Les fondations géothermiques, l'énergie du sol

Septembre 2015

En captant les calories contenues dans le sol par le biais des fondations d'un ouvrage, la technique des fondations thermiques transforme les contraintes structurelles en atout énergétique.

Avec une température oscillant entre 10 et 15 °C, le sol est une zone naturelle de stockage d'énergie que l'on vient puiser en hiver pour chauffer un bâtiment, et réinjecter en été lorsque le bâtiment est refroidi. Jusque-là, rien de très nouveau. La France commence néanmoins à développer un autre mode d'exploitation géothermique, utilisé avec succès en Autriche, en Angleterre, en Suisse, au Canada ou en Chine depuis une trentaine d'années : il s'agit des fondations géothermiques, également appelées fondations thermoactives.

Transformer les contraintes en atout énergétique

Le principe est simple : il consiste à capter dans le sol les calories nécessaires à la production de chaud et/ou de froid par le biais des fondations d'un ouvrage. Des tuyaux géothermiques sont immergés dans le **béton** des fondations – pieux, barrettes, parois moulées, radiers… – puis reliés à une pompe à chaleur qui procède à l'échange thermique entre le circuit primaire (réseau géothermique) et le circuit secondaire (réseau de distribution de l'énergie). Grâce à ces échanges de température en boucle fermée, l'énergie récupérée est redistribuée dans des constructions qui peuvent prétendre au statut dit de « basse consommation », voire à énergie positive. Ainsi transformées en atout, les contraintes structurelles incontournables de toute construction ajoutent une valeur à leur fonction première et contribuent à la production d'une énergie renouvelable.

Récemment, plusieurs bâtiments ont été réalisés avec des pieux géothermiques. De même, certaines stations des nouvelles lignes des métros rennais et parisien, actuellement en cours de construction, intègrent ce procédé géothermique dans les parois moulées et les radiers. Cette solution épargne la réalisation de travaux coûteux nécessaires à la géothermie classique : au lieu de poser les tuyaux de captage dans des forages verticaux ou horizontaux, ils sont intégrés dans les cages d'armatures des fondations d'un bâtiment ou d'un ouvrage de Génie Civil. Chez l'armaturier ou directement sur le chantier, les tubes sont fixés à l'aide d'attaches métalliques aux cages d'armatures.

Fichés à quelques dizaines de mètres de profondeur, les réseaux géothermiques procèdent à plusieurs allers-retours sur la longueur équipée. Lors de la mise en œuvre de la paroi moulée, les tubes géothermiques sont mis en **attente** jusqu'au décaissage, d'une station de métro par exemple, qui peut intervenir des mois plus tard. Lorsque les tubes géothermiques sont mis à jour, ils sont raccordés via des liaisons horizontales à des collecteurs qui centralisent le flux **hydraulique** et qui sont eux-mêmes couplés à la pompe à chaleur. Les collecteurs peuvent recevoir jusqu'à vingt réseaux. La dernière étape consiste à remplir et à purger les circuits géothermiques. Le fluide caloporteur, une eau glycolée pour éviter tout risque de gel, récupère la différence de température. Son débit est déterminé de façon à ce que le régime d'écoulement soit turbulent afin d'augmenter l'échange thermique opéré par la pompe à chaleur.

Le métro rennais

Dix-sept ans après la mise en service de la première ligne de métro automatique, les travaux de Génie Civil d**e la ligne B de Rennes Métropole** ont commencé début 2014 : longue de 13,8 km, elle reliera les communes de Saint-Jacques-de-la-Lande, au sud-ouest, à Cesson- Sévigné au nord-est, en passant par le centre-ville de la capitale bretonne via un tunnel de 8,1 km creusé à 25 m de profondeur au moyen du tunnelier Elaine. Mise en service en 2019, la ligne compte quinze stations, dont douze souterraines. Parmi celles-ci, quatre – Cleunay, Sainte-Anne, Saint-Germain et Jules-Ferry –sont équipées de dispositifs géothermiques dans les parois moulées, les piédroits et les radiers.

Les réseaux caloporteurs sont directement fixés dans les cages d'armatures des parois verticales (3 700 m² de parois moulées ou de piédroits construits à l'abri de soutènements provisoires) et des radiers (3 600 m²) dont l'épaisseur avoisine le mètre.

> « De la conception à la réalisation, nous avons relevé de nombreux défis techniques et juridiques pour intégrer les géostructures thermiques à des infrastructures de transport urbain souterraines,

explique Sylvie **Mortier**, ingénieur Études et Travaux au sein du service Infrastructures souterraines & Ouvrages d'art d'Egis Rail.

