

Sur le procédé

GEOPRO

Famille de produit/Procédé : Fondations profondes thermoactives

Titulaires : **Société ECOME SARL**
Internet : www.ecome.fr

Société Société Géothermie Professionnelle
Internet : www.geothermie-professionnelle.fr

AVANT-PROPOS

Les avis techniques et les documents techniques d'application, désignés ci-après indifféremment par Avis Techniques, sont destinés à mettre à disposition des acteurs de la construction **des éléments d'appréciation sur l'aptitude à l'emploi des produits ou procédés** dont la constitution ou l'emploi ne relève pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Le présent document qui en résulte doit être pris comme tel et n'est donc **pas un document de conformité ou à la réglementation ou à un référentiel d'une « marque de qualité »**. Sa validité est décidée indépendamment de celle des pièces justificatives du dossier technique (en particulier les éventuelles attestations réglementaires).

L'Avis Technique est une démarche volontaire du demandeur, qui ne change en rien la répartition des responsabilités des acteurs de la construction. Indépendamment de l'existence ou non de cet Avis Technique, pour chaque ouvrage, les acteurs doivent fournir ou demander, en fonction de leurs rôles, les justificatifs requis.

L'Avis Technique s'adressant à des acteurs réputés connaître les règles de l'art, il n'a pas vocation à contenir d'autres informations que celles relevant du caractère non traditionnel de la technique. Ainsi, pour les aspects du procédé conformes à des règles de l'art reconnues de mise en œuvre ou de dimensionnement, un renvoi à ces règles suffit.

Groupe Spécialisé n° 3.3 - Structures tridimensionnelles, ouvrages de fondation et d'infrastructure

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V1	<p>Cette version intègre les modifications suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suppression du domaine d'emploi de la possibilité de réaliser des pieux battus et des micropieux ; - Suppression de la possibilité d'une solution de sortie latérale des tubes thermoactifs ; - Mise à jour des références normatives ; - Précisions des conditions de fixation des tubes aux cages d'armatures au §2.4.2.1 ; - Précision des informations d'identification des constituants sur chantier ; - Mise à jour des références chantiers. 	Loïc PAYET	Roseline BERNARDIN-EZRAN

Descripteur :

Les fondations thermoactives profondes visées dans le présent Avis Technique sont des pieux en béton, dans lesquels sont noyés des réseaux de capteurs constitués de tubes en polyéthylène, de raccords, de collecteurs et d'accessoires destinés à l'échange thermique avec le sol. Le transfert de l'énergie thermique entre le sol et le bâtiment se réalise à travers un fluide caloporteur qui circule en boucle fermée, permettant d'éviter les risques de pollution des eaux souterraines.

Les fondations thermoactives sont destinées à être couplées à un système de distribution de chaleur et de froid du bâtiment, par prise directe au moyen d'un échangeur ou d'une batterie afin d'établir un mode de rafraîchissement qualifié de « free-cooling » ou « géocooling », ou par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur.

L'Avis Technique intègre la conception mécanique et hydraulique, ainsi que la mise en œuvre dans les fondations profondes, le raccordement horizontal des boucles au local technique, la pose des collecteurs, la mise en eau et l'équilibrage de l'installation.

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé	5
1.1.	Domaine d'emploi accepté.....	5
1.1.1.	Zone géographique.....	5
1.1.2.	Ouvrages visés	5
1.2.	Appréciation	5
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé	5
1.2.2.	Durabilité	6
1.2.3.	Impacts environnementaux	6
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	6
2.	Dossier Technique.....	7
2.1.	Mode de commercialisation.....	7
2.1.1.	Coordonnées	7
2.1.2.	Identification	7
2.2.	Description.....	7
2.2.1.	Principe.....	7
2.2.2.	Caractéristiques des composants.....	7
2.2.3.	Accessoires.....	8
2.2.4.	Collecteurs principaux	8
2.2.5.	Fluide caloporteur.....	8
2.2.6.	Isolation complémentaire	9
2.3.	Disposition de conception	9
2.3.1.	Etudes préalables	9
2.3.2.	Dimensionnement mécanique	9
2.3.3.	Dimensionnement thermique	10
2.3.4.	Dimensionnement hydraulique	10
2.3.5.	Régulation et risque de condensation.....	10
2.3.6.	Impact des effets thermiques sur le dimensionnement de la structure.....	10
2.3.7.	Déplacements en tête et interaction avec la structure	11
2.3.8.	Contraintes internes du pieu (résistance structurale du pieu)	11
2.3.9.	Mobilisation du sol (résistance géotechnique du pieu)	11
2.3.10.	Eléments à intégrer dans le dimensionnement.....	11
2.3.11.	Coordination entre les intervenants en phase de conception.....	11
2.3.12.	Conditions de conception et de calcul des dalles dans le cas des tubes incorporés.....	11
2.4.	Disposition de mise en œuvre	12
2.4.1.	Généralités	12
2.4.2.	Partie verticale des fondations profondes.....	12
2.4.3.	Sorties des tubes	13
2.4.4.	Recépage	14
2.4.5.	Coulage du béton	14
2.4.6.	Raccords en partie verticale.....	14
2.4.7.	Partie horizontale	15
2.4.8.	Mise en œuvre des collecteurs – Remplissage et équilibrage du procédé.....	16
2.4.9.	Tests et contrôles sur site.....	17
2.4.10.	Réception	17
2.5.	Maintien en service du produit ou procédé.....	17
2.6.	Traitement en fin de vie	17
2.7.	Assistance technique	18

2.8.	Mention des justificatifs	18
2.8.1.	Résultats Expérimentaux.....	18
2.8.2.	Références chantiers.....	19
2.9.	Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre.....	20

1. Avis du Groupe Spécialisé

Le procédé décrit au chapitre II « Dossier Technique » ci-après a été examiné par le Groupe Spécialisé qui a conclu favorablement à son aptitude à l'emploi dans les conditions définies ci-après :

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

Possibilité d'emploi en toute zone de sismicité de France métropolitaine, au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, moyennant le respect des règles de calcul des fondations en vigueur, ainsi que les dispositions constructives définies dans le Dossier Technique.

1.1.2. Ouvrages visés

Fondations destinées à être couplées à des équipements pour contribuer au chauffage et/ou au rafraîchissement dans des bâtiments neufs, des extensions ou le confortement de tout type de bâtiment (bâtiments industriels, logements (collectifs ou individuels), bureaux, ou établissements recevant du public) dont le report des charges nécessite la mise en œuvre de fondations profondes de type pieux béton.

L'exploitation du potentiel énergétique, utilisé au chauffage et/ou au rafraîchissement des bâtiments, dépend de la taille et du type de fondations profondes. Les fondations profondes sont déterminées en fonction de la nature du sol, des conditions statiques du bâtiment et dimensionnées pour assurer la transmission au sol des efforts induits par le bâtiment (compression, traction, flexion), tout en tenant compte de l'effet thermique.

La température du fluide caloporteur est comprise entre 1°C et 30°C.

Le différentiel de température entre l'aller et le retour au sein du circuit est compris entre 3 et 5°C.

Selon leurs caractéristiques et leurs modes de mise en œuvre, tous les types de pieux ne peuvent pas être équipés d'échangeurs sol / eau.

Le tableau ci-dessous indique, en fonction du type de pieux, les possibilités d'utilisation :

Mode de réalisation	Type de pieu	Dimensions	Armé
Pieux forés	Pieux forés simples	0,5 m < B < 1,80 m D < 40 m	X
	Pieux forés boue	0,6 m < B < 1,80 m D < 40 m	X
	Pieux forés tubés	0,5 m < B < 1,80 m D < 40 m	X
	Pieux forés à la tarière creuse	0,4 m < B < 1,00 m	X

Sont exclus du domaine d'emploi par le présent Avis :

- La fixation des tubes PEHD directement sur les aciers longitudinaux (filants) ;
- Les micropieux de tout type au sens de la NF P 94-262 ;
- Les micropieux monobarres ;
- La sortie latérale des tubes dans le fût des pieux ;
- L'utilisation du procédé sur les opérations où la réalisation d'un dallage est prévue (passage dans le corps du dallage ou dans la couche de forme) ;
- La mise en œuvre des revêtements non-désolidarisés sur les planchers portés dans le cas des tubes incorporés dans la dalle ;
- Les équipements qu'il est possible de coupler aux fondations (par exemple pompe à chaleur)
- Les pieux battus.

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. Stabilité et pose en zones sismiques

La stabilité est normalement assurée tant que les règles de calcul traditionnelles sont appliquées (NF P 94-262, Eurocode 7, Eurocode 2, Eurocode 8), en tenant compte des contraintes supplémentaires propres au procédé.

1.2.1.2. Réglementation thermique

Le procédé qui consiste à récupérer de l'énergie dans le sol ou à en restituer ne s'oppose pas aux exigences de la Réglementation Thermique en vigueur pour le chauffage ou le rafraîchissement des locaux.

Une étude de faisabilité préalable (étude du sol, réponse thermique...) et la simulation sur 10 ans de l'évolution de la température de sol permet de préjuger du maintien dans le temps des performances thermiques du procédé.

Le passage des tubes de liaison entre les pieux et les collecteurs, en général sous le bâtiment, doit être pris en compte dans le bilan énergétique.

Les installations sont réalisées conformément aux exigences telles que définies dans les réglementations thermiques en vigueur au moment de la mise en œuvre, relatives « aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants » et "aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments".

1.2.1.3. Prévention des accidents lors de la mise en œuvre ou de l'entretien

Pour le procédé proprement dit, elle est normalement assurée, à condition que la mise en œuvre soit assurée par des techniciens qualifiés et formés par le titulaire en utilisant le matériel préconisé par ce dernier. La mise en œuvre doit être conforme à l'article 2.4.

