

Une nouvelle station d'épuration à énergie positive « La Guéville » voit le jour sur les communes de Gazeran et Rambouillet, dans les Yvelines.

L'ancienne station d'épuration construite dans les années 1970 et qui traite les eaux usées des 35 000 habitants du secteur de Rambouillet, Vieille-Église-en-Yvelines et Gazeran donnait des signes de fatigue, et ce, malgré des travaux assurés régulièrement. Le Syndicat intercommunal de la région de Rambouillet (SIRR), maître d'ouvrage du chantier, a donc décidé de faire réaliser une nouvelle station qui répondra aux dernières normes environnementales.

En 2014, l'agence de l'eau Seine Normandie a souligné la nécessité d'une refonte de la station d'épuration de La Guéville. Le SIRR prend alors l'initiative de réaliser un dossier d'autorisation au titre de la loi sur l'eau afin d'engager les aménagements nécessaires pour la mise en conformité du système d'assainissement.

À l'issue d'un diagnostic du fonctionnement de la STEP par une société d'ingénierie, et l'appel d'offres d'AMO (assistance à maîtrise d'ouvrage) fin 2015, Hydratec, filiale du groupe Setec a été retenue pour entreprendre les études et suivre les travaux.

L'appel à candidatures pour le marché travaux a été lancé en 2017, désignant OTV en tant que traiteur d'eau et mandataire, Eiffage pour la partie génie civil, Egis Eau en tant que maîtrise d'œuvre, ALH (Alain Le Houedec) en tant qu'architecte, et Veolia Eau pour l'exploitation.

Le projet de construction se compose d'un bassin d'orage enterré à une

profondeur d'environ 14 m surmonté d'un bâtiment technique de type R+1, d'un bâtiment d'exploitation, d'un bâtiment SBR, d'un bâtiment annexe et de cuves de 8 à 13 m de diamètre.

LES CONDITIONS DE SOL

Au droit du projet, la campagne de reconnaissance menée par le bureau d'études de sol Ginger CEBTP a mis en évidence des remblais, des alluvions modernes, des alluvions anciennes, des sables de Fontainebleau et du sable argileux.

La majeure partie des travaux géotechniques était concernée pas les sables de Fontainebleau qui se caractérisent localement par un fuseau granulométrique très fin et une densité importante.

LA SOLUTION PROPOSÉE PAR KELLER

Les travaux confiés à Keller ont consisté en la réalisation d'une paroi moulée et d'un bouchon étanche, ancrés par des

micropieux pour le bassin d'orage circulaire, de pieux à la tarière creuse pour le bassin SBR et d'inclusions rigides sous les fondations du futur bâtiment d'exploitation. Un bâtiment technique rectangulaire en R+1 surmontera le bassin d'orage circulaire.

Keller est intervenu dès 2017 pour accompagner son client Eiffage dans la conception de la paroi moulée, des pieux et de la solution variante en inclusions rigides, en réalisant notamment le prédimensionnement de la paroi moulée et en répondant aux nombreuses questions pendant la phase de conception du projet.

La réalisation d'une étude hydrogéologique en 2019 a montré que les perméabilités du sol en place étaient plus importantes que prévu, ce qui a conduit Eiffage à imaginer la réalisation d'un bouchon en jet-grouting épais, ancré par des micropieux pour ramener le débit d'exhaure de 400 m³/h à moins de 50 m³/h lors du rabattement de nappe sur 13 à 14 m.

Dans une approche compétitive en tant que potentiel sous-traitant d'Eiffage, Keller a proposé d'optimiser la conception du bouchon ancré par micropieux sur la base de l'expérience internationale issue du groupe pour ce type de procédé. Le challenge pour ce projet a été de vérifier non seulement la stabilité générale du bouchon sous une pression d'eau de 140 kPa, mais surtout les sollicitations de flexion, de compression et de cisaillement dans le jet-grouting. Les points sensibles se situaient au centre du bassin pour la flexion et au niveau de l'accrochage avec les micropieux et au contact bouchon paroi moulée. Il a fallu intervenir sur les paramètres principaux suivants pour réduire au maximum les contraintes dans le bouchon de jet-grouting : maillage des micropieux, diamètre des micropieux et épaisseur du bouchon. La modélisation



Vue aérienne actuelle et nouvelle STEP.



Atelier paroi moulée.

a été effectuée en 3D à partir du logiciel Plaxis pour également tenir compte de l'approfondissement localisé du radier à 16 m de profondeur.

