

LES GALERIES DE TRAITEMENTS DE L'EXTENSION DE LA LIGNE 4 DU METRO DE PARIS: DES OUVRAGES DE RECONNAISSANCE.

GROUTING GALLERY OF THE LINE 4 EXTENSION OF PARISIAN METRO: A PILOT TUNNEL

Thomas CHAUVIN¹, Sandrine MERESSE²,

¹ Systra, Paris, FRANCE

² Spie Batignolles TPCI, Paris, FRANCE

RÉSUMÉ – Cet article présente le retour d'expériences du creusement d'une galerie provisoire au-dessus d'un tunnel définitif dans le cadre du prolongement de la ligne 4 du métro de Paris et les adaptations qui en découlent.

ABSTRACT – The paper presents the feedback on a mining temporary gallery above a definitive tunnel as part of the line 4 extension of Parisian metro. On the other hand it presents the works adaptations.

1. Introduction

La ligne 4 du métro de Paris a été construite dans les années 1900 et traverse Paris du Nord au Sud. La seconde phase de prolongement de 1.8km est en cours de réalisation au Sud afin de relier Bagneux à la capitale et comporte 3 lots de génie civil.

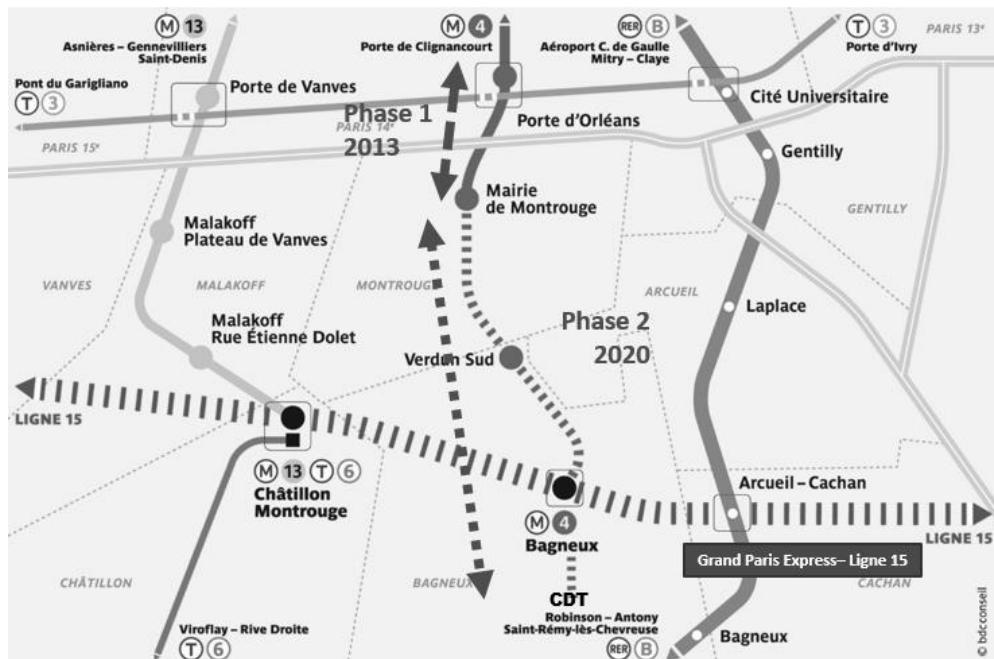


Figure 1. Plan de localisation du prolongement de ligne 4

Le Maître d’Ouvrage (RATP) a mandaté SYSTRA pour la Maîtrise d’Œuvre des 3 lots et le groupement Spie-Batignolles TPCI (mandataire) Dodin-Campenon-Bernard, Sogea-TPI, Chantier Moderne Construction, Botte Fondations et Spie Fondations pour la réalisation des travaux du lot 1 en souterrain.

Le lot 1 réalisé en méthodes conventionnelles, comporte une station souterraine et deux tunnels de 60m² de section. Le premier tunnel, d'une longueur de 205m, permettra de raccorder la ligne 4 en exploitation à la future station Verdun en construction. Le second, de 400m raccordera cette même station aux autres lots réalisés à ciel ouvert. Le radier des tunnels se situe entre 12m et 25m de profondeur.