1.2.1.4. Réglementation environnementale

Le procédé doit respecter les différents codes environnementaux :

- Code minier en fonction de la profondeur des pieux ;
- Code de l'environnement par rapport aux techniques de forage, aux adjuvants incorporés dans le fluide caloporteur et aux distances de protection selon les zones ;
- Décret « géothermie de minime importance ».

1.2.1.5. Aspects sanitaires

Le présent avis est formulé au regard de l'engagement écrit du titulaire de respecter la réglementation, et notamment l'ensemble des obligations réglementaires relatives aux produits pouvant contenir des substances dangereuses, pour leur fabrication, leur intégration dans les ouvrages du domaine d'emploi accepté et l'exploitation de ceux-ci. Le contrôle des informations et déclarations délivrées en application des réglementations en vigueur n'entre pas dans le champ du présent avis. Le titulaire du présent avis conserve l'entière responsabilité de ces informations et déclarations.

1.2.2. Durabilité

1.2.2.1. Fondations

En respectant l'ensemble des prescriptions de mise en œuvre décrites dans le Dossier Technique, la durabilité des fondations réalisées avec ce procédé ne sera pas réduite par rapport aux durées visées par les DTU et la norme NF P 94-262.

1.2.2.2. Tubes et raccords

L'utilisation de tubes et raccords conformes au Dossier Technique, installés selon les recommandations du paragraphe 2.4 du Dossier Technique, permet de préjuger de la bonne tenue dans le temps du procédé.

1.2.2.3. Protection contre les risques de condensation

Les tubes de liaison circulant sous le bâtiment, la mise en place d'une isolation, soit au niveau du plancher, soit au niveau des tubes, permet d'éviter toute condensation au niveau du plancher.

1.2.3. Impacts environnementaux

Le procédé ne dispose pas de Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) vérifiées par tierce partie. Il est rappelé que les DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le Groupe Spécialisé n° 3.3 précise que les caractéristiques mécaniques du sol ne sont pas modifiées par l'utilisation du procédé, sauf dans le cas des sols sensibles aux phénomènes de retrait-gonflement, comme évoqué dans le paragraphe 2.3.2.

2. Dossier Technique

Issu des éléments fournis par le titulaire et des prescriptions du Groupe Spécialisé acceptées par le titulaire

2.1. Mode de commercialisation

2.1.1. Coordonnées

Le procédé est commercialisé par le titulaire.

Titulaires : **Société ECOME Ingénierie**
 10 Rue du Commandant Rivière
 FR-75008 Paris
 Tél. : (33) 09 81 71 06 02
 Fax : (33) 01 47 72 06 02
 E-mail : contact@ecome.fr
 Internet : www.ecome.fr

Société Géothermie Professionnelle
 10 Rue du Commandant Rivière
 FR-75008 Paris
 Tél. : (33) 09 81 71 06 02
 Fax : (33) 01 47 72 06 02
 E-mail : contact@geothermie-professionnelle.fr
 Internet : www.geothermie-professionnelle.fr

2.1.2. Identification

Les échangeurs sol/eau et les réseaux sont identifiés individuellement lors des différentes phases de réalisation. Cette identification est réalisée par feutre indélébile en cours de travaux afin d'éviter les arrachements des étiquettes, et par étiquettes positionnée sur chaque réseau et chaque collecteur (si supérieur à un collecteur).

2.2. Description

2.2.1. Principe

Le système consiste à établir un échange thermique avec le sol au moyen des structures de fondations des bâtiments en contact avec le sol, afin de capter ou d'injecter de l'énergie dans le sol.

Les pieux, du fait de leur profondeur, permettent d'activer une grande surface de sol pour l'échange thermique. Dès leur construction, les fondations sont équipées, partiellement ou dans leur totalité, de tubes échangeurs de chaleur qui permettent le transfert de l'énergie thermique avec le sol à travers un fluide caloporteur qui circule en boucle fermée, évitant ainsi les risques de pollution des eaux souterraines.

Les échanges avec le sol sont principalement réalisés dans l'objectif de chauffer ou rafraîchir des bâtiments (industriels, logements, bureaux et maisons individuelles). Ces systèmes peuvent être couplés à une pompe à chaleur (principe de la géothermie très basse température) ou être utilisés en échange direct pour le rafraîchissement par « geocooling » encore dénommé « free-cooling ».

2.2.2. Caractéristiques des composants

Le système se compose de trois parties principales (voir figure 1 du Dossier Technique) :

- La partie verticale : Echangeur sol / eau, constitué des fondations profondes (pieux en béton armé) et des tubes polymères fixés à l'armature ou introduits dans les fondations ;
- La partie horizontale : Liaisons entre la partie verticale et les collecteurs principaux ;
- Les collecteurs principaux : Collecteurs aller et retour sur lesquels sont connectées les liaisons horizontales.

Un aller/retour collecteur – fondations(s) énergétique(s) constitue une boucle. Une boucle peut contenir une ou plusieurs fondations énergétiques disposées en série. Toutes les boucles du système sont reliées en parallèle aux collecteurs principaux.

Les éléments constitutifs sont décrits ci-après.

2.2.2.1. Tubes

Les tubes de circulation du fluide caloporteur sont de type :

- PEHD 80 ou PEHD 100 (Polyéthylène Haute Densité) pour systèmes de canalisations en plastiques pour l'alimentation en eau, conformes à norme NF EN 12201-2 ;
- PE-X (Polyéthylène réticulé) conformes à la norme NF EN 15875-2.

Ils peuvent accepter une pression d'usage minimale de 10 bars pendant 50 ans pour de l'eau froide à 20°C selon la norme ISO 10508+A1.

Seuls les tubes certifiés NF ou ayant un Avis Technique avec certification QB sont utilisables.

2.2.2.2. Raccords

Les raccords doivent être compatibles avec les tubes utilisés en fonction de leur catégorie et famille de classification :

- Conformes à la norme NF EN 12201-3 pour les tubes PEHD 100 et PEHD 80 ;

- Conformes à la norme NF ISO 15875-3 pour les tubes PE-X.

Ils doivent par ailleurs bénéficier d'un Avis Technique.

Seuls les raccords certifiés NF ou ayant un Avis Technique avec certification QB sont utilisables.

2.2.2.3. Raccords électrosoudables (tubes PEHD exclusivement)

Les jonctions entre les différentes parties du système sont réalisées par des raccords électrosoudables en manchons ou en coude en polyéthylène (suivant la norme NF EN 12201-3 - Systèmes de canalisations en plastique pour l'alimentation en eau, Polyéthylène (PE), Partie 3 : Raccords).

Les raccords électrosoudables sont exclusivement compatibles avec les tubes PEHD.

Après positionnement des pièces à raccorder, les bornes de soudage permettent le raccordement de cette résistance à une source d'énergie. La dissipation, par effet Joule, de la puissance électrique provoque une fusion de surface des deux pièces à assembler qui permet d'assurer la cohésion et l'étanchéité parfaite du système.

2.2.2.4. Raccords mécaniques à sertir

Les jonctions entre les différentes parties du système peuvent être également réalisées par des raccords mécaniques à sertir.

En ce qui concerne les possibilités d'encastrement des assemblages ceux-ci peuvent être utilisés uniquement **sous condition de la preuve du caractère « indémontable » des raccords et leur assimilation à un raccord soudé ou collé.**

Conformément au chapitre 5.1.4.2 du cahier du CSTB N°2808-V2 relatif aux prescriptions communes de mise en œuvre des systèmes de canalisations à base de tubes en matériaux de synthèse : tubes semi-rigides en couronnes des cahiers, les raccords « indémontables » sont définis comme ne pouvant être dissociés du tube que par coupure du tube.

2.2.3. Accessoires

Les accessoires précisés ci-après doivent être compatibles avec les tubes utilisés en fonction de leur catégorie et famille de classification.

2.2.3.1. Agrafes de fixation

Les agrafes de fixation sont utilisées pour la fixation et la solidarisation des tubes :

- à l'armature du pieu lors de la réalisation de la partie verticale,
- au ferrailage lors de la réalisation de la partie horizontale.

Leur rôle est principalement de maintenir les tubes en position en attente du bétonnage. Par conséquent, elles n'ont pas de rôle structurel et différents types de fixations sont possibles. Elles doivent être en fer. La facilité de mise en œuvre et l'ergonomie des outils de mise en œuvre sont privilégiés.

2.2.3.2. Treillis soudé horizontal

Un treillis soudé est utilisé pour la réalisation de la partie horizontale. Ce treillis soudé, qui n'a aucune fonction structurelle, permet :

- De faciliter la mise en œuvre en solidarissant les tubes au treillis ;
- D'assurer une certaine protection du tube en le détachant du sol et éviter qu'il ne repose directement sur des éléments pouvant l'endommager (éléments saillants d'empierrement, de graviers...), Il est disposé le long du cheminement des tubes entre les pieux thermoactifs et les collecteurs principaux. Les tubes y sont fixés par agrafes de fixation à raison d'une agrafe tous les deux mètres environ.

2.2.3.3. Supports de fixation sous dalle

Les tubes assurant les liaisons horizontales sont solidarisés à la dalle au moyen d'éléments de fixation en forme de cintre repris dans le ferrailage de la dalle.

Ces éléments, en matériaux résistants à la corrosion, sont disposés tous les deux mètres environ. Leurs dimensions sont adaptées en fonction de la hauteur nécessaire pour atteindre le ferrailage de la dalle et en fonction du nombre de tubes à supporter sur la partie horizontale concernée.

