

Investigations géotechniques et géophysiques du projet de passage souterrain entre la Gare Magenta et la Gare de l'Est

Geotechnical and geophysical investigations for the underground passage project between Gare Magenta and Gare de l'Est

Nadjib DJEBROUN, Charlotte CZABANSKI, Brahim BENZIANE, Yassine LAHMADI, Audrey MARTIN

SNCF RESEAU, 15/17 rue Jean-Philippe Rameau 93418 La Plaine Saint-Denis, France

nadjib.djebroun@reseau.sncf.fr

RESUME : Cet article présente l'ensemble des investigations géophysiques et géotechniques réalisées dans le cadre de l'étude de conception du projet de création d'un nouveau passage souterrain reliant la gare de l'Est à la gare Magenta, dans le 10^e arrondissement de la commune de Paris. Ce passage s'inscrit dans le projet CDG Express, destiné à relier la gare de l'Est à l'aéroport Roissy–Charles de Gaulle et vise à améliorer la fluidité des correspondances pour les voyageurs. La conception de ce passage souterrain a nécessité l'exécution d'une campagne d'investigations détaillée afin de caractériser les sols et d'identifier les contraintes et les aléas géotechniques au droit de la zone d'influence géotechnique de l'ouvrage. La réalisation de ces sondages in situ a représenté un défi majeur compte-tenu notamment de la complexité de l'environnement urbain : voiries parisiennes, immeuble à caractère patrimonial, densité élevée des réseaux enterrés, interventions en sous-sol, emprises réduites et contraintes liées à l'exploitation ferroviaire. L'analyse et l'interprétation des résultats de ces investigations mène à l'élaboration de la synthèse géotechnique indispensable pour la phase d'étude de conception des ouvrages et la sécurisation du projet.

Seront présentés dans cet article : les reconnaissances non destructives de type géophysique, les sondages géotechniques in situ et les sondages de diagnostic des ouvrages existants.

ABSTRACT: This article presents all the geophysical and geotechnical investigations carried out as part of the design study for the project to create a new underground passage linking Gare de l'Est to Gare Magenta, in the 10th arrondissement of Paris. This passage is part of the CDG Express project, designed to connect Gare de l'Est to Roissy-Charles de Gaulle airport and aims to improve the fluidity of connections for travelers. The design of this underground passage required the execution of a detailed investigation campaign to characterize the soils and identify the constraints and geotechnical hazards within the geotechnical influence zone of the structure. The realization of these in-situ surveys represented a major challenge due in particular to the complexity of the urban environment: Parisian roads, buildings of heritage character, high density of buried networks, underground interventions, reduced work area, and constraints related to railway operations. The analysis and interpretation of the results of these investigations lead to the development of the essential geotechnical synthesis for the design study phase of the structures and the securing of the project.

This article will present: non-destructive geophysical surveys, in-situ geotechnical borings, and diagnostic investigations of existing structures.

Mots-clés: Investigations ; reconnaissances ; passage souterrain ; géotechnique ; géophysique

1 INTRODUCTION

Le projet CDG Express, destiné à relier la gare de l'Est à l'aéroport Roissy–Charles de Gaulle, s'accompagne de la création d'un nouveau passage souterrain reliant les gares de l'Est et Magenta, au cœur du 10^e arrondissement de Paris. Dans ce secteur, la maîtrise des aléas géotechniques et des risques associés pour les ouvrages existants dépend principalement de la qualité de la campagne d'investigations préalables, qui constitue un enjeu majeur avant toute phase de conception détaillée.

La zone d'étude se situe dans un environnement urbain dense, caractérisé par :

- Une forte densité de réseaux enterrés (canalisations des eaux de Paris, gaz, électricité, télécommunications, assainissement), souvent anciens, parfois mal géolocalisés ;
 - Des emprises limitées sur voirie, entraînant de fortes contraintes vis-à-vis de l'implantation des sondages et des dispositifs de reconnaissance ;
- Dans ce contexte, l'enjeu principal n'est pas limité à déterminer les paramètres géotechniques caractéristiques des différents horizons géologiques, mais à organiser et à adapter la campagne d'investigations de façon à :
- Limiter les risques vis-à-vis des réseaux enterrés et des ouvrages existants ;
 - S'insérer dans un environnement exploité (trafic ferroviaire, circulation routière, flux voyageurs) ;
 - Garantir un niveau de reconnaissance conforme aux exigences de la norme NF P 94-500 (missions G1 à G5) et de l'Eurocode 7.

L'approche retenue s'appuie sur une combinaison de méthodes :

- Des reconnaissances non destructives de type géophysique, utilisées en amont afin de détecter les ouvrages enterrés et d'optimiser l'implantation des sondages ;
- Des investigations géotechniques in situ (sondages carottés, essais pressiométriques, essais en forage), adaptées aux contraintes d'accessibilité et aux risques liés à la présence de réseaux enterrés ;
- Des sondages de diagnostic des ouvrages existants, destinés à caractériser les structures enterrées et leurs interfaces avec les sols.

