

Reprise en sous-œuvre par la technique du double jet-grouting pour un ouvrage d'art à Lyon

Depuis le début de 2020, la Métropole et la Ville de Lyon ont placé le projet Lyon Part-Dieu au cœur des actions avec un objectif de taille : répondre aux grands enjeux de transition écologique et sociale.

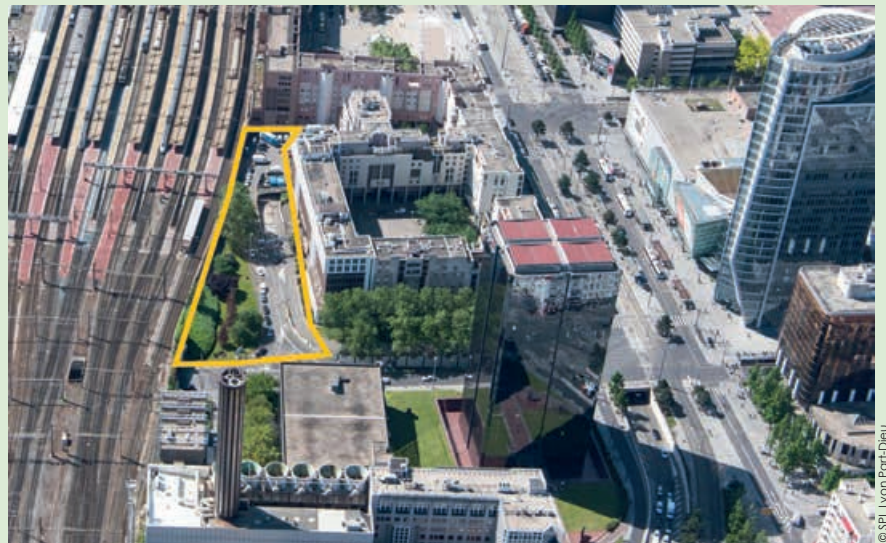
Le quartier de La Part-Dieu est situé au cœur de la métropole lyonnaise dans le 3^e arrondissement de la ville de Lyon, sur la rive est du Rhône.

Le plan d'action appelle à développer pour ce quartier de nouveaux usages, de nouvelles mobilités et un nouveau cadre de vie et d'habitat. Le but de ce programme est de créer d'ici 2029 une ville plus résiliente et inclusive, en accordant une importance primordiale à la nature, aux mobilités actives et respectueuses de l'environnement. Et pour y parvenir, la Métropole et la Ville de Lyon, accompagnées par la SPL* Lyon Part-Dieu, ont fixé de nouvelles orientations à ce projet urbain.

TRANSFORMATION DU PÔLE D'ÉCHANGES MULTIMODAL, UN PROJET DE TAILLE

C'est dans ce cadre de transformation que le pôle d'échanges multimodal (PEM), la SPL Lyon Part-Dieu a construit un tunnel de sortie du parking Béraudier vers la rue Servient, qui est situé au cœur du nouveau PEM. Ce projet consiste à établir un tunnel reliant les infrastructures souterraines situées sous la place Béraudier (N-2) à la rue Servient.

À terme, le projet permettra de faciliter l'accès aux futurs parkings, à la zone de



Vue globale du chantier.

taxis et à la zone de dépose-minute de la gare, tout en préservant les espaces publics en surface destinés aux piétons, cyclistes et transports en commun.

Keller est intervenu sur les travaux souterrains du tunnel existant qui était anciennement l'entrée pour véhicule léger du dépose-minute et de la desserte taxi de la gare de Lyon-Part-Dieu. Il s'agit de l'ouvrage «SBO», l'une des deux sorties du complexe parking Béraudier.