Le site localisé en Ile de France sur les communes de Montrouge et Bagneux, est caractérisé par un contexte fortement urbanisé avec un sous-sol encombré que ce soit par des réseaux, des fondations du bâti, ou par d'anciennes carrières. Le projet est en intégralité situé sur d'anciennes carrières de types hagues et bourrages qui comportent plusieurs niveaux d'exploitations entre 20m et 30m de profondeur. Les vides des carrières ont entraîné l'apparition de décompressions dans les formations sus-jacentes, notamment les Marnes et Caillasses lutétiennes. La figure 2 présente les formations géologiques rencontrées au droit du projet et l'encombrement du sous-sol.

Les carrières se situent soit dans le niveau d'excavation du tunnel soit en dessous. Afin de combler et traiter les terrains, avant l'excavation des tunnels, des galeries dites « de traitement » ont été creusées permettant la réalisation de forages d'injections

Les travaux de génie civil du lot 1, dureront de début 2015 à mi 2019 pour un marché de l'ordre de 73M€. Environ 30 % du délai et du coût de ce prolongement sont liés aux carrières.

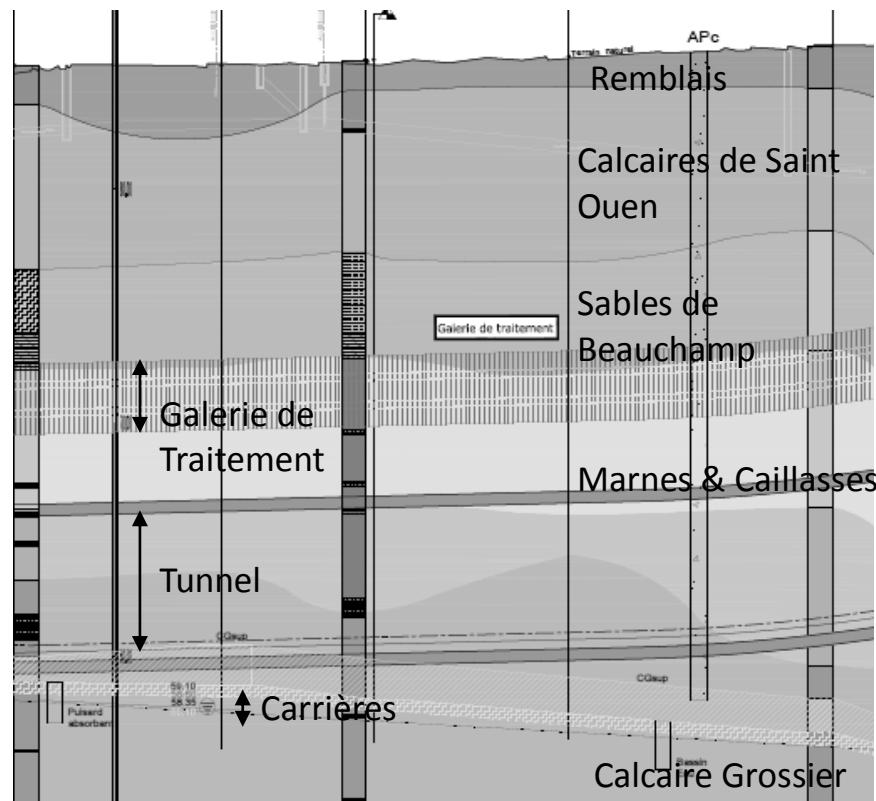


Figure 2. Profil géologique

2. Présentation des galeries de traitements

Les galeries de traitements ont une section excavée de l'ordre de 15m² et sont réalisées en méthodes conventionnelles. Le soutènement est constituée de cintres HEB 120 mis en place tous les mètres. Un boulonnage en fibre de verre est mis en œuvre lorsque le front est composé d'au moins 50 % de Calcaire de Saint Ouen ou de Sables de Beauchamp. Les boulons en fibres de verre ont une capacité de 10t/u, une longueur de 8m, un recouvrement de 4m et une maille de 1x1m. La profondeur des galeries de traitement variant, la couverture est comprise entre 7 et 12m. Les galeries se trouvent à

moins d'un diamètre du futur tunnel (environ 3m). Deux galeries de traitement ont été creusées pour une longueur totale de l'ordre de 500m.

