09963	(m·K)/W
Résistance thermique effective du forage	0,1062	(m·K)/W

MIN/MAX FLUID TEMPERATURES

Year 25	Tf_min	Tf_max
JAN	4,91	13,7
FEV	4,97	13,9
MAR	8,44	14,7
AVR	12,4	15,3
MAI	15,2	19,7
JUN	15,6	24,3
JUL	16,2	25,3
AOU	16,4	25,4
SEP	15,6	23,3
OCT	15	16,2
NOV	9,65	16,1
DEC	6,14	14,4





5 - ANNEXES – DIMENSIONNEMENT SURELEVATION

DONNEES DU PROJET

=====

TERRAIN

Conductivité thermique du terrain	2	W/(m·K)
Capacité thermique volumique du terrain	2	MJ/(m³·K)
Température moyenne annuelle du terrain en surface	13,9	°C
Flux de chaleur géothermique	0,09	W/m²

FORAGE

Configuration:	1 ("2 : 1 x 2 line")	
Profondeur	150	m
Espacement	10	m
Installation	Double-U	
Diamètre du forage	152	mm
Diamètre tube en U	32	mm
Epaisseur tube en U	3	mm
Conductivité thermique tube en U	0,42	W/(m·K)
Entre-axe tubes	86	mm
Conductivité thermique remplissage	2	W/(m·K)
Résistance de contact tube/remplissage	0	(m·K)/W

RESISTANCES THERMIQUES

Les résistances thermiques de la sonde sont calculées.

Nombre de multipôles 10

Le transfert de chaleur interne entre le fluide montant et descendant est pris en compte.

FLUIDE CALOPORTEUR

Conductivité thermique	0,47	W/(m·K)
Capacité thermique massique	3930	J/(Kg·K)
Densité	1033	Kg/m³
Viscosité	0,0079	Kg/(m·s)
Point de congélation	-10	°C
Débit par sonde	0,42	l/s