Il relie le Parking Place Basse (PPB)** à la rue de Bonnel, située au nord du parking. La SBO commence à l'angle nord-est au niveau -1 (ou S1) du parking, passe sous le bâtiment B5, la cour à marchandises SNCF, puis débouche à l'est du bâtiment B12 de l'îlot de Milan, avant de venir se connecter aux nouveaux aménagements du carrefour avec la rue de Bonnel. L'ouvrage est composé d'une trémie couverte et d'une trémie ouverte. Le sens de circulation est unidirectionnel avec un nombre de voies de circulation variant entre 1 et 2 voies. La longueur de la trémie couverte est d'environ 90 m de longueur et celle de la trémie ouverte est d'environ 60 m de longueur. L'ouvrage dans l'état était limité aux véhicules légers avec un gabarit de 2,10 m. L'objectif des travaux était d'augmenter la hauteur libre à 4,50 m afin de permettre la circulation de poids lourds.

Il était donc nécessaire d'approfondir d'au moins 2 m le radier de l'ouvrage tout en gardant la structure existante. Cela impliquait la suppression du radier en pied qui reprenait la poussée du sol sur les parois, de creuser au pied des parois, qui reprenaient elles-mêmes la charge de la dalle du rez-de-chaussée, le tout en travaillant avec un gabarit limité à 2,10 m dans la galerie originelle.



Vue sur la galerie et les travaux de soutènement.

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

En présence de sols composés de sables et graviers avec très peu de fines sur des hauteurs très importantes, caractéristique typique de la géologie du quartier, la présence de la nappe était à prendre en considération dans la définition des travaux. En effet, ces matériaux sont particulièrement ouverts avec des perméabilités de l'ordre de $4,10^{-3}$ m/s, d'autant que la nappe phréatique est au niveau du radier existant, soit plus de 2 m au-dessus du futur fond de fouille.

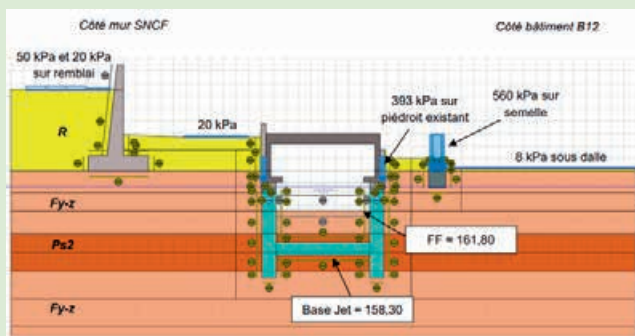
ÉTUDES ET DIMENSIONNEMENT

Keller et le mandataire Razel-Bec ont uni leurs forces et leurs savoir-faire pour proposer la méthodologie la mieux adaptée au projet.

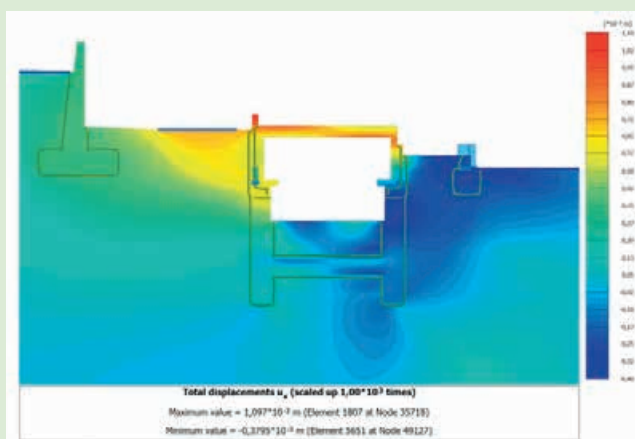
Partant d'un appel d'offres déjà bien étudié par le MOE Setec, prévoyant de la reprise en sous-œuvre par la technique jet-grouting, de tirants et d'un bouchon injecté en tube à manchette, le groupement Keller/Razel a proposé d'optimiser le phasage de la manière suivante :

- après carottage du radier, réalisation du jet-grouting pour la reprise en sous-œuvre des murs en mur poids et d'un radier poids en jet grouting, également. Ce radier reprend les sous-pressions de la nappe lors du terrassement, et butonne les murs poids en jet grouting ;
- réalisation du butonnage de la structure en V inversé, puis découpage et évacuation du radier ;
- pompage des eaux résiduelles, terrassements puis reconstruction du radier et renforcement des murs.

Keller a porté une attention spécifique au dimensionnement du jet-grouting, qui reprenait les poussées hydrostatiques sur les 2 m terrassés ainsi que sous le radier. Ce dimensionnement conduisait à une résistance à la compression de 8 MPa du jet-grouting, qui est atteignable dans ce sol, selon l'expérience



Coupe étudiée.