2.2.4. Collecteurs principaux

Les collecteurs doivent être compatibles avec les tubes utilisés en fonction de leur catégorie, famille de classification.

Les boucles du système sont reliées en parallèle aux collecteurs principaux.

Chaque collecteur est pourvu d'orifices destinés à recevoir les tubes. Ceux-ci sont fixés aux collecteurs par raccords mécaniques.

La longueur des collecteurs dépend du nombre de boucles du système.

Sur le collecteur « aller », chaque départ est équipé d'une vanne de régulation et chaque départ du collecteur « retour » est équipé d'un débitmètre permettant de contrôler le débit et le fonctionnement de chaque boucle du système.

Des vannes d'arrêt installées sur chaque aller-retour permettent d'isoler une boucle pour les opérations de remplissage ou de maintenance.

Chaque collecteur est équipé d'une purge et d'une vidange.

2.2.5. Fluide caloporteur

Le fluide caloporteur utilisé est de l'eau ou de l'eau additionnée d'un fluide antigel.

La température du fluide caloporteur est comprise entre 1°C et 30°C. Le pieu ne doit pas descendre en température négative pour ne pas provoquer de phénomène de gel. Par conséquent, l'emploi d'antigel n'est à priori pas nécessaire.

Cependant, en fonction du dispositif auquel sont raccordées les boucles un ajout de fluide antigel pourra être, le cas échéant, réalisé (givrage sur un évaporateur de PAC par exemple). En tout état de cause, aucun ajout ne doit être effectué pour des températures minimales de départ en sortie de pompe à chaleur supérieures ou égales à 3°C.

Le fluide antigel doit être compatible avec l'ensemble des matériaux constitutifs de l'installation afin d'éviter les problèmes de dégradation. Il est nécessaire de s'assurer auprès du fabricant d'antigel ou d'additifs qu'il n'y a pas d'incompatibilité de son produit avec les matériaux des tubes employés.

La norme ISO/TR 10358:1993 relative à la résistance chimique des tubes indique la compatibilité des tubes en PEHD 80, PEHD 100 et PE-X à l'éthylène glycol jusqu'à des températures de 60°C. Le fluide utilisé est un glycol ou dérivé.

Pour des raisons environnementales, l'utilisation de monopropylène glycol sera privilégiée. Le monopropylène glycol, dérivé de l'éthylène glycol, est compatible avec les tubes utilisés pour l'application.

2.2.6. Isolation complémentaire

2.2.6.1. Condensation éventuelle

Du fait des exigences de la Réglementation Thermique, les dalles de bâtiments en contact avec le sol sont isolées. Ainsi, l'ajout d'une isolation complémentaire n'est pas nécessaire.

Cependant, cette isolation complémentaire est nécessaire lorsque les liaisons horizontales sont réalisées sous des dalles non nécessairement isolées donnant sur des sous-sols (parkings) afin d'éviter les risques de glissement pour les usagers et/ou les voitures.

Un isolant de type polystyrène ou équivalent (conductivité thermique $\lambda < 0,04 \text{ W/(m.K)}$) d'une épaisseur de 5 cm est alors disposé entre les tubes et la dalle, dans les points de convergence des tubes.

Les phénomènes de condensation peuvent avoir lieu lorsque la température de surface de la dalle est inférieure à la température ambiante du sous-sol du fait de l'influence des tubes thermoactifs et dans des conditions ambiantes avec des taux d'humidité élevés.

L'influence d'un tube thermoactif seul sur le terrain sous dalle reste faible. Les phénomènes de condensation risquent d'apparaître lorsque la densité du nombre de tubes de liaisons devient importante, notamment à l'approche du passage de dalle vers le local technique et les collecteurs principaux.

La mise en œuvre de l'isolation complémentaire est limitée à ces zones de convergence des tubes.

2.2.6.2. Déperditions du bâtiment

La réalisation de la partie horizontale du système peut entraîner une diminution locale de la température du terrain en sous face de dalle à l'origine d'une augmentation des déperditions du bâtiment par le sol.

Cette augmentation est inférieure à 1%, ce qui est négligeable, en tenant compte des facteurs suivants :

- La température du terrain influencé en hiver est plus élevée que la température du fluide ;
- La diminution de la température du terrain n'est effective qu'à proximité des tubes des liaisons horizontales ;
- La surface occupée par les tubes des liaisons horizontales ne représente généralement pas plus de 20% de la surface totale de la dalle.

Par ailleurs les isolations de dalles imposées par la réglementation thermique actuelle et future permettent une forte limitation des déperditions des bâtiments par le sol et de l'impact des fondations thermoactives sur le bilan thermique global.

2.3. Disposition de conception

2.3.1. Etudes préalables

2.3.1.1. Pré-Etude géologique et thermique

Une pré-étude géologique et thermique est nécessaire, en général validée par un test de réponse thermique, afin de valider la quantité d'énergie prélevable.

2.3.1.2. Etude de sol

Une étude de faisabilité concernant la nature du terrain et sa réponse thermique doit être entreprise avant tout dimensionnement du procédé.

Cette étude de reconnaissance géotechnique doit être réalisée suivant l'annexe M de la NF P 94-262 afin de permettre le dimensionnement des fondations.

Le dimensionnement mécanique des fondations doit être réalisé dans le cadre de l'enchaînement des missions géotechniques suivant NF P 94-500 par le bureau d'études de l'entreprise de fondations suivant les règles de calcul en vigueur, en intégrant les sollicitations supplémentaires propres aux caractéristiques du système dues aux variations de température dans le béton, fournies par le titulaire du procédé.

Cette étude peut être réalisée par ECOME Ingénierie ou par un bureau d'études. Dans tous les cas, ECOME ingénierie doit valider cette étude pour réaliser le dimensionnement du procédé GEOPRO.

2.3.2. Dimensionnement mécanique

Le dimensionnement structurel des fondations doit impérativement s'appuyer sur une étude géotechnique qui décrit le type de sol, la nature et l'épaisseur des différentes couches.

Le système de fondation doit reprendre en premier lieu les efforts dus à la descente des charges du bâtiment en tenant compte des actions permanentes et variables. Les sollicitations supplémentaires propres aux caractéristiques du système sont les variations de température dans le béton, qui entraînent une dilatation/rétractation gênée du béton. Le bridage occasionné par le frottement sol/pieu induit un effort axial dans les fondations profondes. Cet effort est une traction lorsque les fondations sont refroidies et une compression lorsque les fondations sont chauffées.

Les effets thermiques sont à considérer comme des charges permanentes pour le calcul des déplacements et rotations. Pour la vérification structurale les coefficients ψ spécifiés au paragraphe 2.3.8 doivent être considérés.

Le dimensionnement structurel définitif des fondations doit comprendre les étapes suivantes :

- Déplacements et rotations en tête des fondations sous charges permanentes, variables et dues aux effets thermiques inférieurs aux valeurs admises dans l'Eurocode 2 et l'Annexe N de la norme NF P 94-262 (Norme d'application nationale de l'Eurocode 7) ;
- Vérification des contraintes internes des pieux (résistance structurale des fondations) en tenant compte des effets thermiques ;
- Vérification de la résistance géotechnique des fondations (frottement latéral et terme de pointe) en tenant compte des effets thermiques.

La vérification des déplacements et rotations en tête de fondations doit se faire pour l'ensemble des fondations reliées par des éléments structuraux (longrines, planchers, murs, etc...), dans les configurations suivantes :

- Fondation équipée / fondation non-équipée ;
- Deux fondations équipées, dans l'hypothèse où une des fondations n'est pas opérationnelle.

Dans le cas où les valeurs admissibles sont dépassées, une des solutions suivantes doit être appliquée, le cas échéant :

- Modification de la conception d'ensemble et non-équipement de la fondation en question ;
- Fondations équipées et connectées sur la même boucle hydraulique, de sorte que la neutralisation d'une fondation équipée entraîne la neutralisation de la fondation adjacente.

L'éventuel frottement négatif, en fonction des caractéristiques du sol en place, n'est pas affecté par l'utilisation du procédé GEOPRO, la valeur utilisée doit être celle déduite de l'étude de sol géotechnique.

En cas de présence en surface des sols sensibles aux phénomènes de retrait-gonflement, le frottement est considéré comme nul sur une hauteur à déterminer par le géotechnicien en fonction de la nature du sol et de sa sensibilité aux changements de température.

La contrainte du béton des pieux doit être estimée en négligeant la surface des pieux occupée par les tubes et par les éléments de protection des tubes quand ceux-ci descendent dans la zone résistante des pieux.

Les boucles des extrémités des tubes doivent être éloignées d'au moins 2 fois le diamètre du pieu des zones critiques :

- Zone de moment maximum ;
- Zone d'effort normal maximum ;
- Interface entre deux couches de sol présentant des rigidités au cisaillement sensiblement différentes (rapport des modules de cisaillement supérieur à 6, voir zones de rotule plastique potentielle définies dans la norme NF EN 1998-1).

Les pieux doivent être armés au minima suivant les prescriptions de la NF P 94-262 et en respectant les dispositions constructives des normes NF EN 1536, NF EN 14199 et NF EN 12699.

2.3.3. Dimensionnement thermique

Les recommandations de dimensionnement thermique du guide CFMS/SYNTec INGENIERIE/SOFFONS-FNTP « Recommandations pour la conception, le dimensionnement et la mise en œuvre des géostructures thermiques » de janvier 2017, sont à respecter avec notamment :

- Il ne doit pas être liaisonné plus de cinq pieux en série, afin d'éviter des impacts trop importants dans le cas de défaut sur un pieu. Les différents circuits doivent pouvoir être isolés de façon manuelle par une vanne, dans l'hypothèse d'un dommage sur un tube ;
- Il doit être laissé une marge au minimum de 5% sur le nombre de pieux équipés afin d'obtenir la fourniture des besoins thermiques, même en cas de défauts sur les tubes.