Sur la base de cette solution, Eiffage a retenu Keller comme sous-traitant sur l'opération en octobre 2019 pour la réalisation des travaux de fondations ; paroi moulée, bouchon étanche ancré par micropieux, pieux à la tarière creuse et inclusions rigides.

LA RÉALISATION DES TRAVAUX

En amont des travaux de fondations, des travaux de sécurisation de la zone ont été réalisés. Cela comprenait le désamiantage des bâtiments existants, les démolitions et dévoiements de câble haute tension et des réseaux enterrés. Afin de soutenir les terres côté RD906 et de la route intérieure de la STEP, un rideau de palplanches autostable a été installé à partir du TN actuel à 142 NGF. En effet, une excavation de 4 à 5 m de profondeur était prévue pour obtenir une plateforme de travail à la cote 138 NGF.

DÉBUT DU PRÉ-TERRASSEMENT

Le pré-terrassement à la cote 140 NGF s'est achevé en juillet 2019, et une plateforme de travail a été réalisée en même temps dans la zone du bassin d'orage. Le fond de fouille du bassin d'orage sera situé à environ 14 m de profondeur, avec un approfondissement local à 16 m, ce qui nécessite la réalisation d'une paroi moulée afin de soutenir les terres pendant la phase de terrassement.

LA PAROI MOULÉE

La paroi moulée circulaire a été réalisée préalablement à l'excavation afin de soutenir les terres en phase provisoire et en phase définitive, d'assurer la capacité portante du bâtiment rectangulaire surmontant le bassin d'orage et de protéger la fouille contre les venues d'eaux.

L'atelier de paroi moulée était composé d'une centrale de fabrication de bentonite de type TWM30, d'un porteur de type HS8100 équipé d'une benne à câbles et d'une grue mobile sur chenille pour toutes les opérations de levage. La paroi découverte après quelques semaines de terrassements était ensuite livrée « brute de décoffrage », après un simple rabotage surfacique.

Les dimensions principales de la paroi moulée sont les suivantes :

- 36 m de diamètre ;
- épaisseur : 52 cm ;
- hauteur de la paroi : 18,5 m.

Les travaux de paroi moulée ont démarré en fin d'année 2019 par l'installation du matériel, et se sont déroulés jusqu'en février 2020, avant que l'ensemble du chantier ne soit interrompu par la crise sanitaire.

ÉTANCHÉITÉ

L'atelier de jet-grouting a été installé sur chantier en juin 2020. Keller a mis à disposition : une centrale de fabrication de coulis type TWM30, une foreuse de sa propre fabrication « KB7 », ainsi que des technologies développées au fil des années de l'expérience acquise. L'objectif a été de réaliser un bouchon à la base de la paroi moulée à l'aide de

LE CHANTIER EN QUELQUES CHIFFRES

- 12 000 h travaillées avec 0 accident
- 1 500 m³ de béton mis en place
- 3 500 t de ciment
- 410 t d'armatures

NOMS DES INTERVENANTS

- Maître d'ouvrage : SIRR
- Maître d'œuvre : Egis
- Entreprise générale : Eiffage
- Bureau de contrôle : Qualiconsult
- Bureau d'études de sol : Ginger CEBTP/ Esiris
- Fondations spéciales : Keller Fondations Spéciales
- Micropieux : TemoSol
- Terrassements : Poullard
- Armatures : Ruhl Group
- Béton : SMBP & Cemex

colonnes sécantes en jet-grouting de 2,8 m de diamètre. La technique du jet-grouting consiste à éroder le sol en profondeur, grâce à l'injection d'un coulis de ciment sous forme d'un jet rotatif haute pression (> 400 bar), permettant de réaliser des colonnes de grand diamètre constituées du mélange sol/ciment.

La méthodologie définie peut être décrite comme suit : le découpage du volume de sol se fait selon un (ou plusieurs) jet horizontal ou incliné d'un fluide à très haute énergie, à travers une (ou plusieurs) buse en mouvement. Ce procédé permet de détruire le sol grâce à l'impact du (ou des) jet sur celui-ci. En général, on utilise une à deux buses (la deuxième étant alors légèrement inclinée afin de « hacher » plus efficacement les résidus de la première déstructuration), ayant un mouvement de rotation et d'ascension constant.

L'évacuation des rejets de découpage s'effectue à l'aide d'un évent de grande taille par lequel les boues peuvent remonter jusqu'à la surface. Celle-ci est réalisée simplement à l'aide d'un alésoir situé environ 30 cm au-dessus de l'outil de forage et d'injection, élargissant ainsi le trou de forage pour laisser un vide annulaire autour du train de tiges permettant le passage des boues. Afin de pouvoir assurer la remontée des ...