Déformée obtenue inférieure au cm.




Installation prisme pour une station totale.

de Keller, moyennant un dosage de ciment approprié. De plus, le jet-grouting devait être suffisamment étanche pour permettre de travailler avec des débits de pompage faibles.



Le dimensionnement global, réalisé avec des géométries de jet-grouting qui sont propres au savoir-faire de Keller et des modélisations sur le logiciel Plaxis ont permis d'anticiper des déplacements horizontaux inférieurs au centimètre.

LE MATÉRIEL DE FORAGE HABILE ET DES POINTS DE CONTRÔLES RIGoureux


Keller a déployé un atelier de jet-grouting composé d'une foreuse de petite hauteur ainsi que des moniteurs fabriqués dans les usines du groupe, afin de produire dans des espaces contraints des colonnes de jet-grouting d'un diamètre de 3 m pour le radier et des demi-colonnes de 2,5 m placés sous les murs existants. ...




Génie Civil, Fondations, Travaux Publics & VRD


- ☛ Prestations de génie civil sur tous types de projets : reprises en sous-œuvre, dalles et dallages en béton armé, murs de soutènement, etc.
- ☛ Spécialisation en fondations : poutre de couronnement, murettes-guide pour paroi moulée et pieux sécants, dalles pour silos et dallages, etc.



Équipe de 25 personnes qualifiées



France & Pays limitrophes



Plus de 25 ans d'expérience

axeltravaux@groupepoisson.com

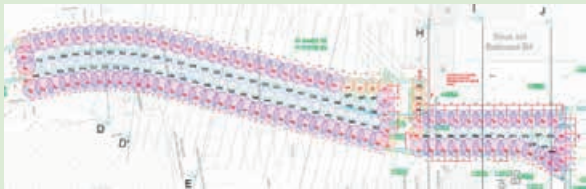
01 64 42 59 56

www.groupepoisson.com

••• Au total, plus de 170 colonnes et demi-colonnes de grands diamètres permettant de répondre au challenge de ce site ont été réalisées entre 10 et 12 m de profondeur. Le radier d'un mètre en jet-grouting a prouvé son efficacité, comparé à la solution d'origine préconisant la réalisation d'un bouchon injecté de 5 m d'épaisseur. 5 carottages ont permis de valider la bonne réalisation des colonnes, en particulier le bon contact entre les structures existantes et le jet-grouting, et ainsi, garantir l'étanchéité du système et le bon report des charges.

L'assistance par la technologie brevetée ACI a permis de mesurer le diamètre des premières colonnes en temps réel et de valider la géométrie retenue.

Outre les carottages et les contrôles de diamètre, d'autres contrôles ont été réalisés pendant le chantier. Des essais d'écrasement d'éprouvettes ainsi que des essais de viscosité et de densité ont été réalisés quotidiennement sur les coulis. Des mesures à l'inclinomètre ont été faites sur les colonnes d'essais permettant de valider que la déviation potentielle du forage restait bien inférieure à 1 %.



Jet-grouting au niveau du radier.



Jet-grouting au niveau du radier suite.

UN CHANTIER EN SITE URBAIN ET CONTRAINT

Le chantier se trouvait entre un immeuble de bureau en activité et les voies de chemin de fer de la gare Lyon-Part-Dieu. Pour répondre à ces contraintes urbaines, une centrale à coulis avec 2 silos horizontaux a été mise en place permettant de réduire l'emprise au sol de celle-ci à la taille d'un conteneur standard.

La proximité des voies SNCF interdisant tout vibrofonçage, les palplanches, formant un rideau en courbe, ont été mises en fiche par battage par notre partenaire DFC Battage.

Une autre contrainte était que les livraisons de ciment ou de matériel, ainsi que les évacuations de *spoils* devaient être gérées par le centre de régulation du chantier de La Part-Dieu. Une organisation rigoureuse en amont a permis d'anticiper et de gérer cette contrainte.

