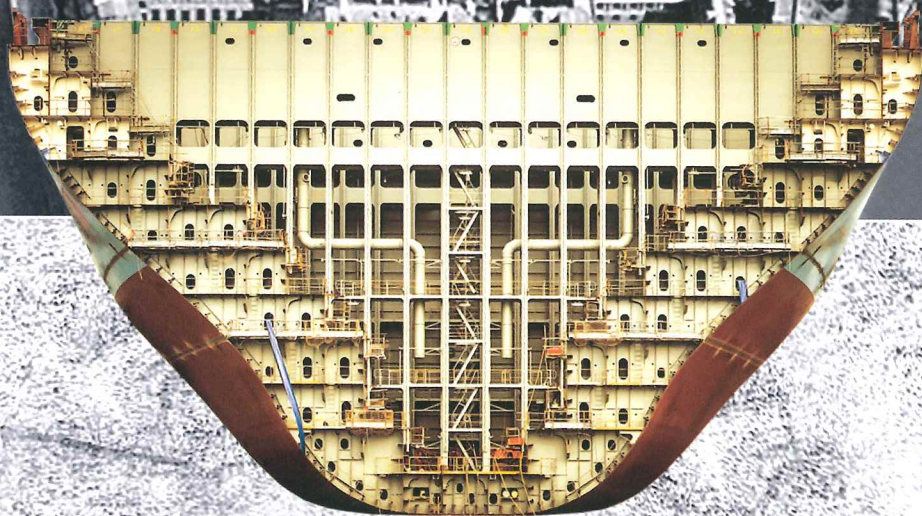




ENTREPRENDRE *en* SOUTERRAIN

Magazine des acteurs du sous-sol



SINGAPOUR et PARIS

DOSSIER "pionniers" de la ville souterraine à vivre ?



Livry-Gargan :
une première

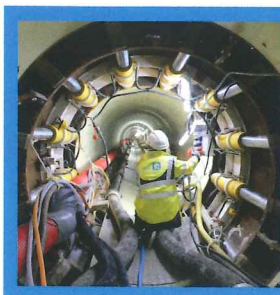




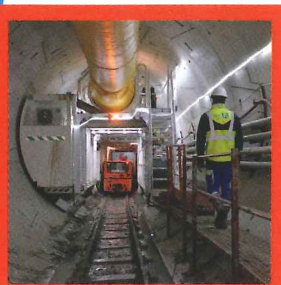
GÉNIE CIVIL



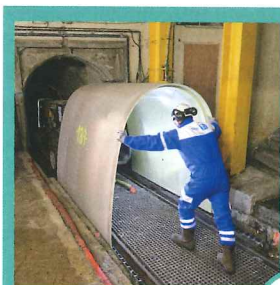
TRAVAUX SOUTERRAINS



TRAVAUX SOUTERRAINS



RÉHABILITATION DES
OUVRAGES VISIBLES



Service Travaux Spéciaux
346, rue du Maréchal Juin
Z.I. de Vaux-le-Pénit
BP 593 77005 Melun Cedex
Tél. : +33 (0)1 64 14 34 00
Fax : +33 (0)1 64 39 42 07
sts@sade-cgth.fr
www.sade-cgth.fr
www.sade-travaux-speciaux.fr



New ranges for curved
microtunneling

Jackcontrol AG
Buchholzstrasse 50 | 8750 Glarus | Switzerland
Phone +41 (0)55 650 20 20 | Fax +41 (0)55 650 20 30
info@jackcontrol.com | www.jackcontrol.com

Jackcontrol
monitoring microtunneling



LIVRY-GARGAN

Un tir courbe très serré
au microtunnelier

Une première en Europe

Le groupement d'entreprises SADE/Bessac a réalisé le **collecteur d'alimentation** du bassin enterré du Rouailler par microtunnelage à Livry-Gargan, situé en Seine-Saint-Denis.

ors des pluies décennales, la plaine du Rouailler dans laquelle se trouve la ville de Livry-Gargan est victime d'inondations par débordement affectant directement les riverains. Les institutions publiques locales souhaitent améliorer la gestion des volumes d'eau destinée à prévenir ces inondations, mais également protéger les rivières et canaux contre les rejets de collecteurs existants.

