

LE CHANTIER

Ferney-Voltaire (01)

DANS L'AIN, UN RÉSEAU DE CHALEUR UNIQUE EN FRANCE

Frontalière de la Suisse et plus précisément de Genève dont elle accueille l'aéroport international sur une partie de son territoire, **la commune de Ferney-Voltaire (Ain) est engagée dans un projet de zone d'aménagement concertée (ZAC) bas carbone**, alimentée en énergie par un réseau dit de 5^e génération reposant sur un réseau de chaleur innovant : une boucle d'eau tempérée, ou réseau d'anergie⁽¹⁾, soutenue par des champs de sondes géothermiques pour le stockage inter-saisonnier.

— REPORTAGE ET PHOTOS CHRISTINE LAIRY

Proposé par le bureau d'études franco-suisse Amstein + Walthert, ce réseau d'anergie est pionnier en France. Il consiste à récupérer la chaleur résiduelle générée par l'accélérateur de particules du CERN, voisin, pour couvrir les besoins thermiques des bâtiments de la future ZAC Ferney-Genève Innovation, via une boucle d'eau tempérée.

Cette alimentation s'opérera grâce à des pompes à chaleur réversibles qui puiseront ou injecteront dans le réseau les calories nécessaires aux besoins de chauffe ou de refroidissement des bâtiments.

Près de 45 GWh de chaleur produits annuellement

Ces besoins variant selon les saisons, les excédents de chaleur produits l'été seront stockés dans le sous-sol grâce à 174 sondes géothermiques installées à 230 mètres de profondeur par l'entreprise Celsius Energy (lire p. 42).

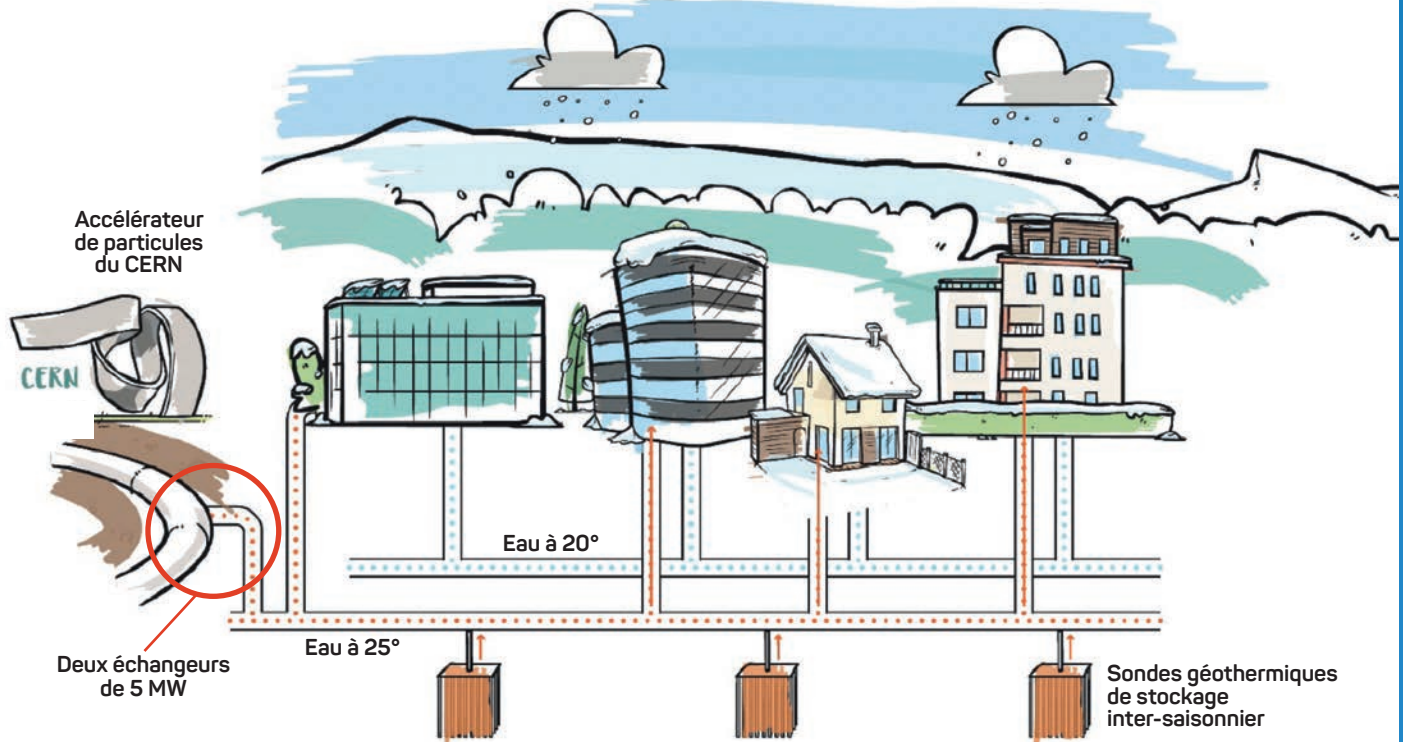
D'une longueur de 5 km, le réseau d'anergie reliera les échangeurs du CERN au réseau hydrothermique genevois GeniLac, en cours de développement, utilisant l'eau du lac Léman pour climatiser les bâtiments et les chauffer via l'ajout d'une pompe à chaleur (eau captée à 45 m de profondeur, à une température constante toute l'année, autour de 7 °C). Une centrale de production et plusieurs sous-stations seront installées pour assurer, chaque année, la distribution de 20 GWh de chaud et 5-6 GWh de froid à la future ZAC. 23 GWh supplémentaires de chaleur seront distribués à la ville de Ferney-Voltaire, hors ZAC - en effet, « nous nous sommes vite rendu compte que l'on disposait de suffisamment de chaleur pour la desservir », relève Gilles Bouvard, directeur de la société publique locale (SPL) Terrinnov, qui agit dans cette opération dans le cadre d'une concession d'aménagement.