DEMANDE DE BASE

Nombre d'années simulées	25
Mois de mise en service	JAN

VALEURS CALCULEES

=====

* Hourly calculation *

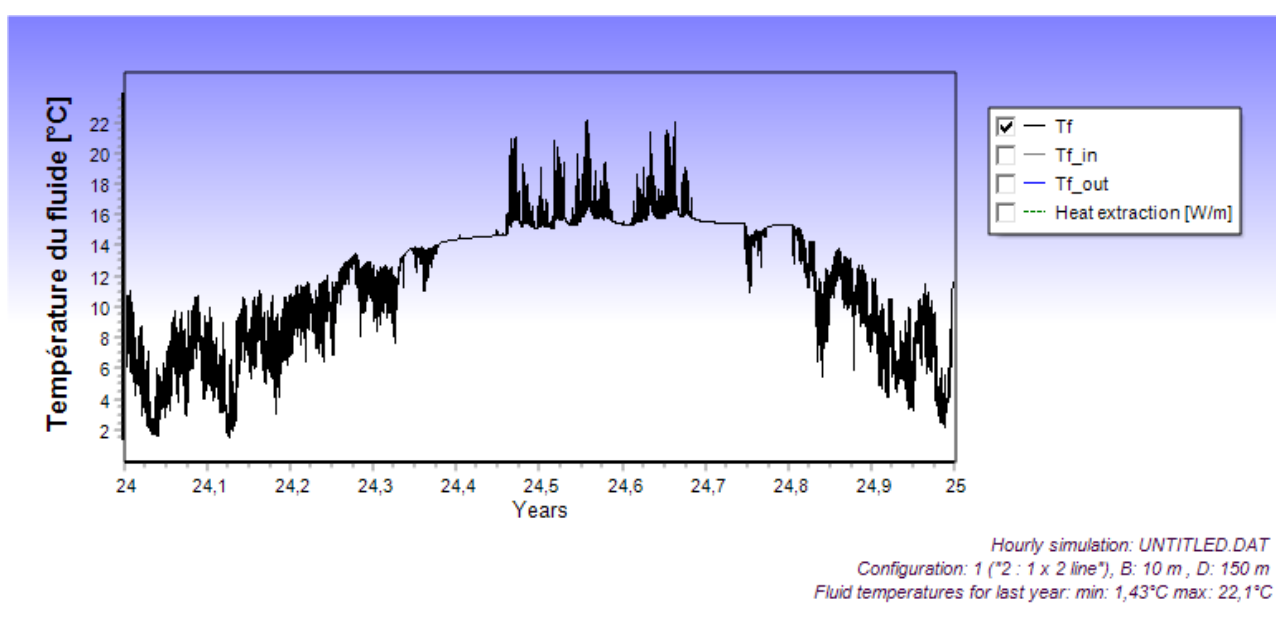
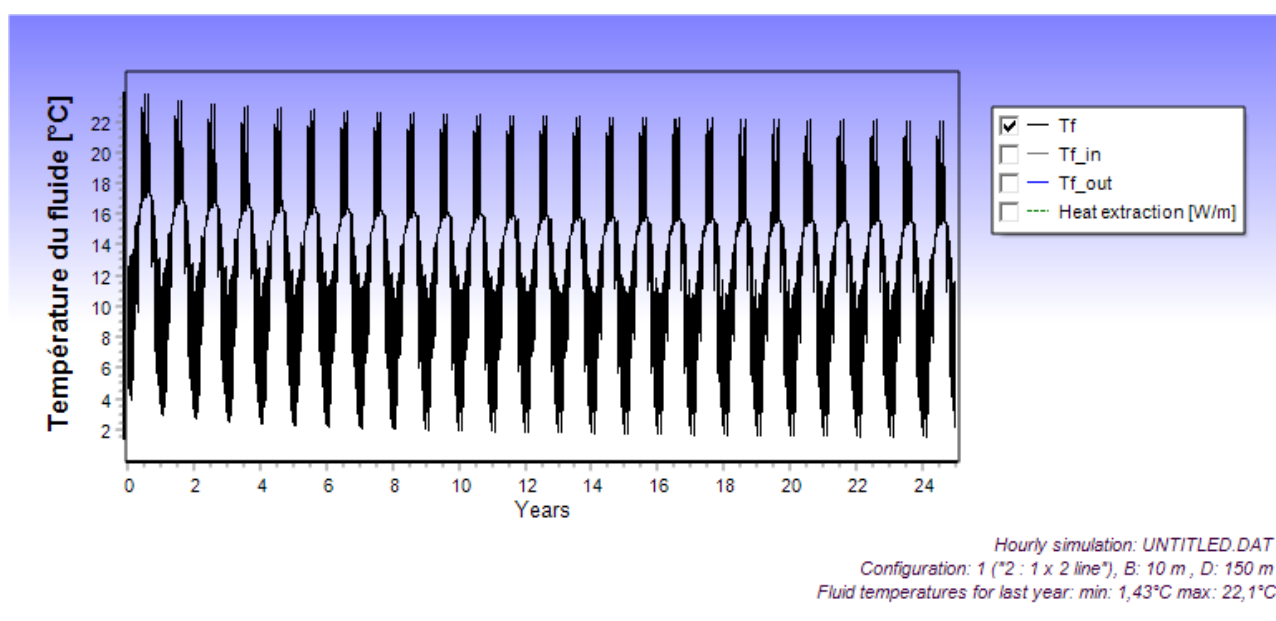
Longueur totale des forages	300	m
-----------------------------	-----	---