Le département de la Seine-Saint-Denis et sa Direction de l'Eau et de l'Assainissement ont ainsi lancé la construction d'un collecteur d'eau pluviale d'un diamètre intérieur de 2000 mm et d'un linéaire de 620 m. Ce tunnel à son terme acheminera les eaux de pluie sous la ville de Livry-

Gargan, depuis l'Avenue Turgot à l'amont jusqu'au bassin du Rouailler dont la capacité de stockage atteint 25 000 m³.

Le groupement d'entreprises SADE (mandataire)/Bessac (co-traitant) s'est vu confier la réalisation de ces travaux hautement techniques avec pour objectif final, de décharger le collecteur départemental existant dont la capacité est insuffisante lors de fortes pluies.

La technique du fonçage au microtunnelier est retenue pour ce projet avec comme particularité la réalisation d'un tronçon avec une courbe de rayon 110 m dans le plan horizontal. Pour répondre à ce défi technique, le groupement SADE/Bessac a mobilisé une machine Herrenknecht AVN2000AB de

2 m diamètre, modifiée et adaptée spécifiquement pour réaliser cette performance inédite. Cet équipement est complété des organes de poussée (station télescopique, stations intermédiaires) et du matériel de traitement du marinage (desableur-dessilteur associé à une centrale de floculation et centrifugeuse), adaptés aux données géologiques du projet.

En cours de chantier, ces équipements se sont révélés indispensables et adaptés pour faire face aux contraintes spécifiques du projet (géométrie de l'alignement, forte teneur en argile dans le sol rencontré).

LES DATES

Novembre 2016
Démarrage des travaux

9 juin 2017
Descente du microtunnelier dans son puits de départ P1

23 octobre 2017
Fin de creusement

24 octobre 2017
Sortie du microtunnelier du puits P3

Le projet

Dans le cadre de la troisième tranche du projet du bassin du Rouailler, le département de la Seine-Saint-Denis a confié au groupement SADE/Bessac la réalisation d'un collecteur d'eau pluviale DN2000 mm de 620 ml sous l'allée Ledru Rollin, l'avenue de la Convention et l'allée Montcalm jusqu'au parc Bérégovoy dans lequel est situé le bassin d'orage (construit dans la cadre de la première tranche du projet), en plein cœur de Livry-Gargan.

Le volume de stockage du bassin d'orage permettra de décharger le collecteur départemental existant en amont et d'en réguler le débit. Il permettra également d'éviter des rejets trop fréquents vers le canal de l'Ourcq, cette solution étant la seule viable actuellement lors de fortes pluies. Par temps sec, le bassin du Rouailler sera vidangé et les eaux seront acheminées de nouveau vers le collecteur départemental existant.

Les travaux prévus au marché comprennent la construction par microtunnelier de trois tronçons (70 ml, 130 ml et 420 ml) de canalisation en béton armé de diamètre intérieur 2 000 mm ainsi que la réalisation d'ouvrages annexes (puits de travail et de sortie du microtunnelier, regards d'accès, ouvrages en Génie Civil pour l'exploitation du collecteur).

Contexte géologique

Le tracé du collecteur évolue entre les côtes 44 et 47,1 NGF (soit une profondeur moyenne de 11 m par rapport au terrain naturel) et intercepte l'horizon des marnes infra-gypseuses. Ce terrain est connu pour sa teneur en argile, qui peut s'avérer gonflante et colmatante, et donc pénalisante pour le microtunnelier. Par ailleurs des blocs rocheux peuvent également être rencontrés.

La nappe phréatique superficielle est présente à une profondeur moyenne de 5 m.

Le choix technique du microtunnelier

Lors des études préliminaires, un tunnelier de diamètre intérieur 2200 mm a été envisagé, avec pose de voussoirs à l'avancement. Cette technique permettait de réaliser un tronçon en une seule fois avec une courbe de rayon 110 m et de s'affranchir d'un puits intermédiaire dans un environnement urbain dense (avec notamment la présence d'infrastructures ferroviaires à l'emplacement théorique d'un éventuel puits intermédiaire).

Finalement, la variante proposée par le groupement utilisant la technique du microtunnelier a été retenue par le Département lors de la phase d'appel d'offres, notamment au regard de la réduction des contraintes induites en surface par la solution de base au tunnelier. En effet, la surface de stockage nécessaire pour la descente des voussoirs, la remontée des matériaux ou l'installation des matériels aurait eu un impact lourd sur les riverains et sur le trafic routier.