52 % d'EnR&R en moyenne pour la future ZAC

L'accélérateur de particules du CERN (*Large Hadron Collider*, LHC) est arrêté tous les cinq ans pour une maintenance d'un an. Lors de ces arrêts, le réseau d'anergie en cours de construction sera amputé d'une grosse partie de son alimentation et fonctionnera grâce à une centrale à gaz de 18 MW. Ce qui explique pourquoi la part des énergies renouvelables et de récupération (EnR&R) dans le mix énergétique de la future ZAC Ferney-Genève Innovation sera en moyenne de 52 % - *versus* 75 % quand le LHC sera en fonctionnement, les 25 % restants correspondant à l'électricité consommée par les pompes à chaleur.

1. Concept originaire de Suisse, l'anergie désigne la composante de l'énergie qui, au contraire de l'exergie, n'effectue aucun travail dans un processus thermodynamique, et qui est à ce titre « perdue » : chaleur fatale des installations industrielles, rejets thermiques issus de la climatisation, énergie solaire reçue par les façades et les toitures, etc.

Principe du réseau d'énergie



Principe du réseau d'énergie qui va permettre d'utiliser la chaleur fatale du CERN au profit de la commune de Ferney-Voltaire et de la future ZAC Ferney Genève Innovation : l'accélérateur de particules du CERN (*Large Hadron Collider*, LHC) est un anneau de 27 km de circonférence, enfoui à 90 m de profondeur, qui « *consomme chaque année l'équivalent de la ville de Grenoble* », situe Gilles Bouvard, directeur de la SPL Terrinnov, et fonctionne 2 °C au-dessus du zéro absolu (-273,15 °C). À 2 km de la future ZAC se trouve un puits de maintenance avec des installations de refroidissement représentant un potentiel de 20 MW, dont le projet d'aménagement compte exploiter autour de 10 MW. En 2021, le CERN a mis en place deux échangeurs de 5 MW chacun, où le réseau d'énergie récupérera de l'eau à 25 °C.