La mise en œuvre de ces investigations a nécessité :

- Une ingénierie d'implantation précise de l'ensemble des sondages, intégrant la cartographie des réseaux, le phasage des interventions et les adaptations locales sur site ;

- Une coordination étroite entre Maîtres d'Ouvrage, géotechniciens, géophysiciens, exploitants ferroviaires et gestionnaires de réseaux ;

L'objectif de cet article est de présenter le retour d'expérience de cette campagne d'investigations, en mettant l'accent sur :

- Les méthodes déployées (géophysiques, géotechniques et diagnostics d'ouvrages) et leur complémentarité ;
- Les principales contraintes rencontrées (milieu urbain dense, présence de réseaux, contexte ferroviaire) et les solutions opérationnelles mises en œuvre pour y répondre ;
- Les enseignements tirés pour la conception et la conduite de campagnes similaires en milieu urbain dense et en contexte ferroviaire.

L'article est structuré de la manière suivante :

- Une présentation du contexte du site et des contraintes d'environnement ;
- Une description du projet et des méthodologies d'investigation (géophysique, sondages géotechniques, diagnostics d'ouvrages) ;
- Une analyse des principales contraintes et enjeux rencontrés sur le terrain, impactant les investigations et le projet de PaSo ;
- Une synthèse des enseignements et des recommandations pour les futurs projets d'ouvrages souterrains en contexte urbain ferroviaire.

2 DESCRIPTION DU PROJET

2.1 Localisation

Le projet consiste en la réalisation d'un passage souterrain implanté entre le niveau N-1 de l'immeuble situé au 50 rue d'Alsace et le niveau -2 de la gare Magenta, soit au croisement de la rue Lafayette, de la rue d'Alsace et de la rue d'Aqueduc.

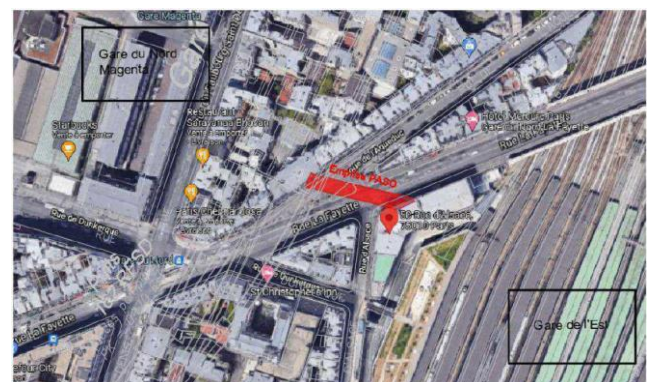


Figure 1: Implantation du passage souterrain

2.2 Description de l'ouvrage projeté

Le passage souterrain (PaSo) est une galerie souterraine de 50 m de longueur environ avec une pente descendante de 3,9 % d'Est en Ouest. La section excavée projetée est d'environ 35 m² pour une largeur de l'ordre de 7,40 m et une hauteur d'environ 5,50 m. L'épaisseur de terrain de couverture varie entre 5 et 7 m. Ce passage souterrain permettra d'assurer la liaison entre la Gare Magenta (pôle Paris Nord) et le bâtiment SNCF situé au 50 rue d'Alsace (pôle Paris Est).

La solution technique retenue pour la réalisation de l'ouvrage consiste en la création d'une galerie reliant la station Magenta avec une attaque réalisée depuis le niveau R-1 du bâtiment situé 50 Rue d'Alsace vers la station Magenta. Outre le percement au niveau de cet immeuble et depuis le niveau N-2 de la gare Magenta, la réalisation de cette galerie implique la démolition partielle du puits Saint Vincent existant, intercepté par le PaSo. Il est à noter que ce puits est actuellement comblé par un coulis de cendres volantes et un coulis de ciment.

déformations induites au niveau de la chaussée, des réseaux existants, des immeubles et des infrastructures avoisinantes à un niveau jugé acceptable.

2.4 Contexte géologique

Selon la carte géologique de Paris à l'échelle 1/50 000, les formations géologiques susceptibles d'être rencontrées au droit de l'ouvrage depuis la surface sont les suivantes :

- Remblais anthropiques,
- Eboulis des Masses et Marnes du Gypse (E),
- Masses et Marnes du Gypse - (e7G) et Marnes à Pholadomyes - 4e Masse du Gypse (horizons exploités dans le secteur) - (e6-7MGC),
- Sables de Monceau ou Sables Verts - (e6SM),
- Calcaire de Saint-Ouen - (e6CSO),
- Sables de Beauchamp - (e6SB-A),
- Marnes et Caillasses - (e5MC),
- Calcaire Grossier (e5CG).