Le microtunnelier a donc été la seule alternative possible compte tenu du contexte urbain et de la nature des travaux à exécuter. Cette solution a engendré le challenge principal du projet : la réalisation d'une courbe de rayon 110 m au microtunnelier en diamètre DN2000 mm. L'atelier de microtunnelage a été ainsi modifié et adapté pour faire face à cette contrainte.



Réalisation du collecteur : 3 tronçons et une courbe serrée pour réduire l'impact des travaux

Afin de réduire l'impact en surface des travaux, la construction du collecteur s'est faite en trois tronçons avec une courbe très serrée dans le plan horizontal du dernier tir.

Il est à noter que la réalisation d'une courbe de rayon de 110 m au microtunnelier est un record en France et en Europe compte tenu du diamètre et de la longueur.

Les trois tunnels de diamètre intérieur 2,0 m ont été excavés au microtunnelier à marinage hydraulique avec tuyaux de fonçage. Les 2 premiers tronçons (tir n°1 et tir n°2) ont été construits depuis leur puits de travail circulaire P1. Le microtunnelier a ensuite été récupéré respectivement dans le bassin du Rouailler pour le tir n°1 et dans le puits de travail P2 pour le tir n°2. Quant au troisième tir, il a été construit depuis le puits de travail P2 jusqu'au puits de sortie P3.

Les 3 tunnels, connectés avec des structures en génie civil, permettent d'acheminer les eaux de pluie en gravitaire depuis une surverse située Avenue Turgot (Puits P3) jusqu'au Bassin du Rouailler, quelques 620 m plus loin sous la ville de Livry-Gargan.

Choix des équipements de poussée

Situé dans un environnement urbain, le projet a dû s'adapter à certaines exigences dont des puits de travail réduits pour limiter l'impact en surface. L'utilisation d'un bâti de poussée compact de 850 tonnes a permis de réduire au maximum les dimensions des puits de départ.

Analyse des forces de poussée et validation des équipements

Pour estimer les poussées maximum nécessaires, le groupement a fait le choix pour ce projet de retenir quatre forces à reprendre :

La force de pénétration (ou force exercée sur la roue de coupe)

La valeur sécuritaire retenue pour l'analyse est celle de la résistance maximum des outils de coupe (les molettes). La valeur totale retenue est de 135 tonnes (ou 3 bars de pression de poussée sur la roue).

La force de frottement latérale dynamique

Les frottements sont proposés dans l'étude réalisée par Terrasol et jointe au DCE. On obtient donc un frottement unitaire dans l'argile de 500 kg/m². La force maximum de frottement latéral est donc de : $7,54 \text{ m}^2 \times 420 \text{ ml} \times 500 \text{ kg} = 1585 \text{ tonnes}$

La force de frottement latérale statique

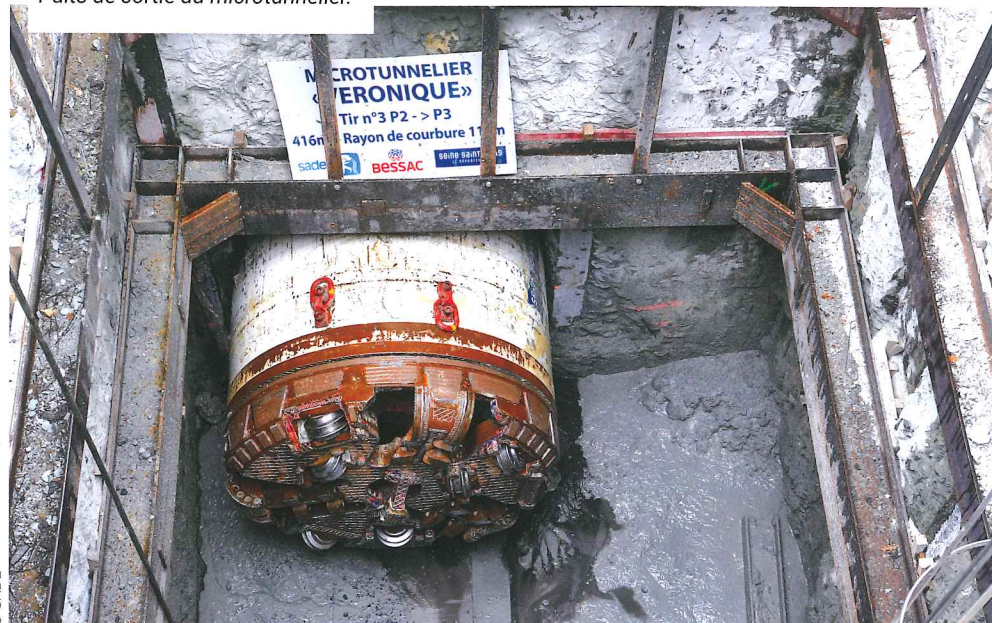
Cette force prend en compte le caractère gonflant de l'argile. Il s'agit de la force nécessaire pour "décoller" le tunnel à la suite d'un arrêt important de l'excavation (la nuit ou le week-end par exemple). Le groupement a retenu une force de 2,5 kPa.