Soutien financier de l'Ademe

Structure privée détenue à 100 % par des collectivités locales (*lire encadré page de droite*), la SPL Terrinnov a accompagné son actionnaire majoritaire, Pays de Gex Agglomération, sur les études techniques du projet, les études financières et le véhicule juridique le plus adapté à l'opération – le choix s'est porté sur une société d'économie mixte à opération unique (Semop), une autre entreprise publique locale baptisée Pays de Gex Énergies, qui supportera les deux tiers d'un financement estimé dans le projet initial à 30 millions d'euros : principalement les réseaux à 65 et 85 °C (et les sous-stations associées), ainsi que la centrale



LE CHANTIER EN CHIFFRES

65 hectares : surface de la future zone d'aménagement concertée (ZAC) Ferney-Genève Innovation

Plus de 400 000 m² de plancher à développer d'ici 2030, dont 202 000 m² de logements, 195 000 m² de zones d'activités économiques, et 15 000 m² d'équipements publics.

AUX MANETTES

Mandant : Pays de Gex Agglomération

Aménageur : Territoire d'Innovation (Terrinnov), société publique locale (SPL) détenue par plusieurs collectivités : Pays de Gex Agglo (60 %) ; Ferney-Voltaire ; Divonne-les-Bains ; Saint-Genis-Pouilly ; Ornex ; Ville de Gex ; département de l'Ain ; Prévessin-Moëns

Structure d'exploitation en DSP :

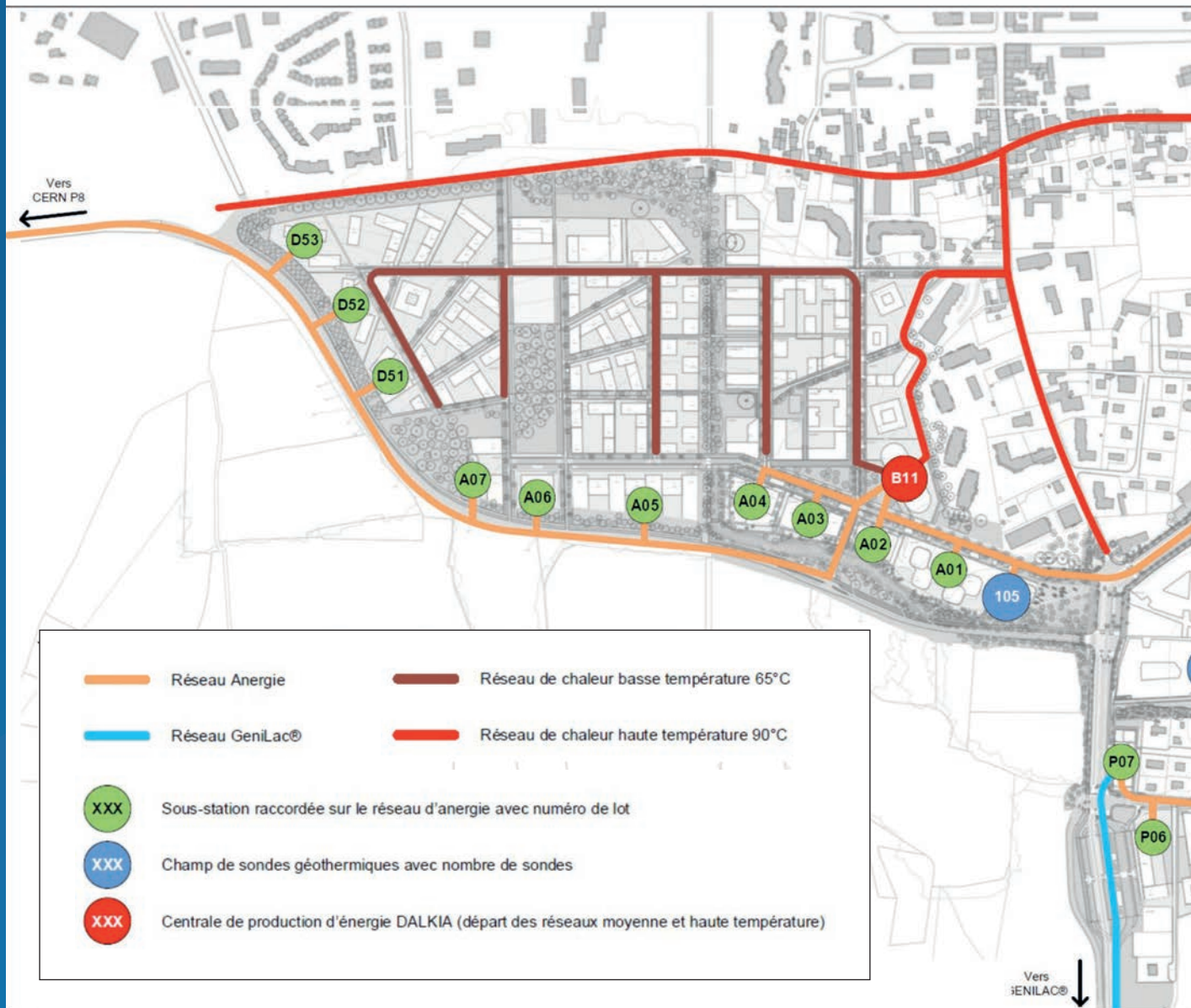
Semop Pays de Gex Énergies, détenue par Pays de Gex Agglo (34 %), Dalkia (33 %) et la Banque des Territoires (33 %)