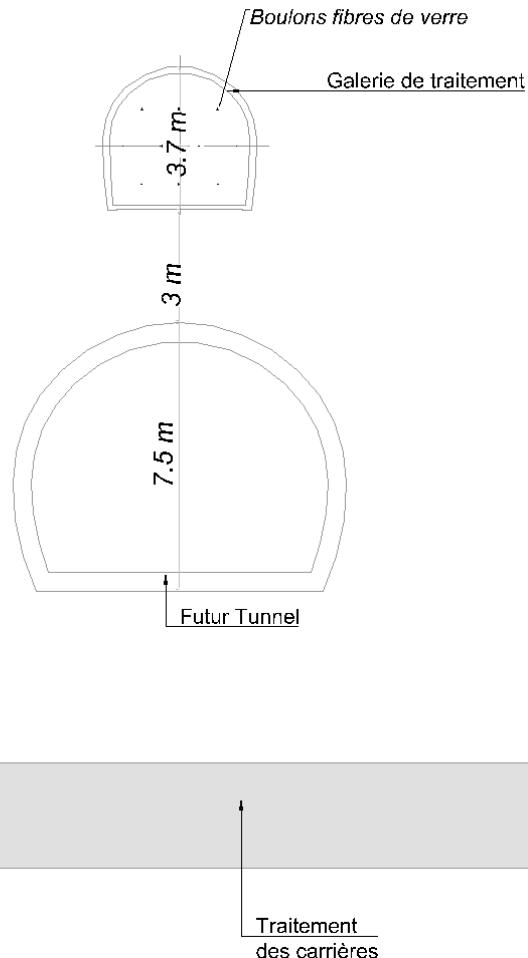


Figure 3. Coupe type des galeries de traitement et du tunnel

3. Reconnaissance des formations géologiques

En premier lieu, l'excavation des galeries de traitement a permis d'identifier la grande majorité des terrains rencontrés sur le projet. Plus complets que les informations recueillies lors de campagnes de forages destructifs ou carottés, les levés géologiques des fronts de taille, *in situ*, ont révélé toute la diversité lithologique tout en donnant une première appréciation des interfaces entre les limites de couches et des épaisseurs des différentes formations.

La galerie sud, dites de Stalingrad, a ainsi recoupé les Calcaires de Saint Ouen (CSO), les Sables de Beauchamp (SB) puis les Marnes et Caillasses (MC) supérieures avec des limites distinctes retrouvées par la suite sur tout le linéaire du projet que ce soit en galerie ou en tunnel définitif. Elles sont présentées dans la figure 4.