La force d'incidence de la courbe de rayon 110 m

Cette force, propre à ce chantier, a été définie et rajoutée de manière sécuritaire en l'absence de littérature de retour d'expérience avec une telle courbe.

Désignation	Valeur Max	Observations	Applicable au tunnel
Force de pénétration (force exercée sur la roue)	135 tonnes	Valeur sécuritaire proposée par Terrasol (DCE) -> 6 bars de pression	Tir n°1 Tir n°2 Tir n°3
Force de frottement latérale dynamique	0,5 tonnes/m²	Valeur sécuritaire proposée par Terrasol (DCE) Valeur basse = 3,5 kPa Valeur haute = 6 kPa	Tir n°1 Tir n°2 Tir n°3
Force de frottement latérale statique	140 tonnes	Valeur sécuritaire proposée par Terrasol (DCE) -> 2,5 kPa pour arrêt week-end	Tir n°1 Tir n°2 Tir n°3
Force d'incidence de la courbe rayon 110 m	Coefficient 1,5 sur l'ensemble des forces citées précédemment	Sécuritaire	Tir n°3

Puits de sortie du microtunnelier.



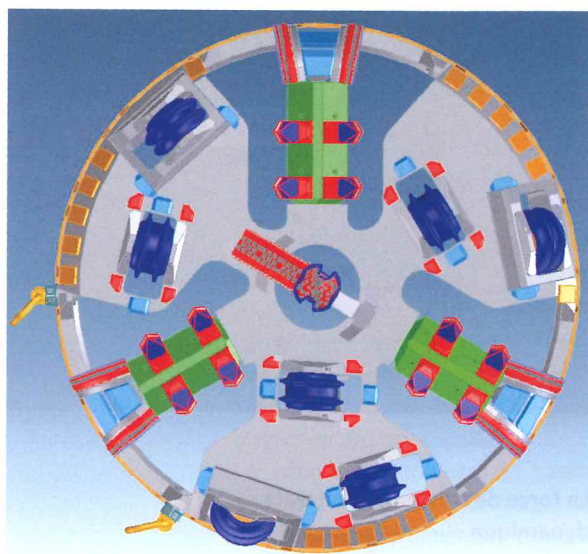
EN CHIFFRES

24 mois
de travaux

620 m
de microtunnelage

3 puits
de 10 et 14 m de profondeur

9,29 M€
d'investissement
(uniquement le lot 1)



La roue de coupe du microtunnelier.

La lubrification - Vérification après travaux des efforts réels de poussée

La lubrification était composée d'une ligne d'injection au niveau des tuyaux en béton armé, équipée en 3 points d'injection répartis à 120° tous les 9 mètres de tunnel et d'une autre ligne renforcée au niveau du tunnelier et de ces boucliers annexes.

L'objectif de cette double lubrification est de réduire le paramètre « force de frottement latérale dynamique » permettant de réduire les forces de poussée au bâti et d'utiliser au minimum les stations intermédiaires.

Par ailleurs, la formulation du produit de lubrification a été spécialement adaptée au projet grâce à des tests réalisés en laboratoire sur des échantillons de sol (marne infra-gypseuse).

Ainsi, il a été ajouté à la classique bentonite, des additifs pour stabiliser le PH, contrôler la viscosité et maîtriser le cake.

Durant toutes les opérations de fonçage, les efforts de poussée ont

été soigneusement monitorés en différents points du fonçage pour s'assurer du bon fonctionnement de la lubrification.