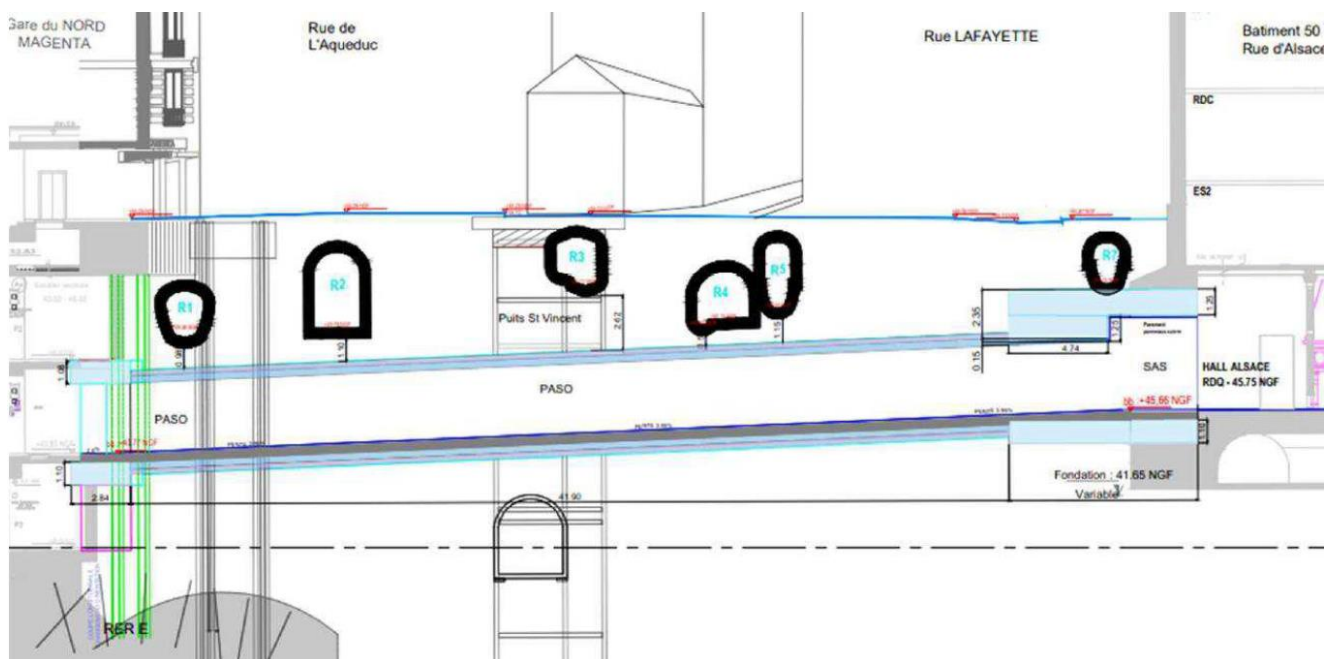


Figure 2: Coupe longitudinale du projet

2.3 Méthode d'exécution

Le creusement de la galerie souterraine est envisagé selon des méthodes conventionnelles, avec une attaque projetée depuis le bâtiment situé au 50 rue d'Alsace. Cette attaque sera réalisée au sein des Remblais de carrière ayant préalablement fait l'objet de travaux d'injections de consolidation de sols.

Les méthodes d'excavation visent à garantir la stabilité de la voûte et du front de taille, tout en limitant les

2.5 Reconnaissances réalisées dans le cadre du projet de PaSo

2.5.1 Campagne de reconnaissance en phase EP

Cette campagne réalisée par GEOTEC en Novembre 2017 et Janvier 2018 comprend :

- 1 sondage carotté (EP-SC1) de 20 m de profondeur.

- 2 sondages pressiométriques (EP-SP2 et EP-SP3), descendus à 55 m de profondeur. Une mesure de diagraphie Gamma-Ray a été réalisée au droit du sondage EP-SP3.