Assistance à maîtrise d'ouvrage : Burgeap (Ginger)

LE CHANTIER

Ferney-Voltaire (01)

Plan du réseau CERN-ZAC Ferney-GéniLac



© Amstein + Walther

► de production de chaleur qui sera construite au sein du *Hotspot*, le bâtiment B11, dont il est prévu qu'il accueille aussi d'autres équipements: un parking, un *data center*, des espaces de formation et de recherche, des services à la mobilité, etc. De son côté, Terrinnov prendra en charge le tiers restant, correspondant à la boucle tempérée (réseau 20-25 °C du CERN jusqu'à la douane), les 174 sondes géothermiques destinées au stockage inter-saisonnier de chaleur (40 km) et les travaux de génie civil pour la centrale de production de chaleur du *Hotspot*.

En 2019, le projet s'est vu attribuer une subvention de 10,5 millions d'euros par l'Ademe dans le cadre du Fonds chaleur. Cette subvention a permis la prise en charge de près de 50 % des investissements de la SPL (30 % pour la Semop). Les travaux sur le bâtiment *Hotspot* ont été lancés début septembre, de même que ceux pour la liaison entre ce bâtiment et le CERN. « *Notre objectif*, annonce Gilles Bouvard, *c'est que l'exploitation puisse débuter pour l'hiver 2024-2025, autour de septembre 2024 donc.* » ●



Plan du projet initial. Sur l'épine dorsale que constitue le réseau d'énergie se connecteront tous les lots d'activité économique de l'opération, qui auront surtout besoin de froid. Chaque lot disposera de sa sous-station équipée de pompes à chaleur réversibles fournissant chaud et froid.

Un jumeau numérique pour continuer à innover

La SPL Terrinnov « *croît beaucoup en l'avenir des réseaux de 5^e génération, à boucle tempérée* » : indique son directeur Gilles Bouvard, notamment parce que l'abaissement de la température à l'intérieur de ces réseaux permet d'accéder à des sources plus nombreuses de chaleur. Ils permettent également de se connecter à d'autres vecteurs énergétiques, électriques par exemple, et offrent des perspectives intéressantes en matière de pilotage. D'où l'idée, pour profiter de ce caractère évolutif, de réaliser un jumeau numérique du réseau – la tâche a été confiée à Seed Energy, ancienne spin-off de CEA-Liten rachetée par Technip.