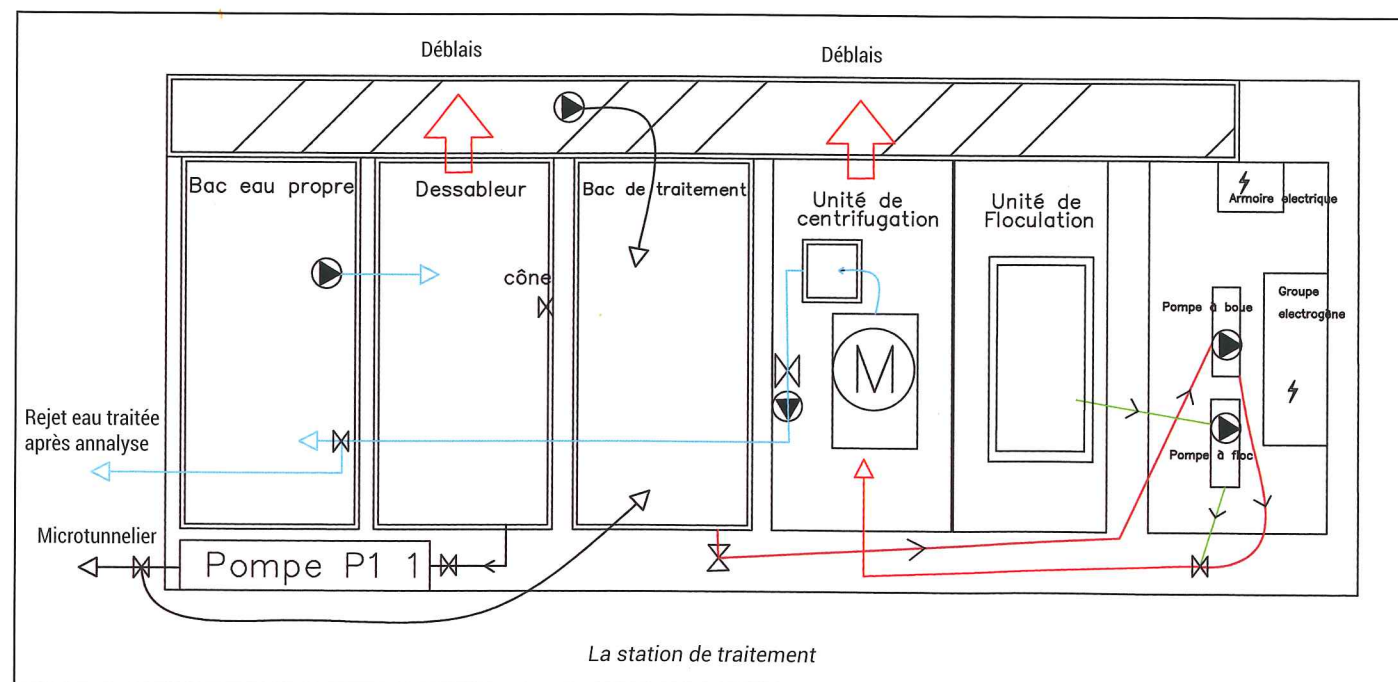
La roue de coupe

Les hypothèses prises en compte (risque de rencontre de terrain argileux colmatant mais également risque de rencontre de blocs rocheux de tailles diverses) ont permis de définir les caractéristiques suivantes de manière à assurer un bon abattage :

- Roue mixte avec présence de molettes et de couteaux,
- Roue ouverte à 30 %, le meilleur compromis entre le terrain collant et le risque de blocs,
- Les molettes permettent également le franchissement de la paroi moulée (bassin du Rouailler) et des pieux sécants du puits de travail.

Le traitement des déblais

Ci-dessous le schéma d'installation des équipements de traitement des déblais.



La station de traitement

© Bessac

3100 m³
de déblais d'excavation

- Le dessableur avec sa cuve fonctionne en circuit fermé avec le tunnel (cuve 30 m³ située sous le dessableur),
- Deux cuves de 30 m³ permettent le stockage de l'eau pour l'une et la boue chargée pour l'autre.

La centrifugeuse

Sur ce chantier, la centrifugeuse a été utilisée de 2 manières différentes selon les besoins.

Stabilisation de la densité

La boue est pompée dans le bac de boue de travail situé sous le dessableur et envoyée à la centrifugeuse. Suite au traitement, la boue retourne au bac de boue de travail. Ce traitement permet de maîtriser la densité de la boue de travail.

Nettoyage de la boue chargée

Ce traitement est effectué sur un circuit séparé. Il permet de nettoyer la boue chargée, inutilisable pour le microtunnelier. Un produit de floculation est ajouté à la boue chargée avant centrifugation.