Les tubes sont fixés au moyen d'un nombre important de ligatures pour garantir leur maintien lors des phases de bétonnage, mais bien d'autres précautions sont prises pour éviter le moindre risque de dégradation lors de la mise en œuvre (**étanchéité** par géomembrane, armatures, manutention…). Pour les ouvrages verticaux, les serpentins sont installés sur l'extrados de la structure afin de permettre des échanges thermiques performants. En radier, les tubes sont positionnés en partie inférieure de la dalle béton, au-dessus du complexe d'étanchéité. Bien sûr, des réservations dans les dalles et les voiles sont prévues pour assurer le cheminement des réseaux de géothermie depuis le sous-**quai** jusqu'à la dalle de couverture. »

À cette profondeur, la température tourne autour de 12 °C. Les tubes d'échange géothermique sont regroupés par cinq sur des collecteurs, eux-mêmes raccordés au réseau principal cheminant sous les quais jusqu'à la nourrice qui alimentera les pompes à chaleur situées dans les bâtiments à alimenter. Ces dernières couvriront les besoins en chauffage, rafraîchissement et eau chaude sanitaire des immeubles (près de 8 200 m² de SHON répartis sur 127 logements et 1 000 m² de bureaux) qui seront bientôt construits au droit de ces stations.

La nouvelle station Porte de Clichy, Paris

Sous l'impulsion du STIF et de la RATP,**le métro parisien** va exploiter les fondations géothermiques pour chauffer et rafraîchir les locaux d'exploitation (bureaux, vestiaires, sanitaires) et techniques des nouvelles **stations Mairie d'Aubervilliers (ligne 12), Porte de Clichy et Mairie de Saint-Ouen (ligne 14).** Toutes trois sont construites dans la perspective des raccordements au Grand Paris Express. L'ensemble du réseau a fait l'objet d'études de faisabilité technico-économique et de **valorisation énergétique** réalisées par le bureau d'études thermiques Ecome, qui a ensuite conçu les circuits de captage géothermique pour le réseau RATP.

Les travaux de la future station Porte de Clichy de la ligne 14 ont commencé en juin 2014. Elle est située dans la ZAC Clichy-Batignolles (Paris 17e), à proximité du Tribunal de Grande Instance de Renzo Piano, et sera opérationnelle à l'horizon 2019. Le système interagissant avec le sol, les études commencent par un test de réponse thermique pour déterminer les caractéristiques des zones de captage et mesurer la température du sous-sol ainsi que sa conductivité thermique. Cette opération est indispensable pour **dimensionner** l'installation selon la performance attendue sur le long terme.

Après analyse des données, la surface de captage (3 724 m²) est située dans la partie inférieure du radier et sur les parois moulées (48 m de haut) entre le radier et le sous-quai. La récupération des tubes géothermiques se fera au niveau du sous-quai de la station au sein duquel les liaisons horizontales et les collecteurs géothermiques seront disposés. La pompe à chaleur est installée dans un local dédié au sein de la station de métro.

Chiffres clés

Ligne B du métro de Rennes
Longueur de la ligne : 3,8 km ; 15 stations, dont 12 souterraines, 4 équipées de géostructures thermiques
Tunnel : 3,8 km ; 15 stations, dont 12 souterraines, 4 équipées de géostructures thermiques
1 viaduc : 2,4 km à l'extrémité nord-est

Le point de vue de l'expert : Jean-Baptiste Bernard, directeur du bureau d'études thermiques Ecome

Quels sont les principaux avantages de ce procédé ?

Les fondations géothermiques captent directement l'énergie dans des ouvrages structurels qu'il faut impérativement réaliser. Cela ajoute une valeur à la fonction structurelle tout en supprimant la nécessité de réaliser un forage dédié, principe même de la géothermie. C'est donc une solution extrêmement intéressante du point de vue écologique et économique, arguments qui motivent souvent le choix.

D'autant que la solution optimum ne suppose pas forcément de couvrir 100 % de la puissance car le ratio d'énergie à fournir par rapport à l'investissement n'est pas proportionnel. D'où l'intérêt d'une expertise sur l'ensemble des solutions et la pertinence de coupler le dispositif avec des installations de relève (chaudière gaz, électricité). Les études de faisabilité et les dimensionnements que nous avons menés, notamment pour la nouvelle ligne de métro de Rennes, ont montré que 60 % à plus de 100 % des besoins énergétiques sont couverts par cette technique d'énergie renouvelable. En outre, l'amortissement de l'investissement est inférieur à 20 ans pour des équipements dont la durée de vie est largement supérieure à 50 ans. En effet, les tuyaux en polyéthylène haute densité ou en polyéthylène réticulé noyés dans le béton ont une durée de vie quasi illimitée. Cela signifie que le système ne nécessite aucune maintenance.