2.3.3.1. Procédé GEOPRO

En fonction des éléments transmis par la maîtrise d'œuvre (caractéristiques des fondations, mode constructif de la dalle,...) ECOME Ingénierie définit les longueurs de tubes et le mode opératoire de mise en œuvre pour réaliser le captage énergétique dans le cadre du procédé GEOPRO.

2.3.3.2. Extension GEOPRO-THERM

Le dimensionnement thermique de l'installation s'appuie sur les besoins thermiques du bâtiment transmis par la maîtrise d'œuvre. Il fait l'objet d'une simulation numérique dont le but est de déterminer la production énergétique du système envisagé. Ce dimensionnement thermique fait l'objet de l'extension GEOPROTHERM. Il est réalisé par ECOME ingénierie.

2.3.4. Dimensionnement hydraulique

Le dimensionnement hydraulique du système GEOPRO est réalisé par ECOME ingénierie et permet de fixer le débit de circulation de fluide et de déterminer les pertes de charges totales du réseau. Les éléments fournis sous forme d'une note de calcul permettent de déterminer les caractéristiques des pompes de circulation, vase d'expansion et autres organes (vase d'introduction de glycol, purgeurs, vannes...) à la charge du titulaire du lot CVC. Le dimensionnement hydraulique doit tenir compte des caractéristiques du fluide (eau, mélange eau/antigel) utilisé dans le réseau (viscosité dynamique, masse volumique, point de congélation).

2.3.5. Régulation et risque de condensation

Les équipements de régulation à la charge du titulaire des lots techniques CVC ou Electricité devront permettre de maintenir le système dans ses limites de fonctionnement en termes de température (supérieure à 1°C et inférieure à 30°C) et de débit de fluide.

2.3.6. Impact des effets thermiques sur le dimensionnement de la structure

Compte-tenu du fait que les variations de température ne peuvent pas être considérées directement comme des actions, il convient de réaliser un calcul spécifique pour chaque pieu. Le calcul prend en compte les charges permanentes s'appliquant sur le pieu thermoactif puis intègre les variations de température. Les effets des variations de température sont appréhendés en estimant le déplacement du pieu. Ce calcul est effectué selon des hypothèses classiques basées notamment sur les modèles de Frank et Zhao. Le calcul réalisé avec des logiciels spécifiques effectué en deux phases :

- Phase 1 : le chargement mécanique constitué des actions permanentes est considéré ;
- Phase 2 : l'action thermique est prise en compte en injectant une quantité de déformation axiale correspondant à la variation de température considérée et au coefficient de dilatation thermique du béton.

Pour les deux phases les résultats à examiner sont les suivants :

- Le déplacement en tête de pieu à la fin de la phase 2 ;
- La répartition avec la profondeur de l'effort normal ou des contraintes normales de traction ou de compression dans le pieu d'origine thermique. Ces efforts ou ces contraintes sont cumulés aux autres types d'actions – Cette vérification est relative au comportement structurel du pieu thermoactif ;
- L'action géotechnique complémentaire d'origine thermique à considérer et se cumulant avec les autres actions pour la justification du pieu vis-à-vis de la portance. L'action géothermique provient uniquement de la variation de frottement axial ou de pression sous la base du pieu. C'est l'utilisation de lois de réaction du type Frank et Zhao qui permet le calcul de la valeur de cette action – Cette vérification est relative au comportement géotechnique du pieu thermoactif.

2.3.7. Déplacements en tête et interaction avec la structure

Une étude détaillée sera réalisée pour chaque pieu prévu équipé. Le tassement différentiel avec les pieux situés à proximité sera étudié, en considérant le cas prévu (pieu équipé ou non), et en considérant le défaut de fonctionnement de l'un quelconque des pieux prévus équipés.

Dans le cas où le calcul intégrant l'effet combiné des effets thermiques et mécaniques met en évidence un tassement différentiel ou angle de rotation supérieur à la limite autorisée par les normes en vigueur, l'ensemble des pieux concernés seront rendus solidaires dans leur déplacement thermique afin de neutraliser l'effet thermique différentiel éventuel, deux solutions sont possibles :

- Le pieu considéré ne sera pas équipé thermiquement ;
- L'ensemble des pieux considérés seront connectés sur la même boucle hydraulique, de sorte que la neutralisation d'un pieu entraînera de fait la neutralisation du pieu adjacent.

Ainsi, l'effet thermique différentiel est neutralisé par l'homogénéisation du comportement des pieux considérés.

Le contrôle est réalisé en intégrant l'effet combiné des effets thermiques et mécaniques. Les effets thermiques sont assimilés à une charge permanente pour ce calcul.

2.3.8. Contraintes internes du pieu (résistance structurale du pieu)

L'action géothermique, en ce qui concerne les vérifications des comportements structurels et géotechniques du pieu énergétique, doit être intégrée aux différentes combinaisons d'actions définies par les Eurocodes. Les valeurs des facteurs ψ sont les suivantes :

- Coefficient définissant la valeur de combinaison d'une action variable : $\psi_0 = 0,6$;
- Coefficient définissant la valeur fréquente d'une action variable : $\psi_1 = 0,5$;
- Coefficient définissant la valeur quasi-permanente d'une action variable : $\psi_2 = 0,2$.

Les efforts thermiques complémentaires doivent être cumulés aux autres actions pour les différents cas de charge avec les valeurs des facteurs ψ définies précédemment. Le résultat doit être ensuite comparé aux valeurs limites de portance définies par les normes en vigueur (NF DTU 13.2, NF P 94 262).

Ces efforts complémentaires sont définis par la contrainte normale, maximale et/ou minimale, en toute section du pieu.

2.3.9. Mobilisation du sol (résistance géotechnique du pieu)

Les efforts complémentaires en termes de résistances géotechniques sont déterminés en sommant la part de frottement latéral et la part de pointe mobilisée par l'échauffement ou le refroidissement du pieu à partir des résultats fournis par les logiciels internes dédiés.

2.3.10. Eléments à intégrer dans le dimensionnement

Le dimensionnement des fondations est réalisé par le bureau d'étude de l'entreprise de fondations suivant les règles de calcul en vigueur, dans le cadre de l'enchaînement des missions géotechniques. Pour chaque pieu, les charges maximales de mobilisation du sol et d'effort de traction ou de compression dans le pieu seront retenues et transmises aux bureaux d'études et fabricants de pieux concernés par le titulaire du procédé. Ceux-ci les considéreront comme des charges variables qu'ils devront intégrer dans leurs dimensionnements aux états limites géotechniques et structurels en appliquant les coefficients ψ_0 , ψ_1 , ψ_2 définis précédemment.

2.3.11. Coordination entre les intervenants en phase de conception

Les échanges entre les différents intervenants en phase de conception sont détaillés sur la figure 2 (en annexe) :

- Le BET Structures dimensionne initialement les fondations en l'absence des chargements liés aux effets thermiques ;
- Le BET thermique fournit à ECOME les besoins énergétiques du bâtiment ;
- ECOME réalise en lien avec le BET thermique le dimensionnement thermique des fondations thermoactives GEOPRO et transmet au BET Structures les charges complémentaires liées aux effets thermiques. Cet échange est itératif.

2.3.12. Conditions de conception et de calcul des dalles dans le cas des tubes incorporés

Dans le cas d'incorporation des tubes dans la dalle, la section résistante prise en compte dans les calculs est la section située en dessous des tubes (tubes en partie haute de la dalle) ou au-dessus des tubes (tubes en partie basse de la dalle), en négligeant l'épaisseur correspondante au gabarit des tubes et à leur enrobage.

De plus, les dispositions constructives et le calcul des éléments structuraux doivent tenir compte du gradient de température induit par la présence des tubes incorporés dans les éléments structuraux. Ces sollicitations sont dues d'une part à la différence entre la température des façades et la température des planchers, d'autre part, à la différence de température entre les zones de convergence des tubes « aller » et les zones de convergence des tubes « retour ».

Les effets des dilatations / rétractations doivent être prises en compte dans les calculs des éléments structuraux, notamment en renforçant l'armature des éléments de dalle en tenant compte de l'effet thermique.

Des armatures complémentaires s'opposant à la fissuration en surface des planchers doivent être disposées au-dessus des tubes, sur toute la surface des planchers équipés, telles que prévues au paragraphe 2.4.7.6.2.

Pour ce qui concerne les dispositions relatives à la position des tubes dans les dalles et le fractionnement des dalles, les indications du paragraphe 2.4.7.3 doivent être respectées.

2.4. Disposition de mise en œuvre

2.4.1. Généralités

La mise en œuvre du procédé GEOPRO se déroule en trois étapes principales correspondant aux trois parties composant le système :

- La partie verticale est mise en œuvre lors de la réalisation des fondations par l'entreprise de fondations spéciales ;
- La partie horizontale est réalisée avant coulage de la dalle par l'entreprise de gros œuvre ;
- La mise en œuvre des collecteurs principaux au local technique ainsi que le remplissage et l'équilibrage du système sont réalisés au moment de l'installation de la pompe à chaleur par l'entreprise de CVC.