2.5.2 Reconnaissance en phase PRO

La campagne de reconnaissances géotechniques de niveau G2 PRO, réalisée par HYDROGÉOTECHNIQUE entre Novembre 2020 et Mars 2021, a consisté en :

- La réalisation de sondages carottés et pressiométriques :
 - 3 sondages carottés (AVP-SC4, SC5 et SC7) descendus de 17,3 m à 55 m de profondeur. Le sondage AVP-SC7 a fait l'objet d'une mesure de diagraphie Gamma-Ray.
 - 3 sondages pressiométriques avec enregistrement de paramètres AVP-SP4, SP5 et SP7, descendus jusqu'à 20 à 30 m de profondeur. Les sondages AVP-SP4 et AVP-SP5 ont été prolongés en sondages destructifs jusqu'à respectivement 57 et 54,4 m de profondeur. Des mesures de diagraphies Gamma-Ray ont été réalisées dans l'ensemble de ces sondages.
- La réalisation d'un diagnostic géotechnique G5 au droit du puits et de la galerie supérieure St-Vincent comprenant :
 - Une fouille de reconnaissance pour identifier et localiser le premier cadre HEB du puits Saint-Vincent ;
 - Un sondage carotté AVP-SCV1 au droit du puits Saint-Vincent, interrompu à 17 m de profondeur (refus au niveau du radier du puits), avec réalisation de mesures géophysiques en forage (inspection non destructive de type géoradar et magnétométrie) pour reconnaître le niveau des cadres interceptés par le futur PaSo.
- L'exécution d'un sondage carotté AVP-SCV2 au droit de la galerie supérieure Saint-Vincent, de 20 m de profondeur. Ce sondage a traversé la galerie haute, les terrains de couverture et de fondation de celle-ci.
- La conduite d'un diagnostic des parois des ouvrages existants destinées à être percées :
 - 3 sondages carottés (AVP-SCM1 à 3) ont été réalisés au niveau -2 de la gare Magenta ainsi que des reconnaissances non destructives des parois au Ferroskan. Les sondages carottés ont été prolongés au-delà de la structure de la gare

(longueurs comprises entre 3 et 4 m) afin de reconnaître les terrains encaissants. Des inspections vidéo par passage de caméra ont été réalisées dans ces forages.

- 3 sondages (AVP-SCM4 à 6) au niveau -2 du bâtiment situé au 50 rue d'Alsace. Les sondages présentent des longueurs comprises entre 4 et 5,20 m et ont fait l'objet d'inspections par passage caméra. Un sondage supplémentaire AVP-SCM7 de 0,70 m de longueur a été réalisé au niveau -1 du bâtiment.

La synthèse du contexte géologique établie à partir des investigations met en évidence une stratigraphie hétérogène ainsi que des aléas ponctuels (remblais de carrière, horizons compressibles, niveaux karstiques potentiels) conditionnant la sécurité et la fiabilité des interventions en sous-sol. La réussite de la campagne d'investigations et du projet ne dépend pas uniquement des caractéristiques lithologiques : elle est également fortement influencée par les contraintes opérationnelles et urbaines identifiées au droit du site.

3 CONTRAINTES ET ENJEUX DE LA CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE

3.1 Anciennes carrières de gypse

Les investigations géotechniques réalisées ont confirmé la présence d'anciennes exploitations souterraines de type carrières de gypse comblées, susceptibles d'altérer à la fois la sécurité des opérations d'excavation ainsi que la fiabilité des paramètres géotechniques retenus. Ces vestiges d'exploitation, parfois remblayés ou localement effondrés, entraînent des hétérogénéités : discontinuités stratigraphiques, vides résiduels localisés, zones de remblaiement peu compactes...

En sondage, les remblais de carrières se caractérisent notamment par des pressions limites faibles, inférieures à 0,5 MPa, associés à des vitesses d'avancement de forage élevées, de l'ordre de 1300 m/h, proche d'un comportement de type « chute d'outil ».

Ces caractéristiques témoignent d'un matériau extrêmement meuble à très faiblement cohésif, peu apte à reprendre des contraintes concentrées sans déformations excessives.

La majeure partie du PaSo sera excavée au sein de ces remblais recouvrant les anciennes carrières de gypse. Cette configuration génère un niveau de risque élevé pour la stabilité des fouilles et des ouvrages, ainsi que pour l'intégrité des structures et réseaux enterrés ancrés dans ces couches. La présence potentielle de

vides résiduels ou de massifs gypseux dégradés en sous-jacent, confère un risque important d'instabilité locale lors des terrassements de type rupture ponctuelle, fontis, phénomène de décompression locale. Pour le personnel intervenant en fouilles ouvertes et en galeries provisoires, cela se traduit par un risque accru d'effondrement des parois, justifiant la mise en œuvre systématique de protections collectives (blindages) et de dispositifs de surveillance (auscultations, inspections visuelles).

Par ailleurs, les réseaux sensibles, en particulier les collecteurs des égouts parisiens, peuvent être directement impactés si les déformations des remblais et des terrains sous-jacents ne sont pas correctement prédites et maîtrisées. Les tassements différentiels et les déplacements induits par l'excavation sont susceptibles d'engendrer la fissuration, le décalage ou l'écrasement partiel des conduites et galeries, provoquant des pertes d'étanchéité, infiltrations, ruptures ou diminution locales de la capacité portante du terrain. Dans les axes fortement circulés (rue Lafayette et voiries adjacentes), des tassements de chaussée au droit des zones excavées insuffisamment sécurisées peuvent compromettre la sécurité des usagers et conduire à des interventions d'urgence lourdement pénalisantes pour l'exploitation et la circulation.