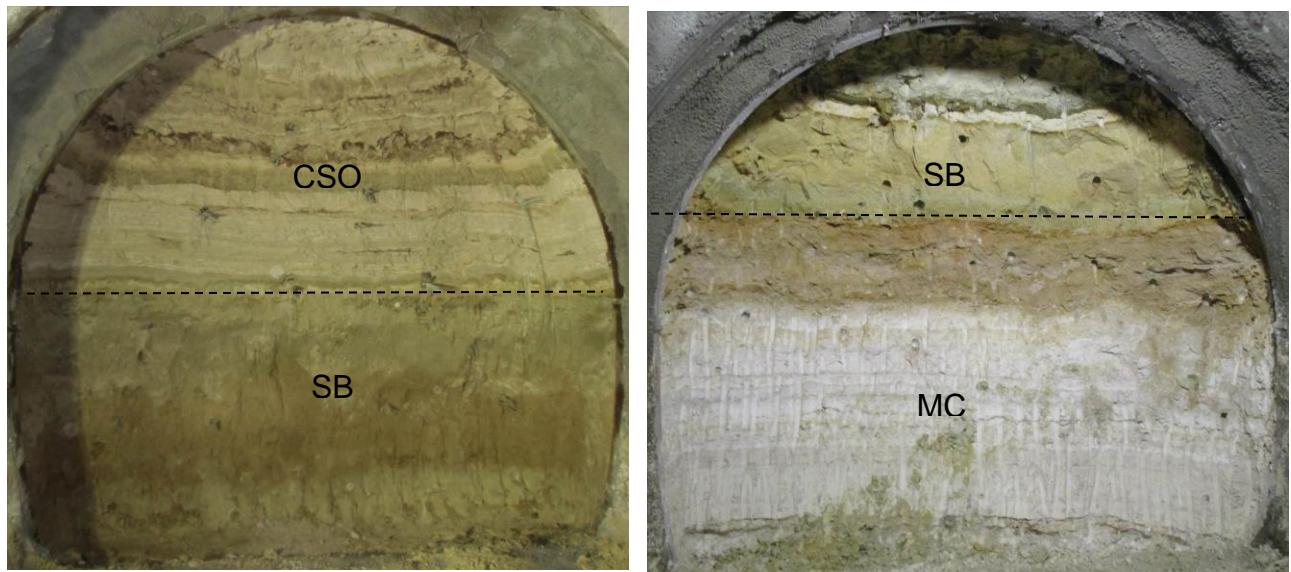


Figure 4. Diversité géologique des fronts de la galerie Stalingrad. CSO : Calcaire de Saint Ouen – SB : Sable de Beauchamp – MC : Marnes et Caillasses

A partir de l'ensemble des levés de fronts en galerie, les épaisseurs des unités et les cotes réelles des interfaces par rapport à la voûte ou au radier ont été jaugées. Ce récolement nécessaire a fait apparaître localement des divergences entre le modèle géologique théorique extrapolé à partir des sondages et le profil géologique réel, le tout exposé sur la figure 5.

L'éclaircissement des limites de couches et notamment la position concrète des Marnes et Caillasses par rapport à la galerie de traitement a permis d'adapter au mieux les plans de tirs des forages d'injections. La position, le nombre et la profondeur de ces forages ont été ajustés ainsi, en fonction du récolement géologique, afin de correspondre aux besoins d'injections.

Pour terminer, les reconnaissances géologiques et géotechniques se sont également faites par le suivi du comportement des terrains face aux activités souterraines. L'appréciation de la stabilité et de la tenue de terrains de la section excavée, lors du creusement, a été rendue possible par l'excavation de ce premier ouvrage voûté. Bien qu'en petite section, il a rencontré une grande partie des Calcaires de Saint Ouen et l'intégralité des Sables de Beauchamp (supérieur, médian et inférieur) en voûte.

4. Gestion du risque rencontre d'un ancien puits d'accès aux carrières

4.1 Traversée d'un ancien puits d'accès aux carrières

L'accès aux carrières et l'extraction des blocs, présentes au droit du projet, se faisait au moyen de puits. Ces puits sont de natures diverses : certains sont maçonnés, d'autres non, certains ont été remblayés d'autres non ; enfin ils ne sont pas tous localisés. Le registre des risques identifie le risque « Accident en front de taille lié à la présence d'anciens puits (APC) non identifiés ou mal localisés ». Les mesures de détection prévues sont de deux types. Une première mesure consiste en la réalisation d'une étude bibliographique effectuée à partir des cartes des carrières disponibles auprès de l'Inspection Générale des Carrières (IGC) ; ces cartes ont été mises à jour suite à l'exploration de carrières. Une seconde mesure est la réalisation de forages de reconnaissance présentant un recouvrement de 5m. La réalisation de ces sondages à l'avancement est jumelée avec la réalisation du boulonnage en fibre de verre.