Le mode de réalisation sera impacté par :

- Le type de fondation ;
- Le mode de recépage des pieux ;
- La position de la plate-forme de travail par rapport au niveau fini ;
- La remontée de nappe éventuelle au niveau de la tête de pieu ;
- Le niveau de stabilisation du sol ;
- Le mode de réalisation des longrines ;
- La présence d'engins de chantiers sur site conjointement à la mise en place des captages.

Etant donné le mode d'intervention dans des phases de travaux où des engins lourds sont utilisés, les phases d'exposition des tubes (à l'écrasement) doivent être minimisées.

Pour la partie verticale, les pieux peuvent être complètement armés ou partiellement armés. Pour la partie horizontale, les têtes de pieux peuvent être coulées ou préfabriquées.

Avant exécution de la partie verticale, la coordination avec le lot fondations spéciales permettra la planification de l'intervention et la présentation des méthodes de mise en œuvre du système GEOPRO.

La coordination avec le gros œuvre a pour but de planifier la réalisation de la partie horizontale et l'impact du système GEOPRO sur la réalisation des éléments structurels tels que les semelles et longrines.

La coordination avec le lot CVC permet la planification de l'installation des collecteurs et du remplissage du système. Les résultats du dimensionnement hydraulique du système GEOPRO (débit, pertes de charge, caractéristiques du fluide...) sont communiqués par ECOME Ingénierie/GEOTHERMIE-PROFESSIONNELLE à l'entreprise pour le choix des équipements techniques de la chaufferie (pompe de circulation, pompe à chaleur, échangeur de chaleur...).

La société GEOTHERMIE PROFESSIONNELLE prend en charge la mise en œuvre du système de captage énergétique comprenant :

- La fourniture et l'installation des échangeurs sol/eau dans les fondations ;
- La réalisation des liaisons horizontales entre les échangeurs et les collecteurs principaux ;
- Le raccordement éventuel du système au local technique ;
- Le remplissage, la purge et l'équilibrage des réseaux ;

2.4.2. Partie verticale des fondations profondes

La mise en œuvre de la partie verticale du système dépend du type et du mode de réalisation du pieu.

2.4.2.1. Fixation des tubes sur les cages d'armature des pieux

Les tubes sont installés sur le chantier pour éviter tout risque de dégradation lors du transport.

L'armature du pieu est possible sur toute sa hauteur ou partiellement. Lorsque toute la longueur du pieu est armée, les tubes y sont fixés. Lorsque l'armature est partielle, différentes solutions peuvent être envisagées. L'armature peut, ainsi, être prolongée jusqu'à la longueur nécessaire pour la fixation des tubes, en relation avec le dimensionnement thermique du système.

En conformité avec l'Eurocode 2, les tubes pourront être fixés entre les aciers longitudinaux (filants). Il conviendra de valider la présence d'une distance libre minimale entre barres, barres équipées de tubes, ou tubes de la valeur :

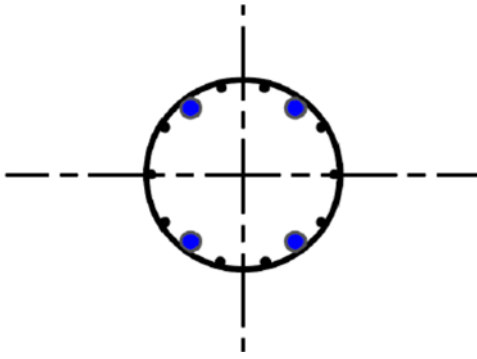
$$\max\{D_e + 5 \text{ mm} ; 20\text{mm}\}$$

On définit la distance équivalente "D_e" par :

$$D_e = \max\{\text{diamètre barre} ; \text{diamètre tube captage géothermique}\} \times (\text{nombre de barres} + \text{nombre de tubes})^{1/2}$$

Dans le cas de pieux pour lesquels la cage est mise en œuvre avant le bétonnage, il faudra également respecter une distance minimale de 4xD_g entre les éléments verticaux, où D_g est la taille du plus gros granulats.

Figure 3 : Positionnements possibles des tubes de captage géothermique au niveau des cages d'armatures



Fixation sur la partie « courante » de la cage d'armature

Pour les pieux armés (pieux forés), les tubes sont étendus et fixés sur les aciers transversaux de l'armature (cerces) à l'aide d'agrafes métalliques à raison d'une agrafe tous les mètres au minimum.

Les tubes sont fixés à l'intérieur de l'armature de sorte que leur présence n'ait pas d'influence vis-à-vis de l'enrobage extérieur.

Du fait des matériaux utilisés dont le rayon de courbure minimal est de 50 cm, et de la faible liberté de mouvement des tubes fixés sur la longueur totale de l'armature, les courbures qui pourraient avoir lieu vers l'extérieur de l'armature entre deux fixations en cas de fixation lâche ne peuvent pas dépasser l'épaisseur de l'enrobage.

Fixation en partie basse de la cage d'armature

Il convient de bien solidariser les tubes à la structure notamment au niveau de la base de l'armature. Ce point est particulièrement important dans le cas où l'armature est introduite après coulage du béton, car la pression ou la poussée d'Archimède exercée par le béton sur les tubes peut entraîner leur rupture.

Fixation en partie haute de la cage d'armature

Les fixations seront réalisées en fonction du type de tête de pieu (voir partie concernée ci-dessous).

Raboutage des tubes

Les raccords entre les tubes ne doivent pas être réalisés dans les pieux. S'il n'est pas possible de les éviter, ils doivent être du type raccords à sertir indémontables ou raccords électrosoudables.

Dans le cas de pieux de longueur significative, un raboutage des cages d'armature peut s'avérer nécessaire, notamment pour des limites liées au gabarit routier.

Il s'agit habituellement de cages d'armatures de longueur supérieure ou égale à 15 mètres.

Dans le cas où les cages d'armatures sont soudées entre elles avant leur insertion, la mise en œuvre est identique à la mise en œuvre sur une cage d'un seul tenant.

Dans le cas où la soudure entre les cages est réalisée au moment de l'insertion de la cage (insertion de la première partie de cage, soudure, insertion de la deuxième partie de cage), les deux parties de cage sont équipées séparément avant la mise en œuvre des cages. Les soudures de liaison sont réalisées consécutivement à la soudure des cages entre elles, en cours d'insertion. La présence d'un technicien lors de l'insertion des cages, afin de réaliser les soudures, est par conséquent nécessaire.

Il n'est pas réalisé en ce cas de test de mise en pression avant l'insertion de la cage d'armature. Le test de mise en pression est réalisé postérieurement à l'insertion de la cage d'armature.

2.4.2.2. Nombre d'aller-retour par cage

Cas général

Le diamètre et le nombre d'aller-retour à l'intérieur de la cage dépend principalement du diamètre de l'armature.

L'écartement entre les tubes doit être supérieur à la distance entre les tubes obtenue pour le rayon de courbure minimale admissible.

Le rayon de courbure ne doit pas être inférieur au rayon de courbure défini dans le CPT 2808 pour les tubes PEX et la NF EN 12201-2+A1 pour les tubes PEHD.

Cas particulier : Diamètres faibles

Lorsque le diamètre du pieu est trop faible, le rayon de courbure du tube ne permet pas de réaliser le changement de direction (forme en U) au niveau de la base ou de la tête de la structure. Dans ce cas, le raccord entre la partie ascendante et la partie descendante du tube doit être réalisée à l'aide de deux coudes à 90° et deux raccords électrosoudables en manchons. Par conséquent, seuls des tubes en PEHD peuvent être utilisés.

2.4.2.3. Mise en œuvre du ferrailage

L'armature peut être mise en place à deux étapes différentes : avant ou après injection du béton.

Mise en place avant injection du béton

La cage d'armature sur laquelle sont fixés les tubes échangeurs est introduite dans le pieu puis le béton est injecté.

Mise en place après injection du béton

La cage d'armature est introduite dans le béton injecté. Les pressions exercées sur les tubes échangeurs doivent être inférieures aux pressions maximales admissibles.

2.4.3. Sorties des tubes

Les tubes thermoactifs sortent au niveau de la tête de pieu à l'intérieur de la cage d'armature.

Les tubes sont ensuite courbés pour sortir horizontalement entre les aciers de l'armature de la semelle ou entre les aciers des longrines en fonction des spécificités du chantier.

Les tubes doivent être fixés sur l'armature de ces ouvrages et non sur les attentes de la structure géothermique.

Afin d'éviter la dégradation des tubes, lors de la mise en œuvre des cages d'armature, et lors du grattage de la face externe du pieu pour récupération des tubes, toutes précautions doivent être prises.

2.4.4. Recépage

Les opérations de recépage destinées à éliminer la partie supérieure du béton pouvant être détériorée (eau, boue, terrain...) pour retrouver un béton sain, sont généralement exécutées par le lot gros œuvre. Dans certains cas, le recépage peut également être réalisé par le lot fondations spéciales.

Le recépage est effectué conformément aux recommandations de la norme NF P 94-262 selon deux procédés généralement employés :

- Le recépage sur béton frais réalisé juste après coulage du béton du pieu ;
- Le recépage sur béton sec réalisé ultérieurement.

Ces opérations pouvant être à l'origine d'une dégradation des tubes thermoactifs, des dispositions spécifiques sont prises en compte. On privilégiera dans un premier temps la réparation de la partie endommagée par la mise en place d'un manchon soudé. Auquel cas, l'ensemble des tests prévus habituellement seront reconduits afin de vérifier l'étanchéité des raccords.

Si la réparation par manchon est impossible ou qu'une fuite est détectée suite à la réparation par manchon, le tube est vidangé puis condamné et ne sera pas raccordé au réseau.

Le choix de la méthode de recépage doit faire l'objet d'une coordination entre l'entreprise de fondation ou l'entreprise de Gros Œuvre et ECOME INGÉNIERIE.