En l'absence de prise en compte de ces phénomènes de déformation dès la phase d'étude de conception, puis de leur suivi en phase d'exécution des travaux, les conséquences peuvent s'avérer être étendues : affaissements de surface, dégradations des revêtements routiers, décalages longitudinaux et rotations des canalisations, voire, en présence de vides gypseux, propagation de mécanismes de rupture à plus grande échelle. Ces phénomènes sont particulièrement critiques en contexte urbain dense, où la tolérance aux déformations est faible, les possibilités de mesures correctives limitées et les enjeux de sécurité, de continuité de service et d'exploitation des infrastructures sont élevés.

3.2 Contexte urbain

Sur le plan technique, la réalisation des sondages doit intégrer un environnement fortement contraint par la présence d'ouvrages souterrains denses : tunnels du RER E, galeries techniques, réseaux (électricité, télécommunications...), collecteurs d'assainissement et fondations d'ouvrages existants (Figure 3). Cette densité d'infrastructures réduit significativement les emplacements disponibles pour les investigations et impose des contraintes strictes sur l'implantation des forages, les profondeurs atteignables et les techniques

de forage mobilisables (type de carottier, tubage, fluides).

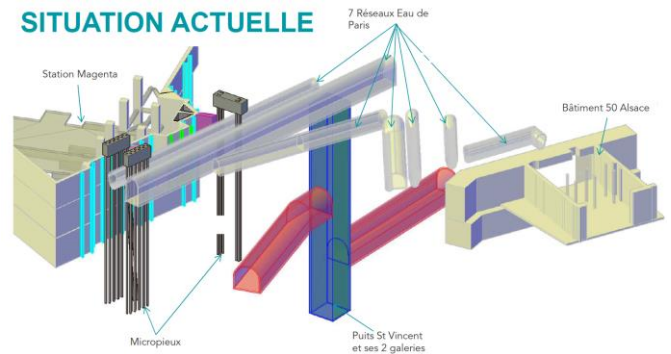


Figure 3: vue 3D actuelle des ouvrages existants à proximité du futur PaSo.

L'implantation des sondages et des ouvrages projetés est également conditionnée par la géométrie des voiries en surface. Les équipes de forage doivent concilier la proximité maximale avec le tracé du PaSo, afin de garantir la représentativité géotechnique des investigations, en maintenant des conditions de sécurité satisfaisantes pour les usagers de la voirie. La Figure 4 illustre l'installation d'une foreuse ainsi que l'emprise de détection du puits Saint-Vincent. Les emprises chantier sont restreintes pour limiter les perturbations sur les activités environnantes. Dans le cas du puits St-Vincent, la configuration des lieux a rendu nécessaire une interruption temporaire de la circulation sur la rue de l'Aqueduc, afin de sécuriser la zone d'intervention et de permettre l'implantation des équipements de forage.

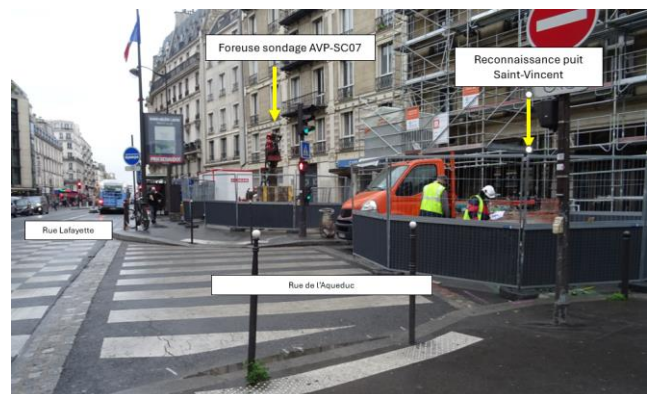


Figure 4: Photographie illustrant les emprises travaux du sondage AVP-SC07 et la reconnaissance du puits Saint-Vincent.

3.3 Tunnels du RER E

La gare Magenta constitue un nœud structurant du réseau francilien du fait de la présence des infrastructures du RER E (Projet EOLE), auxquelles s'ajoute un maillage dense de réseaux secs et humides. Dans ce contexte, les investigations géotechniques

réalisées à proximité immédiate de la gare sont soumises à des contraintes spécifiques et requièrent des mesures de précaution renforcées.