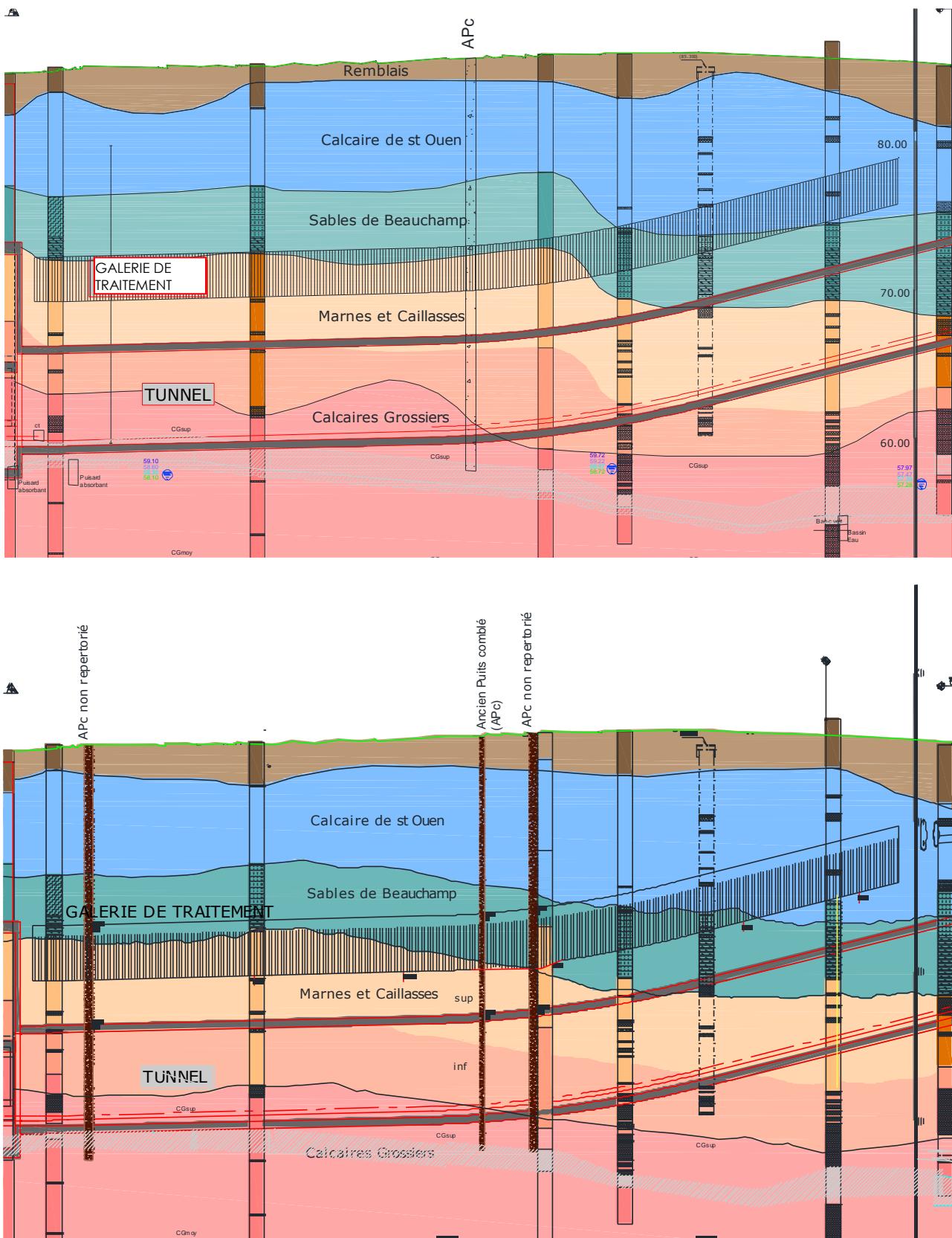


Figure 5. Comparaison profil en long géologique théorique (en haut) et récolté (en bas)

Lors de la réalisation de la première galerie de traitement, 3 APC ont été rencontrés. Parmi ces 3 puits, un seul était représenté sur les cartes de l'IGC. La figure 6, présente une synthèse des informations recueillies lors d'une campagne de boulonnage : des pertes d'eau ont été observées entre 7 et 10m et deux boulons en fibre de verre (BFV) n'ont pas pu être insérés dans les forages et ont été réduits à 7 et 10m.