2.4.4.1. Recépage sur béton frais

Cette méthode peut être utilisée dans le cas de pieux armés pour lesquels l'armature est introduite après injection du béton (pieux forés à la tarière creuse par exemple), ou dans le cas de pieux non armés dans lesquels les tubes thermoactifs sont introduits après injection du béton.

Conformément aux recommandations de l'Eurocode 7 et de la norme NF P 94-262, le bétonnage du pieu est exécuté jusqu'au niveau de la plate-forme de travail sauf dispositions particulières.

Le niveau de béton est ajusté jusqu'au niveau du recépage fini à l'aide d'un récipient plongé dans le béton frais et permettant de retirer successivement les quantités de béton nécessaires jusqu'à l'atteinte du niveau de recépage fini.

Une virole peut être utilisée après injection du béton pour éviter les éboulements du forage en tête.

2.4.4.2. Recépage sur béton sec

Dans le cas où le recépage est réalisé sur béton sec par brise pieux hydraulique, robot d'hydrodémolition ou marteaux-piqueurs, le risque de dégradation des tubes lors des opérations de recépage est élevé. De ce fait, seule la solution de sortie des tubes par le haut des pieux est envisageable.

Lors de la mise en œuvre des tubes thermoactifs dans la cage d'armature, un tube en matériau de synthèse de section supérieure à 4 fois le diamètre des tubes thermoactifs est fixé en partie intérieure de la cage d'armature au niveau de leur sortie en tête de pieu.

Ce tube de protection est obturé en sa partie inférieure par un obturateur muni de deux percements permettant le passage des tubes thermoactifs. Les diamètres de percement sont adaptés au diamètre des tubes (20 mm, 25 mm).

Il est fixé à l'armature de manière à ce que la partie inférieure obturée se trouve à la hauteur du niveau de recépage fini.

Ainsi, lors des opérations de bétonnage ou d'introduction de l'armature dans le béton, l'obturateur en partie inférieure permet d'éviter toute pénétration du béton à l'intérieur du tube de protection. Lors des opérations de recépage, un tube acier de diamètre inférieur au diamètre du tube de protection est introduit dans ce dernier. La résistance du tube acier permet ainsi la préservation des tubes thermoactifs lors des opérations de recépage.

Après recépage, le tube acier et le tube de protection peuvent être retirés.

2.4.5. Coulage du béton

La mise en œuvre des bétons prêts à l'emploi doit être conforme à la norme NF EN 206+A1 et aux caractéristiques mentionnées dans la norme NF DTU 65.14-P1.

Pour les bétons fabriqués sur chantier, la mise en œuvre doit être conforme à la norme NF EN 197-1 (béton de type CEM I à CEM V et de classe de résistance 32.5 N ou 32.5 R ou 42.5 N ou 42.5 R dosé à 350 kg/m³).

La mise en place doit avoir lieu durant la période où le matériau conserve sa consistance. La fluidité du matériau exclut l'utilisation de vibration mécanique ou hydraulique.

Les opérations de mise en œuvre doivent être conduites de telle manière que les tubes et l'armature ne risquent pas d'être détériorés.

La chaleur dégagée durant la prise du béton ne risque pas de détériorer les tubes, la température au moment du coulage est de l'ordre de 40°C.

2.4.6. Raccords en partie verticale

Il doit être évité, autant que possible, de mettre en œuvre des raccords à l'intérieur du pieu de fondation et une pose en serpentins à l'intérieur du pieu sera privilégiée conduisant à la sortie en haut de pieu des deux extrémités d'un même tube.

Toutefois, des raccords indémontables doivent être utilisés dans le pieu :

- Lorsque le diamètre de la cage d'armature est inférieur au rayon de courbure du tube et ne permet pas la réalisation d'une boucle en bas du pieu ;
- Dans le cas d'assemblage de portions de cages d'armatures en cours de réalisation des pieux (cages généralement supérieures à 15 mètres).

Comme évoqué plus haut, les raccords seront de type électrosoudables (exclusivement pour les tubes PEHD) ou raccords à sertir indémontables.

Ces raccords pourront donc être encastrés dans les conditions autorisées au paragraphe 5.1.4.2 du CPT 2808.

2.4.7. Partie horizontale

La partie horizontale du système permet la liaison entre la partie verticale et les collecteurs principaux.

En fonction des dispositions et des spécificités du chantier (présence de semelles, longrines...), différentes méthodes peuvent être employées pour la réalisation de la partie horizontale du système :

- Le passage sous dalle et autres éléments structurels (semelles, longrines...) ;
- Le passage sous dalle au travers des longrines ;
- Le passage en dalle avec enrobage des tubes thermoactifs.

Le mode de réalisation de la partie horizontale nécessite un processus de coordination avec l'entreprise de gros œuvre et les entreprises de VRD (Voirie et réseaux divers) afin de préparer la mise en œuvre et d'assurer la pérennité du système thermoactif (non-écrasement des tubes).

Les tubes sont déroulés, puis fixés à la partie verticale par raccords électrosoudables (exclusivement pour les tubes PEHD) ou mécaniques à sertir.

Le raccordement entre les pieux et le(s) collecteur(s) doit se faire le plus tard possible pour limiter au maximum les risques d'écrasement.

Du grillage avertisseur doit être placé directement au-dessus des tubes horizontaux s'ils ne sont pas situés sous une dalle béton. Ce grillage avertisseur doit clairement faire apparaître qu'il protège les « Tubes géothermiques ». Idéalement, cet avertissement doit être facilement repéré dans le cas de travaux ultérieurs pour éviter tout dommage.

2.4.7.1. Passage sous dalle et éléments structurels

Dans ce cas aucune disposition particulière n'est à prévoir.

2.4.7.2. Passage sous dalle au travers des longrines

Lorsque la structure du bâtiment comporte des longrines exécutées sur place ou préfabriquées, la cote à laquelle sont réalisées les liaisons horizontales peut être située au niveau haut des longrines. Dans ce cas, des réservations spécifiques permettant le passage des tubes thermoactifs doivent être réalisées par le lot gros œuvre. Les dimensions et le nombre de réservations qu'il est possible de réaliser sont communiqués à l'entreprise générale de gros œuvre qui adaptera le cas échéant ses dimensionnements d'exécution et les plans de ferrailage en conséquence. Elle prend également en charge la réalisation des réservations.

Les tubes thermoactifs sont disposés au niveau de la plateforme ou en fond de fouille dans une tranchée spécifique d'une profondeur minimale de 10 cm.

2.4.7.2.1. Préparation du terrain

Le terrain est préparé par l'entreprise de VRD ou de gros œuvre préalablement à la mise en œuvre des tubes à la cote définie lors des phases de coordination.

Le fond est dressé à l'aide d'éléments fins et homogènes (terre épierrée, sable, sablon...) pour éviter la présence de parties saillantes risquant d'endommager les tubes (recommandations du Cahier des Prescriptions Techniques n°2808-V2 du CSTB).

2.4.7.2.2. Mise en œuvre des tubes

Un treillis soudé est positionné au niveau des cheminements de tubes. Ce treillis soudé, qui n'a aucune fonction structurelle dans la résistance de la semelle ou de la dalle, permet de :

- Faciliter la mise en œuvre en solidarissant les tubes au treillis ;
- Assurer une certaine protection du tube en le détachant du sol et éviter qu'il ne repose directement sur des éléments pouvant l'endommager (éléments saillants d'empierrement, de graviers...), Les tubes sont fixés au treillis à l'aide d'agrafes. Les agrafes sont mises en œuvre avec un écartement de 3 mètres maximum dans les parties droites. Elles pourront être rapprochées à moins de 1 m dans le cas de courbure dans le cheminement du réseau. Cette fixation permet d'éviter les ondulations des tubes pour faciliter la mise en œuvre.

2.4.7.3. Passage en dalle

Cette méthode de mise en œuvre peut être envisagée dans le cas d'une dalle de parking, de sous-sol ou de vide-sanitaire non chauffé. Les tubes sont fixés au treillis soudé de la dalle.

La mise en œuvre doit respecter les recommandations du Cahier des Prescriptions Techniques n°2808-V2 du CSTB, notamment :

- Respecter une épaisseur minimale d'enrobage de 20 mm au-dessus et en-dessous du tube ;
- Eviter de traverser les joints de fractionnement des dalles ou prévoir des dispositions permettant le fonctionnement mécanique du joint sans endommager les tubes thermoactifs (fourreaux, réservations...) ;
- Un béton de consistance S4 au moins doit être utilisé.

2.4.7.4. Fixation des tubes sous dalle

Dans le cas où le sol sous dalle n'est pas stabilisé et peut présenter des risques de ravinement, les tubes thermoactifs sont fixés sous dalle par l'intermédiaire de supports de fixation en forme de cintre repris dans la dalle.

Conformément aux recommandations du Cahier des Prescriptions Techniques n°2808-V2 du CSTB, ces éléments sont en matériaux résistants à la corrosion. Ils sont disposés tous les deux mètres.

Leurs dimensions (hauteur et largeur) sont adaptées en fonction de la hauteur nécessaire pour assurer une reprise minimale de 10 cm dans la dalle et en fonction du nombre de tubes à supporter sur la partie horizontale concernée.

Dans le cas où le fond de fouille est stabilisé (nature du sol, décaissement significatif sur plusieurs mètres, réalisation de parkings, absence de ravinement par circulation d'eau en partie haute...), la mise en œuvre de cintres pour fixation sous dalle ne sera pas nécessaire.