Comment dimensionne-t-on le captage géothermique ?

Le dimensionnement tient compte des besoins énergétiques identifiés, des spécificités des fondations, des caractéristiques thermiques du sous-sol environnant et des tests de conductivité. Qu'il s'agisse de pieux, de parois moulées ou de radier, la performance dépend également des paramètres géologiques et hydrogéologiques du terrain. Quant au dimensionnement hydraulique des réseaux, il doit être réalisé de manière à ne pas avoir des pertes de charges trop importantes pour éviter de surdimensionner les pompes de circulation.

Quelles sont les perspectives en France ?

La réglementation RT 2020 entraînera la généralisation des bâtiments à énergie positive (BEPOS). Ce challenge technique et économique nécessite la mise en œuvre de solutions innovantes combinant plusieurs systèmes énergétiques. C'est tout l'enjeu du projet de recherche GECKO.

Programme de recherche GECKO

Etudes du comportement des structures géothermiques et couplage avec des systèmes d'énergie solaire pour construire des bâtiments à énergie positive

La nécessité de construire des bâtiments à énergie positive (BEPOS) suppose de réduire les déperditions et les consommations thermiques, voire de leur faire produire de l'électricité.

Comment faire cohabiter des panneaux solaires thermiques pour la production d'eau chaude sanitaire et photovoltaïques pour la production d'électricité sur un espace limité, à l'échelle d'un logement par exemple ?

Comment étendre le champ d'application des énergies renouvelables (EnR) en améliorant leur polyvalence et en diminuant leur coût d'investissement face aux solutions carbonées (chaudières gaz) ?

Comment apporter le confort d'été, notamment pour le tertiaire, l'hospitalier ou les résidences pour personnes âgées ?

Les fondations géothermiques sont une solution EnR pour atteindre ces objectifs. Piloté par l'Agence Nationale de la Recherche, **le projet GECKO** (GEostructures, couplage solaire hybride et stockage Optimisé d'énergie) réalise des essais à différentes échelles, en laboratoire, sur des opérations pilotes et sur des bâtiments réels, pour étudier le comportement des pieux énergétiques et de leurs interfaces.

L'objectif ? Optimiser techniquement et économiquement ces procédés en les couplant avec des panneaux solaires hybrides. Les données recueillies permettront de caler des modèles de simulations numériques de dimensionnement et de comportement des géostructures et des combinaisons de systèmes énergétiques. Ces modèles seront ensuite intégrés dans des outils spécifiques pour développer des bâtiments BEPOS.

Chantier de la ligne b du métro de rennes – intégration des tuyaux géothermiques : dans les piédroits, puis reliés à une pompe à chaleur
Chantier de la ligne b du métro de rennes – intégration des tuyaux géothermiques : dans les piédroits, puis reliés à une pompe à chaleur

Station Porte de Clichy, ligne 14 – Maître d'ouvrage: STIF et RATP – **Maître d'œuvre** : Systra – **BET géothermie** : Ecome ingénierie – **BET HQE®** : Oasiis – **Entreprises** : Eiffage TP ; Razel-Bec – **Réalisation** : 2015-2019

Ligne B du métro, Rennes Métropole – **Maître d'ouvrage** : Rennes Métropole – **Maîtrise d'ouvrage déléguée** : Semtcar – **Maître d'œuvre** : Egis Rail ; Egis bâtiments Centre Ouest ; Arcadis ; L'Heudé et L'Heudé architectes – **Entreprises** : Dodin Campenon Bernard/Spie Batignolles/GTM Ouest/Legendre Génie Civil/Bottes fondation/Spie fondation – **AMO énergie** : Ecome ingénierie – **Réalisation** : 2014-2019

Cet article est extrait de **Construction Moderne n°145**

Auteur

Delphine Desveaux

Retrouvez toutes nos publications sur les ciments et bétons sur infociments.fr

Consultez les derniers projets publiés
Accédez à toutes nos archives
Abonnez-vous et gérez vos préférences
Soumettez votre projet

Article imprimé le 26/11/2026 © infociments.fr