En amont de toute opération de forage, il est indispensable de disposer d'un récolement exhaustif et géoréférencé des ouvrages existants (voûtes, piédroits, galeries techniques...) et d'identifier les profondeurs critiques afin de fixer les cotes d'arrêt de sondage compatibles avec la sécurité des infrastructures. Une coordination étroite avec les gestionnaires d'infrastructure (SNCF Gares & Connexions, RER E/EOLE) est requise dès la phase de préparation, tant pour l'instruction administrative que pour la validation des implantations et altitudes des points de sondage. La coupe de synthèse du projet (Figure 8) met en évidence la proximité de certains sondages avec les tunnels du RER E, ce qui justifie un encadrement strict des profondeurs atteignables.

Au droit du sondage AVP-SC07 (Figure 5), des traces de coulis ont été mises en évidence pouvant être interprétées comme des résidus de campagnes d'injections réalisées antérieurement au creusement des galeries de déambulation des voyageurs de la gare Magenta.



Figure 5: Photographie d'un carotte du sondage AVP-SC07.

3.4 Puits Saint-Vincent

3.4.1 Description de l'ouvrage

Le puits Saint-Vincent a été réalisé en 1990 dans le cadre des travaux de reconnaissance du projet EOLE. Il est constitué d'un puits vertical de 33,60 m de profondeur, depuis lequel ont été excavées deux galeries. La première dite « galerie haute » présente une longueur de 25,60 m avec une assise située à une profondeur de 16,70 m. La seconde dite « galerie basse » a une longueur de 18,60 m avec une assise à 26,32 m de profondeur.

Les deux galeries présentent une section en plein cintre de 4 m d'ouverture et 4 m de hauteur. Les deux galeries ont fait l'objet d'un traitement par injections sur les dix premiers mètres. Leur soutènement est constitué de cadres métalliques type TH 21/58, disposés à espacement régulier et contreventés par des entretoises en profilés VPN 80.

Le puit présente également une section de 4*4 m, équipé d'un blindage en planches de bois et étayé par

des cadres métalliques HEB espacés de 1,6 m. Le creusement a été exécuté à la pelle mécanique jusqu'à 7m de profondeur puis poursuivi au marteau piqueur au-delà.

La Figure 6 met en évidence l'interception du futur PaSo avec le puits et la galerie supérieure. Il a donc été décidé d'investiguer ces ouvrages afin d'évaluer les interactions et impacts potentiels liés à leur recoupement lors du creusement du Paso.

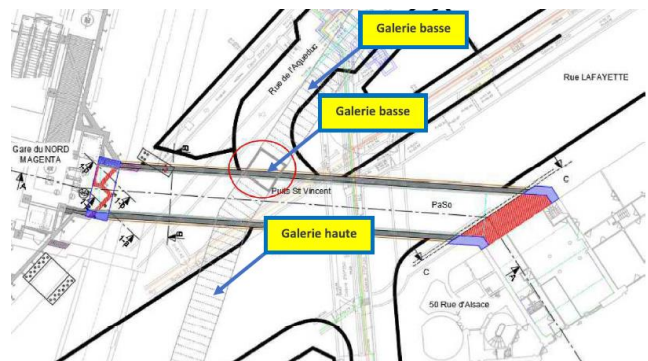


Figure 6: Plan d'implantation du puits St-Vincent et des galeries.

3.4.2 Reconnaissance du puits

La mission de type G5 confiée au bureau d'étude HYDROGEO au droit du puits Saint-Vincent avait pour objectif de réaliser un diagnostic géotechnique du puits et de la galerie supérieure. Les principaux objectifs étaient les suivants :

- Localiser précisément l'ouvrage ;
- Déterminer la profondeur d'ancrage, et l'espacement des cadres type HEB assurant la structure du puits ;
- Caractériser la nature des matériaux de remblaiement du puits ;
- Reconnaître la galerie supérieure (située directement sous le radier du futur PaSo) en précisant la géométrie de l'ouvrage (niveau de la voûte et du radier), et en recherchant d'éventuels vides résiduels susceptibles d'être liés à un comblement incomplet ou à la consolidation des matériaux de remblaiement.

Les investigations mises en œuvre ont combiné prospection géophysique type radar géologique, sondages et fouilles, dans un environnement fortement contraint par la présence de nombreux réseaux enterrés. La détection au radar géologique de surface a consisté en l'acquisition de 28 profils de mesure selon un maillage de 0,50 m. Une première fouille manuelle (AT6) a permis de retrouver la partie Ouest du Puits mais n'a pas pu être poursuivie compte tenu du passage de la circulation piétonne. Une seconde fouille (AT8 Figure 7), réalisée au droit de l'angle Nord-

Ouest du puits, a permis de déterminer la position côté Ouest et l'orientation de cet angle. L'ensemble de ces investigations ont permis d'identifier l'angle nord-est du puits et d'orienter son côté nord, puis de localiser les angles sud-ouest et sud-est. Il en résulte que le puits présente en plan une géométrie sensiblement carrée d'environ 3,86 m de côté.