2.4.7.5. Raccords en partie horizontale

Les liaisons entre les parties verticales et horizontales sont réalisées à l'aide de raccords indémontables de type raccord électrosoudable (exclusivement pour les tubes PEHD) ou raccord mécanique à sertir.

2.4.7.6. Protection des tubes

2.4.7.6.1. Avec lit de protection

Après réalisation de la partie horizontale, les tubes peuvent être protégés par un lit de sable ou béton maigre avant coulage de la dalle conformément aux recommandations de la norme NF DTU 60.1 P1-1-1.

Dans le cas où des engins de chantier circulent sur le site entre la pose des liaisons horizontales et le coulage de la dalle, une chape maigre doit être réalisée par le lot gros œuvre, après mise en œuvre des liaisons horizontales.

2.4.7.6.2. Sans lit de protection

Toutefois, du fait du faible décaissement nécessaire au passage des liaisons horizontales sous dalle, la couverture par lit de sable ou béton maigre est facultative.

Le maintien apparent des canalisations jusqu'au coulage de la dalle peut faciliter leur repérage par les autres intervenants sur le chantier réduisant ainsi le risque de dégradation. La détection de fuites éventuelles avant coulage de la dalle se trouve également facilitée.

Dans le cas où la dalle est coulée sur place, les tubes seront enrobés dans le béton de la dalle.

Des armatures complémentaires seront disposées au-dessus des tubes, sur toute la surface des planchers équipés.

Ces armatures complémentaires seront disposées au-dessus des tubes sur toute la surface concernée.

L'épaisseur de l'enrobage au-dessus des tubes est de 30 mm au minimum, toutes tolérances épuisées.

Un joint scié sur l'épaisseur de l'enrobage des tubes moins 5 mm sera aménagé au contact de toutes les parois verticales, y compris en pieds d'huisserie et seuil, et de toute émergence (fourreaux de canalisations, poteaux, murets, etc.). Une bande compressible, de 5 mm minimale d'épaisseur sera mise en place dans le joint scié.

Les dalles seront fractionnées suivant les règles suivantes :

- Quelle que soit la géométrie de la pièce et quel que soit le revêtement de sol, les surfaces entre joints ne doivent pas dépasser 30 m² avec un maximum de 6 m pour la plus grande longueur ;
- Les joints de fractionnement doivent être placés au niveau des passages de portes et au minimum tous les 6 mètres dans les couloirs ;
- Un joint de fractionnement est nécessaire dans les angles saillants des pièces en L.

Les tubes seront placés à plus de :

- 50 mm des structures verticales ;
- 200 mm des conduits de fumées et des foyers à feu ouvert, trémies ouvertes ou maçonnées, cages d'ascenseur ;
- Ils ne doivent pas franchir les joints de dilatation du bâtiment.

2.4.7.7. Raccordement en extérieur de bâtiment

Dans le cas où une canalisation transiterait ponctuellement à l'extérieur d'un bâtiment, ou entre deux bâtiments, elle est assimilée à une canalisation d'eau froide sanitaire conformément au commentaire du paragraphe 4.6.2 du DTU 65.10.

2.4.8. Mise en œuvre des collecteurs – Remplissage et équilibrage du procédé

Les étapes décrites ci-dessous sont réalisées au moment de l'installation de l'équipement couplé au procédé GEOPRO.

Toutes les précautions doivent être prises pour éviter le risque de gel, une fois les réseaux hydrauliques raccordés et mis en eau.

2.4.8.1. Installation des collecteurs

Les tubes sont mis en attente sous pression dans la première phase du chantier, en l'attente de la réalisation des locaux techniques.

Les collecteurs sont installés de préférence à l'extérieur du bâtiment (voir figure 1 en annexe) pour limiter l'impact des phénomènes de condensation, de remontée des eaux et de concentration de radon à l'intérieur du bâtiment.

Les collecteurs « aller » et « retour » reposent sur des supports métalliques fixés aux parois dans le local technique. Les boucles du système thermoactif sont raccordées mécaniquement aux collecteurs.

2.4.8.2. Remplissage et purge du système

Les vannes d'arrêt équipant le collecteur permettent l'isolation des boucles pour les opérations de remplissage.

La méthodologie est détaillée dans les documents disponibles auprès du titulaire.

2.4.8.3. Equilibrage du système

Après remplissage complet du système, celui-ci est équilibré à l'aide des vannes de régulation installées sur le départ de chaque boucle.

L'équilibrage du système doit permettre d'obtenir un débit identique dans chaque boucle.
Un pré-réglage peut être effectué en atelier en fonction du dimensionnement hydraulique du système.

2.4.9. Tests et contrôles sur site

2.4.9.1. Contrôles de mise en œuvre

La qualité de la mise en œuvre est contrôlée par la réalisation de tests de pression aux différentes phases de travaux en cours de travaux, et après mise en eau de l'installation.

Ces tests permettent de détecter la présence de fuites dans la boucle et de mettre en œuvre les actions correctives correspondantes.

Par dérogation, les tests en cours de chantier sont effectués à l'air. Seul le test final après connexion des boucles aux collecteurs et mise en eau du circuit sera réalisé à l'eau ou au mélange eau antigel.

2.4.9.1.1. Tests de pression à l'air en cours de chantier

Les fuites éventuelles sont constatées par une perte de pression à l'air rapide. Une pression de test de 8 bars est recommandée en veillant à la sécurité des personnes présentant à proximité des tubes chargés en air.

Une baisse de pression progressive sur une période supérieure à celle décrite au paragraphe ci-dessus est possible du fait des contraintes de mise en œuvre des manomètres sur chantier et de pertes progressives au niveau des manomètres. Par conséquent, une perte partielle ou totale de pression à l'air pourra être constatée après plusieurs jours en cours de travaux.

En cas de constatation d'une pression inférieure à la pression initiale, une nouvelle mise en pression ne sera pas nécessairement requise. Une baisse de pression de 1 bar par jour de latence est admise, dans la mesure où la pression finale est supérieure à 1 bar. Dans le cas contraire, le manomètre sera remplacé et une nouvelle mise en pression sera effectuée. Elle permettra de valider l'absence de dégradations intervenues sur l'élément concerné pendant la période de latence. En cas de défaillance répétée, un rapport de défaut sera réalisé en interne et communiqué au maître d'œuvre. Les éléments en amont seront neutralisés. L'impact éventuel sur la performance globale de l'installation sera estimé et des actions correctives pourront être proposées.

Elle permettra la validation de l'intégrité de l'installation. Un contrôle de niveau des manomètres doit être effectué avant d'engager toute nouvelle phase de travaux.

2.4.9.1.2. Tests de pression à l'eau en fin de chantier

Le test de pression en fin de chantier sera réalisé à l'eau ou au mélange eau/antigel conformément à la norme NF DTU 60.1 P1-1-1.

2.4.9.1.3. Sécurisation du système en cours de travaux

En cas de défaut constaté sur un élément de l'installation, lors de la réalisation des tests et essais, les éléments éventuellement défaillants seront neutralisés. Un rapport de défaut sera établi en interne et à destination du maître d'œuvre.

On cherchera éventuellement à compenser immédiatement l'élément défaillant, notamment par l'équipement d'un pieu complémentaire le cas échéant si la dégradation intervient durant cette phase de travaux et qu'un nombre de pieux excédentaires est disponible.

2.4.9.1.4. Equilibrage du réseau

En fin de montage et préalablement à la mise en service, un contrôle d'équilibrage des réseaux est effectué afin de s'assurer de l'obtention d'un débit de fluide équivalent dans chaque partie du système.

2.4.9.2. Contrôle de fonctionnement

La plage de température de 1° à 30°C devra être respectée.

Les informations seront transmises à l'installateur de la pompe à chaleur. Celui-ci devra intégrer des alarmes et coupures de sécurité dans les organes de contrôle des matériels installés en cas de dépassement des températures indiquées ci-dessus.

2.4.10. Réception

Chacune des trois phases de réalisation fait l'objet d'une réception spécifique permettant le constat de la qualité et de l'intégrité du système.

La réception est visée par l'ensemble des corps d'état intervenant après chaque phase de réalisation sur la base des contrôles de mise en œuvre.

2.5. Maintien en service du produit ou procédé

L'entretien ou la maintenance de l'installation reste à la charge exclusive du Maître d'Ouvrage et s'entend hors pompe à chaleur et organes annexes (pompes, échangeurs, vase d'expansion...).

La maintenance du système consiste en une vérification régulière de la qualité du fluide caloporteur (aspect, odeur, pH...) conformément aux recommandations du cahier 3114 du CSTB.

Le fonctionnement des thermostats de régulation ou de sécurité doit être vérifié annuellement.

2.6. Traitement en fin de vie

Quand les tubes peuvent être extraits du béton armé après concassage, ils peuvent faire l'objet d'un tri sélectif pour recyclage (tubes en fin de vie, tri également réalisé pour les tubes abimés ou chutes lors du chantier).

2.7. Assistance technique

Le procédé GEOPRO est commercialisé par les sociétés ECOME Ingénierie et GEOTHERMIE PROFESSIONNELLE. La commercialisation peut également être effectuée en lien avec des partenaires commerciaux à qui ECOME Ingénierie fournira une assistance commerciale.

Une assistance technique rémunérée peut être fournie par ECOME Ingénierie dans le cadre des études préliminaires des projets (études de faisabilité).

Le procédé GEOPRO est mis en œuvre par la société GEOTHERMIE PROFESSIONNELLE en coordination avec les intervenants techniques des opérations concernées.