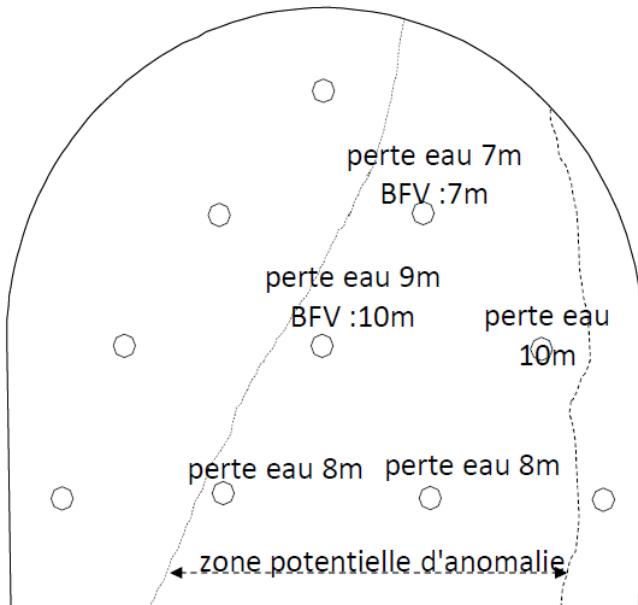


Figure 6. Synthèse des anomalies rencontrées lors de la foration des boulons en fibre de verre

Suite à ces constatations, une vigilance accrue a été déployée pour le creusement de la galerie. Sept mètres plus loin, une anomalie, visible sur la figure 7, a effectivement été rencontrée.

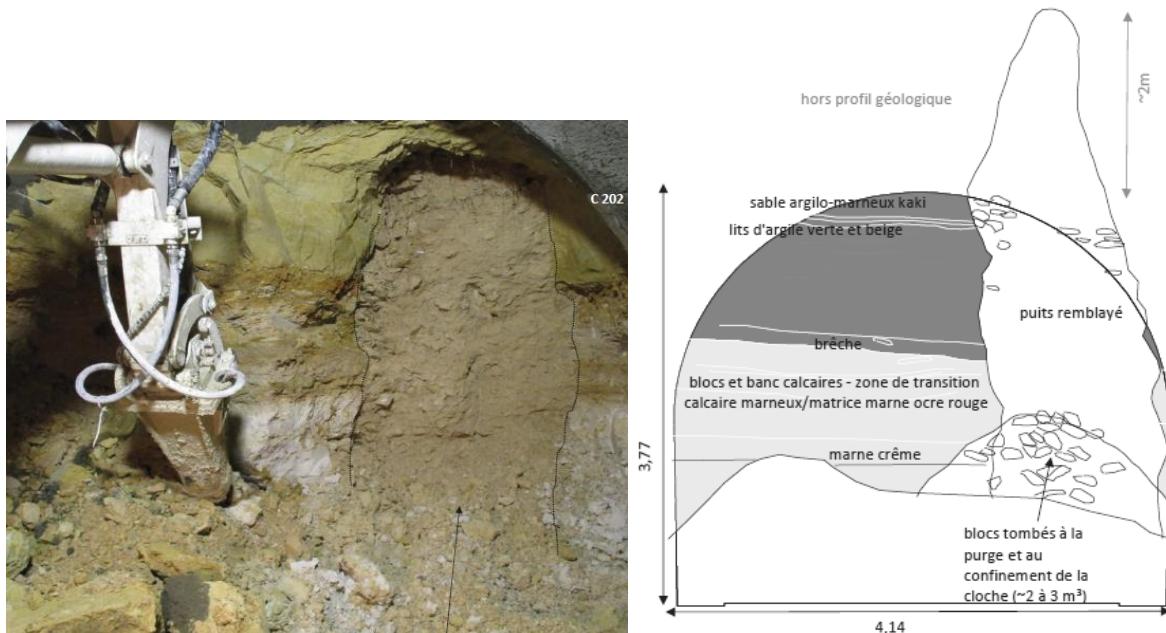


Figure 7. Levée de front au niveau d'un ancien puits d'accès aux carrières remblayé

Lors de la traversée de ce puits, un débourrage de l'ordre de 2 à 3m³ a été observé. Une réduction des travées de terrassement a été mise en œuvre avec la mise en place d'un cintre tous les 50cm et un confinement important réalisé en plusieurs passes. Une fois le puits traversé la cloche d'effondrement a été tôlée et comblée avec du béton. Aucun désordre n'a été mesuré en surface.