Figure 7: Photographie de la fouille AT8 dans laquelle le coin Nord-Ouest a été repéré.

Le diagnostic a ensuite porté sur les éléments enterrés (ferrailages, cadres de type HEB) détectés par géoradar et par magnétométrie en forage depuis le sondage carotté AVP-SCV1 réalisé à l'intérieur du puits Saint-Vincent. Le profil magnétométrique met en évidence une série d'anomalies magnétiques, espacées de 2,20 m à 2,80 m correspondant vraisemblablement à la succession des cadres HEB.

Le carottage a permis de caractériser les matériaux de remblaiement, constitués d'un mélange de cendres volantes noires et de sable, liés probablement par un ciment. Des essais de laboratoire ont été réalisés sur des échantillons prélevés. Des analyses environnementales et des essais de laboratoire ont été conduits afin d'évaluer notamment l'agressivité des sols vis-à-vis du béton. En revanche, certains essais mécaniques n'ont pas pu être menés en raison de l'hétérogénéité des matériaux de remblais.

3.4.3 Galerie supérieure

Une fois le puits précisément repéré, la position de la galerie supérieure a pu être déduite et le sondage carotté AVP-SCV2 implanté en conséquence. Ce sondage a recoupé la galerie à 13,75m de profondeur, où une couche de béton de 17 cm d'épaisseur a été mise en évidence, interprété comme le revêtement supérieur de la galerie. L'intrados de la galerie semble également remblayé par des cendres volantes noires traitées au liant hydraulique. Un second niveau bétonné, de 16cm d'épaisseur à 17,42 m de

profondeur, semble correspondre au radier de la galerie.

3.5 Investigations en sous-sol

Des investigations de type diagnostic G5 ont été menées au niveau N-2 de la gare Magenta ainsi qu'au niveau N-1 du bâtiment situé 50 rue d'Alsace. Cette campagne visait à :

- Ausculter les parois de la gare Magenta afin de repérer et caractériser les armatures (type d'acier, diamètre, maillage, enrobage)
- Reconnaître l'interface avec le terrain encaissant (présence éventuelle de vides, nature des remplissages, état du contact...)
- Caractériser le terrain encaissant en place.

Au droit de la gare Magenta, la reconnaissance par ferroskan sur la paroi en béton armé a mis en évidence un maillage d'armatures espacés de 20 à 23 cm. Les aciers sont interprétés comme des barres HA de 12 à 16 mm de diamètre. L'enrobage mesuré varie de 6 à 9,3 cm.

Les sondages carottés horizontaux ont permis de reconnaître des parois d'environ 86 cm d'épaisseur composées principalement d'un voile béton d'environ 40 cm d'épaisseur et d'un béton pouvant être associé à un mur de soutènement à l'arrière du mur. Le terrain encaissant est de type marne beige à cailloutis.

Au droit du bâtiment 50 rue d'Alsace, les parois du sous-sol sont constituées de maçonneries de moellons. Les sondages carottés horizontaux ont mis en évidence une maçonnerie de moellons de calcaire jointoyés au mortier d'épaisseur comprise entre 1,7 à 3 m. Le terrain encaissant est de type marne beige.

Ces investigations ont également permis de qualifier l'état du terrain à l'arrière des parois. Un vide de 20 cm de diamètre a ainsi été détecté au droit du sondage AVP-SCM1, au sein des remblais de carrière, en partie arrière de la paroi.

4 SYNTHÈSE DES INVESTIGATIONS

L'ensemble des sondages réalisés lors des campagne EP et AVP a été reporté sur une coupe longitudinale du projet de PaSo (Figure 8) permettant de repérer la succession des horizons géologiques ainsi que les différents ouvrages interceptant le tracé (galerie des Eaux de Paris et puits Saint-Vincent).

5 CONCLUSION

Les campagnes d'investigations menées dans le cadre du projet de PaSo entre la gare de l'Est et la gare Magenta mettent en évidence la nécessité d'une approche géotechnique pragmatique en milieu urbain

dense. La combinaison de méthodes géophysiques, de sondages carottés et destructifs, d'essais pressiométriques et de diagnostics ciblés type G5, complétés par des fouilles et des reconnaissances des parois, a permis de caractériser une stratigraphie hétérogène (remblais de carrière, horizons gypsifères, sables et calcaires) et d'identifier plusieurs aléas majeurs : remblais de carrière instables, vestiges de carrière, interfaces sensibles avec les ouvrages et réseaux existants.

Les contraintes opérationnelles fortes (emprises réduites, proximité des tunnels du RER E, forte densité de réseaux enterrés et enjeux patrimoniaux) ont dicté des adaptations méthodologiques spécifiques : optimisation de l'implantation des sondages, phasage des interventions, dispositifs de protections des ouvrages et coordination étroite avec les exploitants. Ces dispositions se sont avérées indispensables pour atteindre un niveau de reconnaissance compatible avec les exigences de conception et de sécurité.