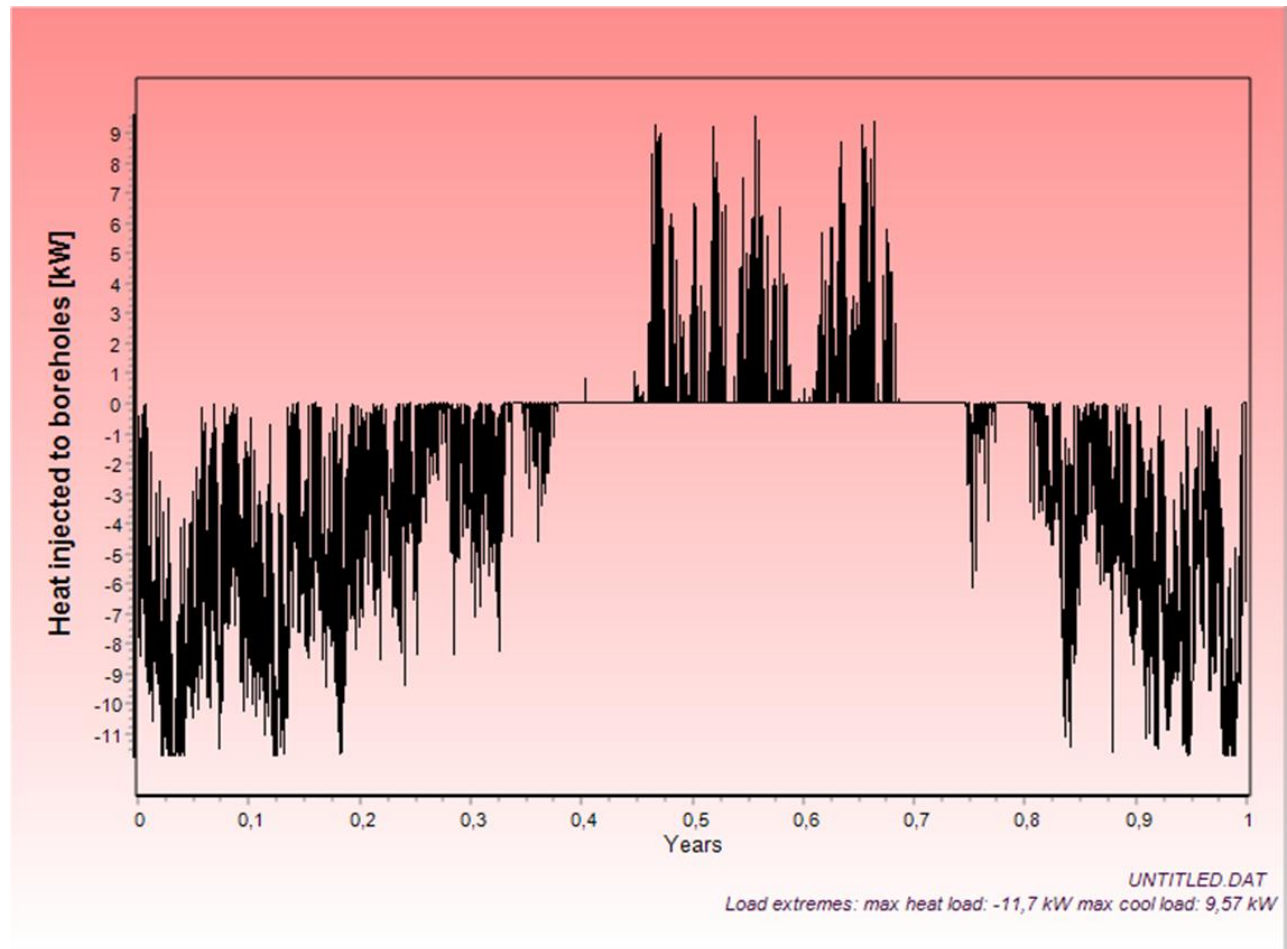
RESISTANCES THERMIQUES

Résistance thermique interne du forage	0,39	(m·K)/W
Nombre de Reynolds	1345	
Résistance thermique fluide/tube	0,1675	(m·K)/W
Résistance thermique du matériel du tube	0,07868	(m·K)/W
Résistance de contact tube/remplissage	0	(m·K)/W
Résistance thermique de la sonde fluide/terrain	0,1027	(m·K)/W
Résistance thermique effective du forage	0,1093	(m·K)/W

MIN/MAX FLUID TEMPERATURES

Year 25	Tf_min	Tf_max
JAN	1,48	11
FEV	1,43	11,1
MAR	2,95	12,1
AVR	6,75	13,4
MAI	10,9	14,7
JUN	14,4	21
JUL	15,1	22
AOU	15,3	22,1
SEP	13,7	19,1
OCT	10,8	15,3
NOV	4,6	13,8
DEC	2,04	11,6