La centrifugeuse permet alors de séparer la matière solide, envoyée en centre de stockage de déblais de classe 3, de l'eau récupérée dans le circuit fermé.

Bilan des cadences

Le système de traitement des déblais décrit ci-dessus s'est avéré efficace et adapté à la géologie ren-

contrée. Le maintien des propriétés du fluide de marinage tel que nous le voulons pour garantir une vitesse d'avancement instantanée optimale a permis de réaliser des cadences d'avancement au-delà de nos objectifs. Ce système de traitement du marinage pensé en amont en anticipant les problèmes d'une telle géologie, permet une continuité dans son processus sans affecter celui de l'excavation au microtunnelier.

Focus sur la courbe de rayon 110 m

Le troisième tir d'un linéaire de 420 m a concentré les grandes difficultés du projet :

- un passage sous les voies ferrées de la SNCF (tram T4) dans un délai réduit et nécessitant l'avancement du tunnelier 24h/24 sous surveillance en continue des infrastructures ferroviaires.
- un alignement peu commun pour cette technique avec un rayon de courbure de 110 m.

Choix techniques et stratégie

Dès la phase de préparation du chantier, le groupement a su mesurer le défi technique que représentait la réalisation d'une telle courbe au microtunnelier qui était, il faut l'avouer, une première sur le territoire. C'est ainsi que les aléas propres à la réalisation de ce tunnel ont été anticipés au travers de

la mise en œuvre de matériels et méthodes adaptés :

- Utilisation d'un microtunnelier spécialement adapté pour ce chantier et d'un module équipé de vérins d'articulation à l'arrière du microtunnelier pour doubler l'articulation et faciliter le guidage,
- Utilisation de tuyaux de fonçage en béton armé plus courts (1,5 m) afin de réduire la rigidité du tunnel dans la courbe,
- Modélisation informatique du tunnel en amont permettant d'optimiser l'alignement et de prendre cette courbe selon un tracé géométrique plus viable,
- Adaptations dans le tunnel (flexibles de marinage souples, stations intermédiaires plus courtes, etc.)

Les tuyaux de fonçage

Les tuyaux de fonçage en béton armé ont fait l'objet d'une préparation spécifique pour cette courbe : la longueur des tuyaux est réduite à 1,5 m, les abouts des tuyaux sont dessinés pour garantir l'étanchéité des emboîtures dans la courbe et la poussée est répartie efficacement sur la section des tubes par la mise en place d'un joint hydraulique

Réservation côté femelle du tuyau.



intercalé entre les tubes. Le ferrailage des tuyaux est également modifié afin de renforcer le béton au niveau des emboîtements, zone où le risque de rupture du béton est le plus important dans la courbe.

Le système d'emboîtement des tuyaux

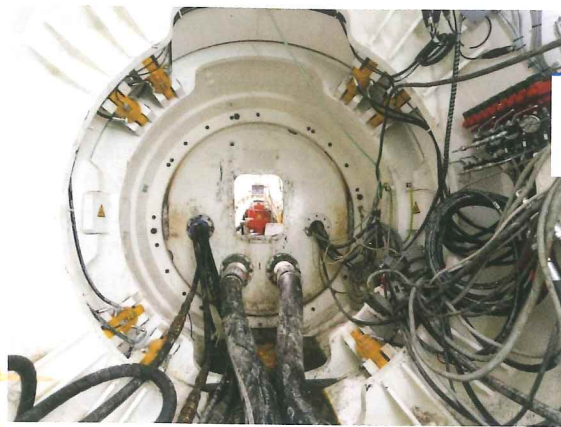
Le système Jackcontrol qui a été utilisé, consiste à mettre en place un joint hydraulique entre chaque tuyau afin de répartir la pression de fonçage sur le tuyau dans la courbe. En d'autres termes, il permet d'éviter les efforts de poinçonnement pouvant entraîner la rupture du béton dans le côté intérieur de la courbe.

Dans le cadre de la conception du système de joints hydrauliques, des calculs ont été effectués pour garantir sa fiabilité jusqu'à un rayon de courbure de 93 m, laissant ainsi de la marge en termes de guidage et d'aléa éventuel.

Le microtunnelier

La machine a été adaptée aux contraintes particulières du projet de Livry-Gargan avec l'adjonction d'un tube suiveur articulé hydrauliquement, également piloté de la surface.