Accueillir de futurs démonstrateurs

Grâce à cet outil de modélisation, la SPL entend innover à chaque étape de la chaîne de valeur, au niveau tant de la production (récupération, transport et stockage de la chaleur fatale, remontée en température, distribution) que des fonctions support (pilotage et commercialisation).

Des tests ont ainsi été réalisés sur le rôle possible des réseaux d'eaux usées dans l'évacuation de chaleur (en été) ou la récupération de chaleur – l'efficacité de la première option n'a pas été démontrée par le jumeau, qui a en revanche décelé un potentiel de production de l'ordre de 3 GWh par an avec la récupération.

« *On conçoit la boucle basse température à notre main comme un système d'innovation ouvert, où l'on pourra plugger des démonstrateurs si l'on se rend compte qu'ils*

correspondent à des solutions véritablement efficaces, résume Gilles Bouvard.

Le jumeau numérique nous permet d'objectiver les choses, de distinguer ce qui relève du gadget de ce qui relève de la brique qui permettra une amélioration globale du réseau. » ●



© Terrinnov

Gilles Bouvard,
directeur de SPL Terrinnov

LE CHANTIER

Ferney-Voltaire (01)

40 KM DE SONDES GÉOTHERMIQUES EN SOUTIEN AU RÉSEAU D'ANERGIE

Le réseau d'anergie de la future ZAC Ferney-Genève Innovation a été conçu pour que les bâtiments viennent y puiser ou y injecter les calories nécessaires à leurs besoins de chaleur ou de froid. Pour stocker les excédents de chaleur produits en été, réguler la température de la boucle et la solliciter en fonction des besoins (chaud ou froid), **174 sondes géothermiques vont être posées à 230 mètres de profondeur.**

— REPORTAGE ET PHOTOS CHRISTINE LAIRY



Les premières sondes verticales ont été posées sur le lot P05 de La Poterie, où les travaux de forage ont débuté fin juillet. Ce champ devrait accueillir 16 sondes verticales et 11 inclinées, soit 27 sur les 174 attendues en soutien du réseau d'anergie de la future ZAC Ferney-Genève Innovation.



La pose de sondes verticales nécessite un minimum d'espace disponible.

Sur le champ de La Poterie en cours d'aménagement, il faut par exemple compter l'équivalent d'un demi-terrain de foot pour installer 16 sondes verticales.

Réprésentant un cumul inégalé pour un seul chantier en France (40 000 mètres linéaires) ces sondes géothermiques sont en cours d'installation sur trois champs par Celsius Energy et ses partenaires (lire encadré) pour stocker la chaleur excédentaire, réguler la température de la boucle, et la solliciter en fonction des besoins. À proximité du bâtiment B11, « centre névralgique » de la future ZAC, le site de Paimbœuf devrait accueillir 108 sondes verticales.

À La Poterie, le champ proche de l'actuel cinéma (lots P01-P02) devrait, lui, recevoir 39 sondes, dont 20 inclinées, et celui correspondant au lot P05, 27 sondes. Il s'agit à ce stade d'une implantation prévisionnelle, les projets des promoteurs étant susceptibles d'évoluer et avec eux, potentiellement, la



© Celsius Energy
Guillaume Germain,
chef de projet
chez Celsius Energy

“ Les techniques de forage varient en fonction des terrains : la technique de simple tubage s'applique aux terrains qui se tiennent bien – typiquement les formations bretonnes avec du granit ”

répartition des sondes. Au total cependant, Celsius Energy s'est engagé vis-à-vis de l'aménageur sur un linéaire de 40 000 mètres forés, soit 174 sondes. ➤➤

Champs de sondes géothermiques

Portant sur 40 000 mètres linéaires – un record en France – le marché de conception-réalisation des champs de sondes géothermiques a été remporté par un groupement d'entreprises créé *ad hoc* :