4.2 Retour d'expériences et adaptations mises en place pour le projet

Le récolement de l'ancien puits décrit ci-dessus, a permis d'adapter le plan de tir des injections afin de traiter les remblais.

La précision d'implantation des APC reportés sur les cartes IGC est de l'ordre de 1m. Enfin lors de la réalisation du tunnel sous-jacent, le soutènement a été modifié. Le pas de terrassement de 2m a été diminué à 1m et un boulonnage de type « forepooling » a été mis en œuvre. Lors de la traversée de l'ancien puits comblés (APC) par le tunnel illustrée par la figure 8, les observations suivantes ont pu être faites : puits ceinturé par du coulis d'injection, très bonne tenue des terrains, aucun hors profil ou chute de terrain constaté.

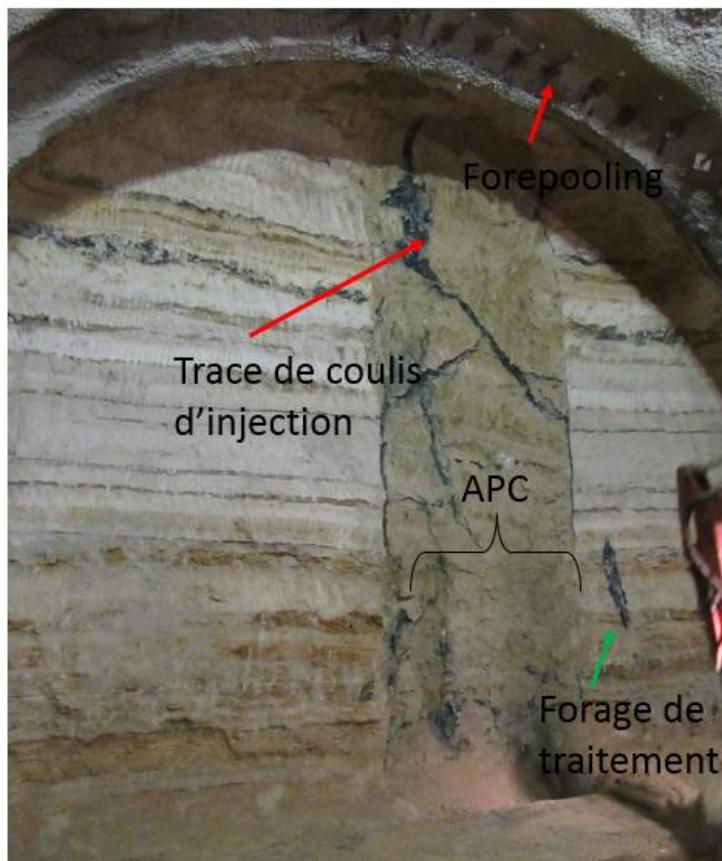


Figure 8. Photographie du front du tunnel au niveau d'un ancien puits d'accès aux carrières remblayé

5. Auscultations

La galerie Stalingrad a été excavée à partir d'un puits circulaire réalisé dans le cadre des études PRO précédemment aux travaux du lot 1. Un rameau de 13m environ part du puits avant de se scinder en deux attaques de galeries perpendiculaires à ce dernier.

Préalablement à tout terrassement, des notes de calculs EXE sont effectuées permettant la vérification du soutènement mis en place mais également des modélisations et des estimations sur les tassements à venir lors des travaux.

Par la suite, en cours de travaux et jusqu'à stabilisation et sur l'intégralité du tracé, des mesures des mouvements de surface effectuées soit par des théodolites automatiques ou par du niveling manuel ont permis un monitoring complet des excavations, complété par des données de convergences en galerie au moyen de prismes placés et mesurés sur les cintres du soutènement de la galerie.