Particularité du bouclier, sa courte longueur qui lui permet d'être



Le sas d'accès du microtunnelier.

extrait de fosses de sortie aux dimensions réduites mais également de s'inscrire dans des courbes de très faible rayon.

Le groupe hydraulique de puissance, le sas d'accès au front pour le personnel et le pupitre de régulation de l'air comprimé nécessaire au fonctionnement du sas sont hébergés dans les premiers tuyaux qui suivent le microtunnelier, complétant le dispositif de maîtrise de la trajectoire de l'outillage en courbe serrée.

de la jupe du microtunnelier et du premier tuyau. Cette seconde articulation est activement contrôlée par le pilote.

L'articulation active est simple d'utilisation pour le pilote. Il lui suffit de penser à ouvrir les vérins du module articulé de la même manière qu'il avait ouvert les vérins du microtunnelier 3 m plus tôt.

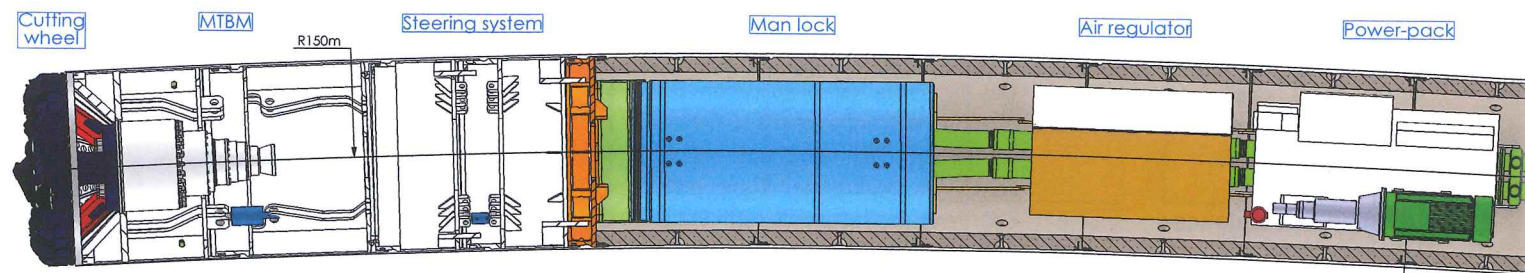
Gyroscope et interventions topographiques

Le microtunnelier était guidé par système gyroscopique (planimétrie) couplé à un niveau à eau électronique (altimétrie).

La précision de la position du microtunnelier en sortie des tirs s'est révélée largement inférieure à la tolérance et à notre objectif avec moins de 2 centimètres d'écart observé en altimétrie et

Une deuxième articulation pour suivre la courbe du microtunnelier

Le deuxième joint d'articulation (module « steering joint ») a offert une possibilité additionnelle de réaliser une articulation active à l'arrière de la machine pour respecter l'alignement prévu et éviter une rigidification trop brute au niveau



© Bessac

en planimétrie. Cette satisfaction a été obtenue grâce à la modélisation informatique en amont des travaux et à un suivi rigoureux de la position du microtunnelier tout au long des tirs.

Conclusion

Le groupement d'entreprises SADE/Bessac a su relever les challenges de ce projet complexe.

Il n'est pas sans rappeler que ce projet témoigne de l'importance d'anticiper les aléas propres à ces

travaux spécifiques, à travers la mise en œuvre de matériels et de méthodes pensés et adaptés spécifiquement.

La précision d'évolution du microtunnelier dans une courbe serrée, la gestion efficace des forces de frottement latérale entre autres, pour une satisfaction finale du département de la Seine-Saint-Denis, nous démontrent que les équipements et méthodes choisis par la SADE et son partenaire Bessac se sont révélés indispensables pour mener à bien le projet.

Le défi technique que représentait la réalisation d'une courbe de rayon 110 au microtunnelier est aujourd'hui réalisé. ●

Bruno SOLIMÉO,
Directeur d'Activité Travaux Souterrains,
Génie Civil, SADE

Samuel SOROKA,
Ingénieur principal, SADE

Thomas BLANCHARD,
Ingénieur travaux, Bessac

BESSAC
TUNNELS & MICROTUNNELS

Nos équipes de spécialistes construisent les infrastructures de demain

Livry-Gargan - Microtunnel en courbe rayon 110 m

ZI de la Pointe - 31790 Saint-Jory - France • Tél.: +33 5 61 37 63 63 • Email: bessac@bessac.com

www.bessac.com