6 - ANNEXES – EXTRAIT RAPPORT DE TRT CIRAD

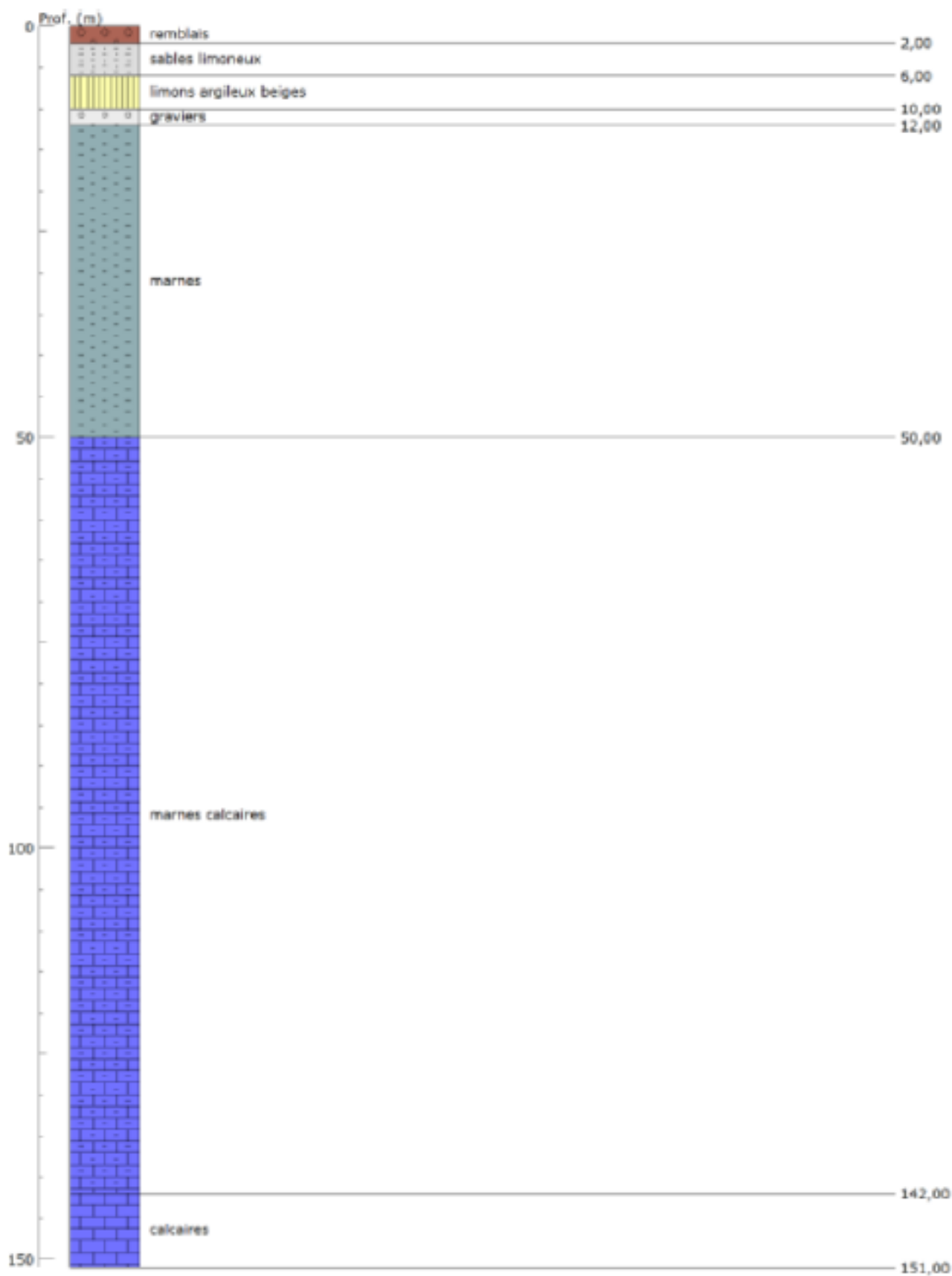


Tableau 9 : Synthèse des résultats du test de réponse thermique

Résultats du test de réponse thermique	
Température initiale du sous-sol T_0	16,76 °C
Conductivité thermique λ du sous-sol	2,131 W/m.K
Chaleur spécifique C_p du sous-sol	2,240 MJ/m ³ .K
Résistance équivalente R_b de la sonde	0,0922 m.K/W