La galerie de traitement a ainsi apporté un premier retour d'expérience sur le comportement des terrains aux tassements en comparant notamment les tassements réels et ceux issus des calculs.

La figure 9 résume les tassements (signe négatif) finaux en surface issus du creusement de la galerie Stalingrad, en comparaison avec ceux estimés dans les notes de calcul.

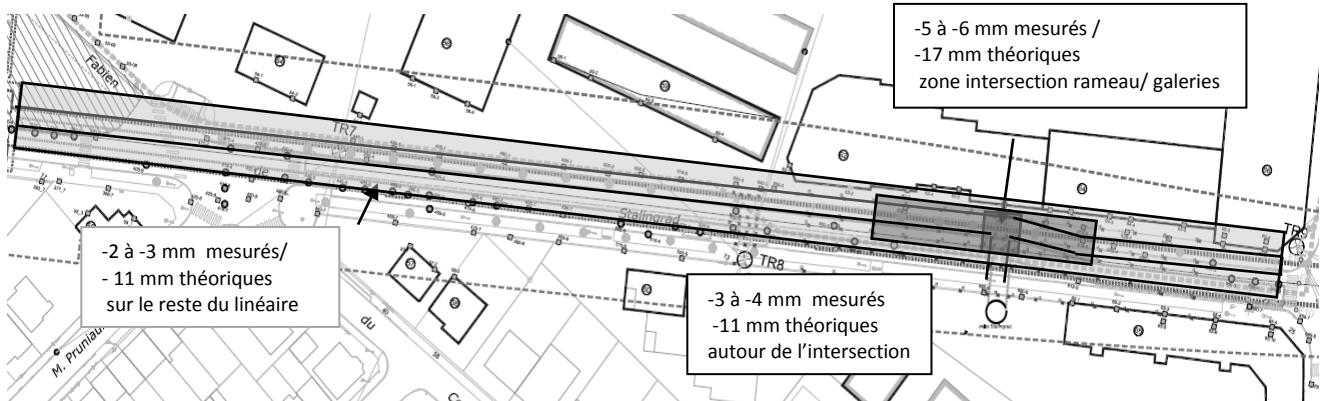


Figure 9. Mouvements de surface en mm, cumulés à la fin de l'excavation de la galerie Stalingrad et comparaison avec le théorique des notes de calcul

Les mesures de convergences effectuées sur les cintres en galerie n'ont pas révélé de tassements ni de déformations significatifs des cintres sous la poussée des sols. La convergence des terrains n'est donc pas mesurée.

6. Conclusions

Comme vu tout au long de cet article, les galeries de traitement réalisées dans le cadre du prolongement de la ligne 4 du métro parisien ont, avant d'être utilisées pour leur fonction première, joué un rôle de premier ordre dans la reconnaissance géologique et géotechnique du site. Ces reconnaissances sont variées, englobant entre autre l'identification des terrains et leurs limites et la découverte ou validation de la position d'anciens puits comblés d'accès aux carrières.

Elles ont permis d'adapter localement les travaux d'injections et d'excavations en se conformant au mieux avec la réalité du terrain. Enfin, via les mesures d'auscultations, le comportement des terrains à l'excavation a pu être jaugé pour la première fois en constituant le début d'une base de données servant de référence tout au long des travaux. Enfin les galeries ont permis de suivre les auscultations dans la galerie pendant le terrassement du tunnel, y compris en avant du front et comme dernier avantage de conserver la possibilité de revenir injecter depuis la galerie en avant du front du tunnel (option technique non mise en œuvre à ce jour).

7. Références bibliographiques

Inspection Générale des Carrières. (1975) Atlas des carrières souterraines de Paris – des Hauts de Seine – Seine Saint Denis – Val e Marne - Feuilles 23-57,23-58, Paris.

AFTES GT32.R2F1. 2012. Recommandation sur la caractérisation des incertitudes et des risques géologiques, hydrogéologiques et géotechniques. Tunnels et espace souterrain, n°232, Juillet/Août 2012, pp. 274-314.