Vue du site avant excavation.

... plus gros éléments, un jet d'air est également envoyé sous forme de microbulles, afin de compenser grâce à leur forte vitesse ascensionnelle, le poids des plus gros éléments de sol découpé. Ce procédé dénommé « *air lift* » est intimement dépendant des caractéristiques de l'évent.

En outre, ce jet d'air est injecté à travers une (ou plusieurs) buse de façon annulaire autour du (ou des) jet de fluide de découpage. En effet, l'existence d'une « gaine » d'air autour du jet de coupe limite fortement les frottements – jet/milieu environnant –, et augmente ainsi l'efficacité du jet (obtenir de grands diamètres de colonnes). La substitution des boues de découpage par un matériau faisant prise est nécessaire afin d'obtenir un matériau homogène et ayant des caractéristiques voisines de celles d'un béton. Cette substitution se fait naturellement en utilisant comme fluide pour le/les jets de coupe un coulis de ciment. Le découpage et la substitution ne

représentent donc dans ce cas qu'une seule et même opération. Le béton de sol ainsi formé présente les caractéristiques souhaitées.

Le bouchon a été retenu en phase provisoire par l'intermédiaire de micropieux, de 175 mm de diamètre, ancrés à 32,5 m de profondeur. Ces micropieux ont été réalisés par le sous-traitant Temsol.

« La réussite du chantier repose sur des équipes d'exécution de grande qualité, qui se sont relayées tout au long de la réalisation de ce chantier pluritechniques au long cours. Il convient de souligner leur savoir-faire », souligne Amine Yaici, ingénieur travaux principal, Keller.

LES PIEUX

Le bâtiment SBR est fondé sur des pieux CFA type tarière creuse descendus entre 8 et 13 m de profondeur et de diamètres allant de 430 mm à 820 mm. L'ensemble des pieux ont été équipés de Recépieux afin de faciliter le recépage de ces derniers. Environ 1 200 ml de pieux ont été réalisés grâce à l'une de nos foreuses type LB24 en septembre 2020.

INCLUSIONS RIGIDES

À ce jour, l'ensemble des travaux de Keller ont été effectués à l'exception des inclusions rigides sous les fondations du bâtiment d'exploitation qui seront réalisées fin 2021-début 2022, une fois les travaux de génie civil du bassin d'orage et du bâtiment technique achevés.

CONTRÔLES

Les essais de contrôle ont été confiés au laboratoire Geolabtest. Quelque 30 essais d'impédances ont été réalisés

sur les pieux, près de 160 éprouvettes écrasées (entre le béton pour pieux et la paroi moulée et les éprouvettes de coulis et de *spoils*), 13 trajets d'auscultation soniques et un essai de traction sur le complexe jet-grouting – micropieux. L'ensemble des résultats atteste de la conformité des ouvrages réalisés.

LES RÉSULTATS CONSTATÉS

Le débit d'exhaure, relevé lors de l'essai de pompage avant terrassement du bassin, a été bien inférieur à l'objectif de 50 m³/h, permettant de valider la bonne exécution du bouchon étanche. Les travaux de terrassement et de coulage du radier de l'ouvrage ont eu lieu en mars et avril 2021 sans difficulté avec un débit de pompage encore moindre.



Gaelick Cavanna, directeur agence Paris, Keller.

Ce design innovant du bouchon tirant d'épaisseur variable, fondé sur l'expérience internationale de Keller en matière de jet-grouting démontre l'efficacité de solutions techniques combinant à la fois des méthodes éprouvées, telles que la paroi moulée, avec des techniques connues de manière moins extensive sur le marché français, telles que le jet-grouting à haute énergie. La réussite de ce type de projet repose sur la capacité de l'entreprise de pouvoir réaliser en interne à la fois les études d'exécution et leurs optimisations, et de maîtriser tout le panel technique des travaux de fondations.

« L'une des spécificités de ce chantier est de mixer plusieurs techniques afin d'apporter une solution optimale à notre client Eiffage. Notre équipe parisienne, installée depuis plus de 20 ans à Rungis, est fière de pouvoir contribuer à ce beau projet qui répond aussi à des enjeux environnementaux », conclut Gaelick Cavanna, directeur d'agence, Keller. ■

Leena Veerasamy
et Cyril Coppalle de Keller



Vue sur la paroi moulée.