Enfin, la configuration du chantier se présentant comme une trémie fermée à son extrémité imposait de minimiser le recouvrement des tâches pour un avancement optimal. Les délais tenus pour chaque tâche définie ont permis de respecter le planning global prévu ainsi que les jalons intermédiaires, dont certains se trouvaient sur le chemin critique du projet global d'aménagement de La Part-Dieu.

Les travaux de jet-grouting ont duré 3 mois.

LES TECHNIQUES D'AUSCULTATION MISES EN PLACE

D'autres contraintes ont également été prises en compte par la filiale de Keller spécialisée en monitoring de structures: GEO-Instruments.

Un suivi structurel, géotechnique et environnemental des avoisinants pendant les travaux a été mis en place. Ce suivi automatisé a été piloté par la plateforme en ligne Quickview, permettant d'émettre des alertes et rapports automatiques.

Les ouvrages existants en surface, ainsi que le mur mitoyen soutenant une voie SNCF ont été auscultés par une station totale robotisée avec plus de 50 prismes optiques. L'auscultation topographique a permis de délivrer une prestation entièrement automatisée, avec une précision inférieure au millimètre. Ces données spatiales ont ensuite été utilisées pour calculer les valeurs dérivées, telle l'inclinaison des parois, celle-ci étant sujette à des seuils d'alerte.

Les avoisinants ont été équipés de 24 cellules de nivellement hydrostatiques pour apporter un suivi submillimétrique des mouvements verticaux, crucial lors de ce type de travaux. Cette solution permet d'équiper les éléments structurels à l'intérieur des avoisinants et contrôler leur stabilité, en s'affranchissant des limites du suivi topographique qui nécessite une ligne de vue directe. Les cellules de nivellement ont alors été déployées au sein des parkings et anciens tunnels existants, afin de garantir un nivellement automatisé et connecté sur toute la durée du projet.

GEO-Instruments a déployé 2 piézomètres automatisés de part et d'autre de la rampe d'accès. Ceux-ci n'ont pas nécessité d'intervention en 17 mois, en rapportant le niveau de la nappe, nécessaire au bon déroulement du projet.

Enfin, 3 stations environnementales indépendantes ont été déployées en surface pour apporter un suivi des niveaux de bruit et vibratoires sur toute la durée du projet. Ces mesures ont permis de fournir des garanties quant au respect des seuils réglementaires et de préciser les niveaux d'exposition au bruit et aux vibrations du public causés par le chantier.

«Un challenge inattendu fut lié à la géologie du site. Le jet-grouting était par moment dans des horizons de gravillons très propres, qui remontaient en surface grâce à l'air, mais qui devenaient ensuite impossibles à pomper. Du fait de la hauteur limitée à 2 m, l'évacuation à la pelle n'était pas envisageable. Mais l'équipe travaux a relevé le challenge avec une procédure spécifique de récupération des spoils à l'aide de chargeurs de type Bobcat», commente Benoit Paineau, responsable commercial grands projets.



Benoit Paineau

QUELQUES CHIFFRES

- 1 280 ml de forage ;
- Colonnes de jet-grouting de 2,5 à 3 m de diamètre ;
- Hauteur limitée : 3 m.

Sur cette opération, Keller a montré que grâce à son matériel et la technologie du jet double, il est possible de réaliser des colonnes dépassant les 3 m de diamètre, et ce, malgré les contraintes liées à l'espace confiné et à son emplacement plutôt dense et urbain. La surveillance des ouvrages a confirmé que ces colonnes à grand diamètre de 2,5 m n'ont engendré aucun déplacement significatif en reprise en sous-œuvre. L'expérience de Keller démontre que le jet-grouting double est plus sûr que le jet-grouting simple pour la majorité des reprises en sous-œuvre, car le flux d'air aide les terrains découpés à remonter dans l'espace annulaire du forage. Une belle contribution pour faciliter la circulation souterraine près de la gare. ■

Leena Veerasamy, Keller

Jean-Sébastien Didier, directeur d'agence Lyon Keller

* Société publique locale (SPL) Lyon Part-Dieu

** PPB : Parking Place Basse est le parking qui se situera sous le niveau de la place Béraudier qui est devant la gare Part-Dieu