Mandataire : Celsius Energy (SLB, anciennement Schlumberger)

Cotraitant pour le forage géothermique : Augsburgers Géothermie SA (Grisoni)

Cotraitant pour le forage géothermique : Auvergne Forage (Celsius Energy)

Sous-traitant pour l'ingénierie Structure : Plantier, bureau d'études (Egis)

Sous-traitant pour l'ingénierie Géotechnique : Ménard France

Sous-traitant pour le terrassement, VRD : Établissements Nabaffa

LE CHANTIER

Ferney-Voltaire (01)



© Celsius Energy

Pour la mise en œuvre des sondes inclinées dans les espaces contraints ou déjà construits, comme les parkings, Celsius Energy a développé une plateforme de travail qui permet de stabiliser les terrains de surface et d'éviter que la machine de forage n'écrase les sondes avec ses chenilles. Brevetée, cette innovation permet de forer jusqu'à 21 puits en étoile à partir d'un seul point. « *Quand on travaille sur un puits, explique Guillaume Germain, on enlève la trappe qui protège le carré correspondant et on installe la machine sur la plateforme. On creuse le puits, on descend les sondes, on cimente, on bouche la trappe... et on peut travailler sur le puits voisin sans endommager les autres sondes.* »

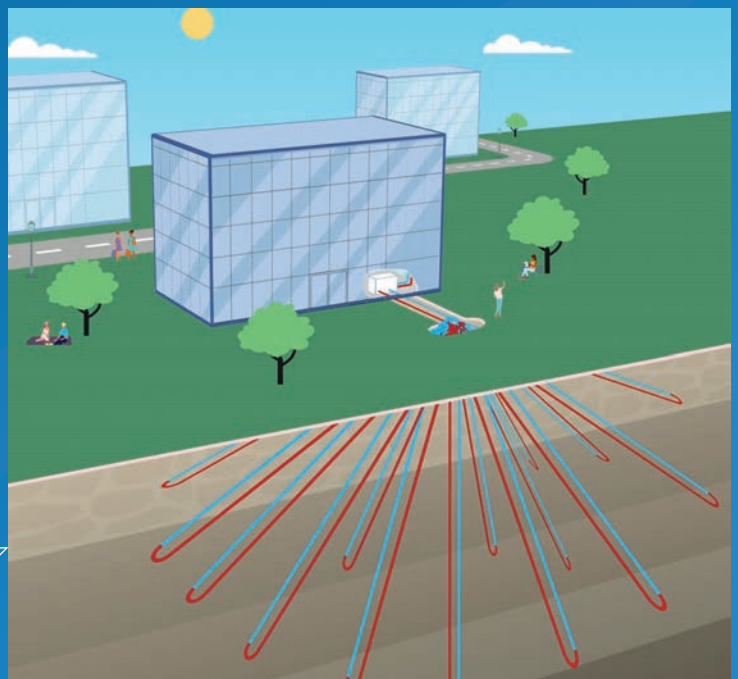
Lancement des travaux

▶▶ Après les opérations de terrassement lancées mi-juin, les travaux de forage ont débuté fin juillet 2023 sur le plus petit champ (lot P05 de La Poterie), qui doit accueillir 16 sondes verticales et 11 inclinées – Celsius Energy a rédigé un porter à connaissance à l'adresse de la Dreal pour qu'elle valide les modifications apportées au permis initial, qui prévoyait d'en réaliser seulement 14 verticales. En double U, les premières sondes verticales ont déjà été posées, selon l'espacement de 6 m prévu dans le cahier des charges. Sur ce point, « *le projet de la ZAC est un peu spécifique, explique Guillaume Germain, chef de projet chez Celsius Energy. Comme on veut y faire du stockage, on a intérêt à resserrer les sondes pour que la chaleur demeure dans un volume contraint. Si l'on voulait juste chauffer un bâtiment, on aurait tendance à éloigner un peu plus les sondes les unes des autres – normalement la distance est de 10 m –, de façon à ce que le sol se recharge le plus rapidement possible, et aussi pour minimiser les interférences thermiques.* »