Sont fournis aux Bureaux d'études, Architectes et Maîtres d'Ouvrages :

- Longueurs de tubes à installer ;
- Note de calcul dimensionnement thermique ;
- Plan d'exécution ;
- Note de calcul dimensionnement hydraulique ;
- Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) ;
- Notice de maintenance ;
- Recommandations sur les plages de température de fonctionnement du système.

2.8. Mention des justificatifs

2.8.1. Résultats Expérimentaux

Plusieurs projets ont fait l'objet d'une instrumentation permettant de suivre les performances effectives des systèmes sur plusieurs années.

Les différents paramètres de fonctionnement des systèmes ont été monitorés et les suivis ont été réalisés sur des périodes significatives. Les paramètres suivis sont les suivants :

- Consommations énergétiques de chauffage et de rafraîchissement ;
- Consommations électriques des équipements ;
- Températures intérieure et extérieure ;
- Température du sol à différentes profondeurs et selon différentes dispositions.

Ces suivis ont permis de vérifier l'efficacité de fonctionnement du système et sa cohérence entre les performances théoriques et les performances effectives.

2.8.2. Références chantiers

Chantiers réalisés depuis 2012 : Référence projet	Ville	Année	Type usage	Nombre pieux	Type d'utilisation (C/F/C+F)	Type De pieux	Zone sismique (O/N)
Limay	Limay	2011	Logement	55	C+F	Starsol	N
Chateauroux	Chateauroux	2011	Gymnase	30	C +F	Tarière creuse type 2	N
Centre maintenance	Tours	2012	Industriel	50	C + F	Tarière creuse type 2	N
Maintenon	Maintenon	2012	Tertiaire	45	C + F	Tarière creuse type 2	N
Gonesse	Gonesse	2013	Logement	63	C	Tarière creuse type 2	N
Achères	Achères	2014	Collège	84	C+F	Tarière creuse type 2	N
Bayonne	Bayonne	2014	Pépinière entreprise	75	C+F	Tarière creuse type 2	O
Le Havre	Le Havre	2015	Université	42	C	Tarière creuse type 2	N
Station épuration	Sept sorts	2015	Tertiaire	45	C	Tarière creuse	N
Bédier	Paris	2016	Tertiaire	141	C +F	Tarière creuse type 2	N
Strasbourg Sirius	Strasbourg	2016	Logement	64	C	Foré tubé	O
Strasbourg Green-one	Strasbourg	2016	Logement	80	C	Foré tubé	O
Valenciennes	Valenciennes	2016	Centre de formation/tertiaire	70	C+F	Pieux Atlas à refoulement	O
Collège	Lorient	2017	Enseignement	88	C	Tarière creuse	N
Gymnase Poissonniers Ville de Paris	Paris	2018	Gymnase	78	C+F	Tarière creuse	N
Siège social Habitat 76	Rouen	2019	Tertiaire	100	C+F	Tarière creuse	N
Siège social Senalia	Rouen	2020	Tertiaire	51	C+F	Tarière creuse	N
SACVL Lyon	Lyon	2020	Logement	30	C	Tarière creuse	N
Centre de formation ISALAB	Anglet	2021	Tertiaire	75	C+F	Tarière creuse	O

(*) : « C » = chaud – « F » = froid –« C+F » = chaud et froid.

2.9. Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre

Figure 1 : Schéma de principe du système

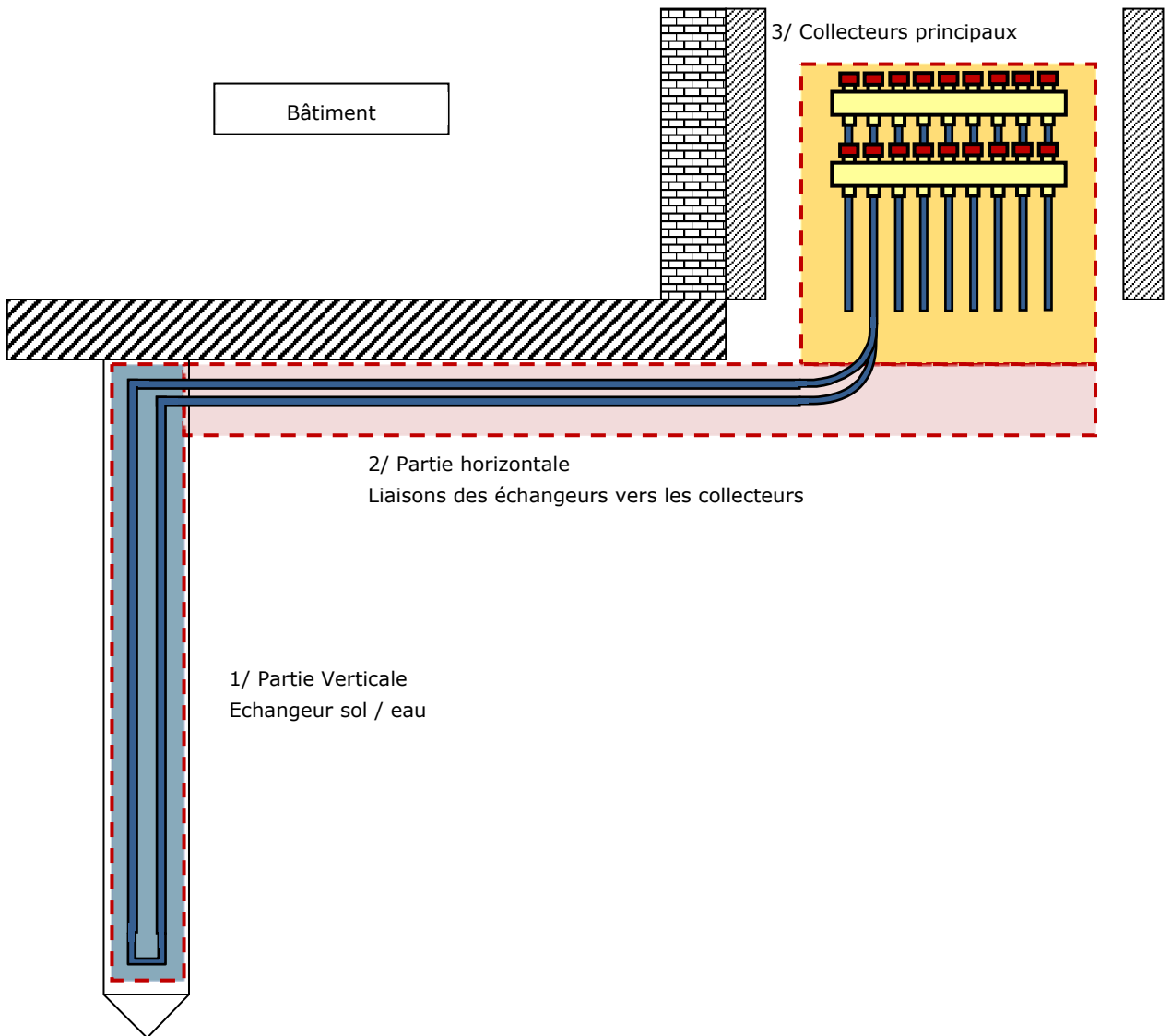


Figure 2 : Principe de coordination lors des études de conception

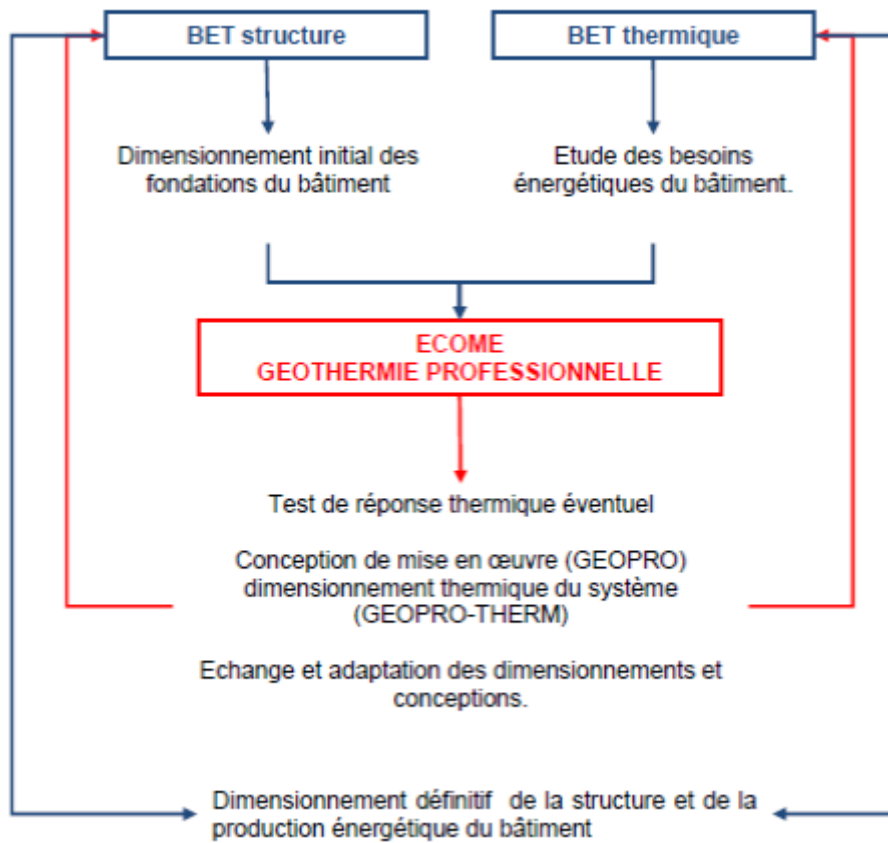


Figure 4 : Schéma de sortie des tubes en tête de pieux