Les résultats ont conduit à formuler des préconisations opérationnelles structurantes : traitements de consolidation localisés des remblais par injections,

mise en œuvre de pré-soutènements par voûtes parapluies et boulonnage du front de taille, instrumentation et surveillance en continu pendant les travaux et recours à la modélisation numérique pour quantifier les tassements et les interactions sol-structure. L'ensemble de ces mesures visent à maîtriser les risques pour les usagers, les réseaux et les ouvrages existants tout en assurant des conditions de creusement sécurisées pour la galerie projetée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Garidel J. (2018). Rapport de mission géotechnique FERIDF6090 - NG170271 B, Egis, France
 Machet S. (2021). Compte rendu géotechnique, C.2036009-1 IndB, Hydrogéotechnique, 71150 Fontaines, France
 Machet S. (2021). Diagnostic des parois de la gare Magenta, C.2036009-3 IndB, Hydrogéotechnique, 71150 Fontaines, France
 Machet S. (2021). Diagnostic du puits Saint-Vincent, C.2036009-2 IndB, Hydrogéotechnique, 71150 Fontaines, France

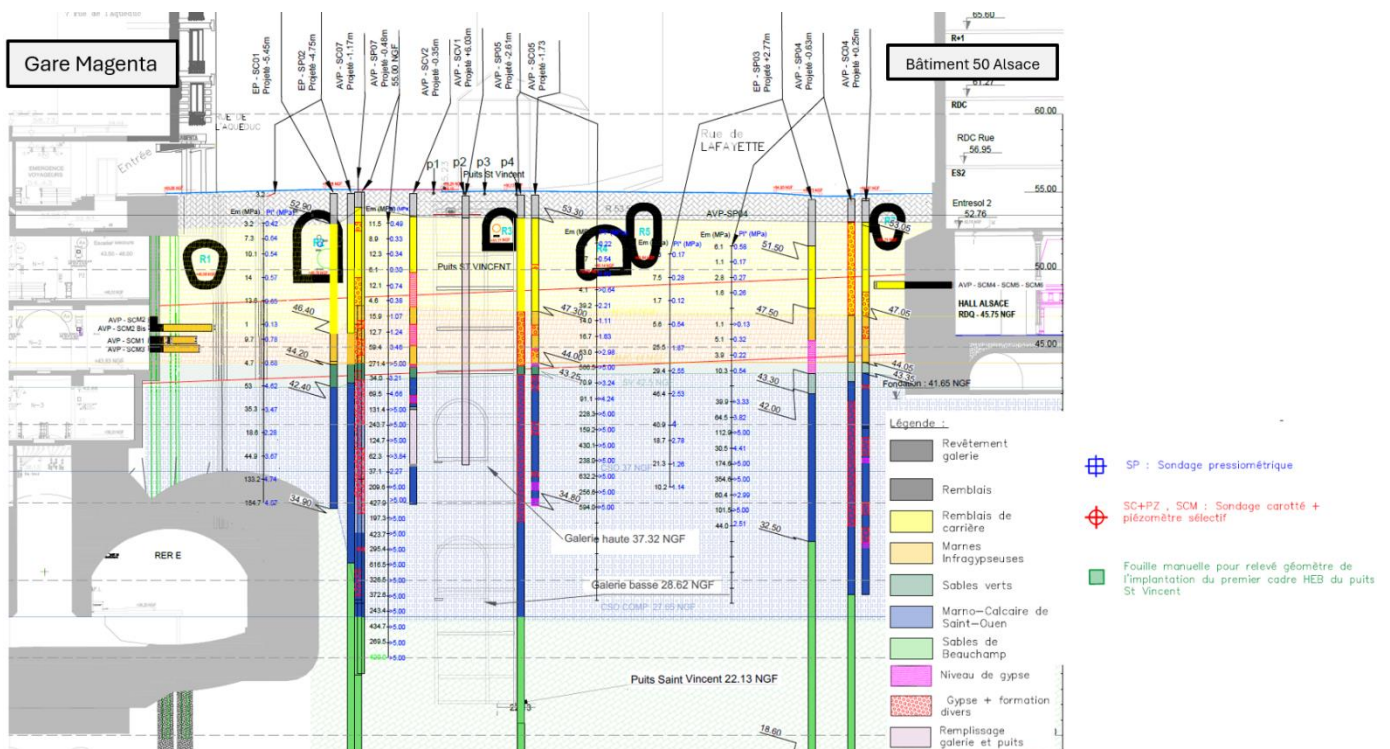


Figure 8: Coupe de synthèse des investigations