Double tubage

Compte tenu des formations géologiques en présence (limons argilo-sableux puis argiles graveleuses), l'entreprise de forage utilise jusqu'à 86 m de profondeur la technique de double tubage: « *On descend à la fois un tube extérieur qui stabilise les formations, et les tiges de forage insérées dedans, détaille Guillaume* » ▶▶

La pose de sondes inclinées permet de lever les contraintes de place – et de passer sous un bâtiment par exemple. « *C'est une solution idéale pour la rénovation ou les milieux urbains assez denses* », indique Guillaume Germain, chef de projet chez Celsius Energy.



© Celsius Energy

LE CHANTIER

Ferney-Voltaire (01)



Une fois posées, les sondes géothermiques seront raccordées à un collecteur d'où partiront deux tuyaux qui iront se connecter aux pompes à chaleur des bâtiments voisins.

Lorsque le forage se fait par double tubage, une couronne (en turquoise) est vissée au bas du premier tube extérieur. Cette couronne se compose de pastilles en table de diamant PDC (*Polycrystalline Diamond Compact*) ou d'inserts en carbure de tungstène. Sur les chantiers de Ferney-Voltaire, les taillants utilisés comme outil de forage sont de type marteau fond-de-trou (en doré), avec de petits picots en carbure de tungstène : ces taillants fonctionnent par percussions, suivant la rotation de la garniture de forage.

▷▷ Germain. *On fore à la fois avec le tube extérieur (rotation vers la gauche), et avec le train de tiges (rotation vers la droite).* » Au-delà des 86 m de profondeur, « on entre dans la molasse avec une alternance de marne et de grès », une zone qui « peut être forée en simple tête », c'est-à-dire avec un simple tubage beaucoup plus rapide. Le forage s'effectue sur un diamètre de 152 mm et une profondeur de 230 m. De l'air et de l'eau sont injectés en continu pendant l'opération, de façon à remonter les déblais qui sont décantés dans un premier bassin, puis repris et passés dans un cribleur. La terre est évacuée par la société Excoffier qui les stocke dans une carrière, la partie liquide placée dans une centrifugeuse, avec des coagulants et des floculants pour retirer toutes les particules fines avant rejet de l'eau par l'évacuation créée pour le chantier – pour chaque puits, on évalue entre 10 et 15 m³ le volume d'eau rejeté.

Pose des sondes

Une fois les déblais évacués, le puits peut accueillir les fameuses sondes – des tubes en U fabriqués en PEHD, descendus gravitairement à l'aide d'un pesant en acier. « Au besoin, on les remplit d'eau pour que le poids supplémentaire les aide à finaliser la descente », précise Guillaume Germain. Le tout est ensuite cimenté, du bas vers le haut, avec un laitier « spécifique dont on maîtrise la densité et que l'on injecte par le bas des sondes » grâce à une canule. Utilisé pour maximiser les échanges thermiques, ce laitier présente une importante conductivité thermique. Il n'a pas vocation à servir de fondation. Sur le site de La Poterie, sauf aléa, l'entreprise parvient à installer une sonde en double U en un jour et demi

ou deux jours, soit deux sondes par semaine de quatre jours. Une fois qu'elles auront toutes été posées, elles seront raccordées à un collecteur d'où partiront deux tuyaux (EN 200) qui iront se connecter aux pompes à chaleur des bâtiments voisins. Et la boucle commencera à prendre sérieusement forme. ●

À La Poterie, les puits sont équipés de sondes en double U : le fluide est injecté par l'extrémité de deux tuyaux, et ressort par l'autre extrémité. En entrée, on injecte les calories ; en sortie, on les récupère. Le dernier tuyau correspond à la canule d'injection pour la cimentation.

