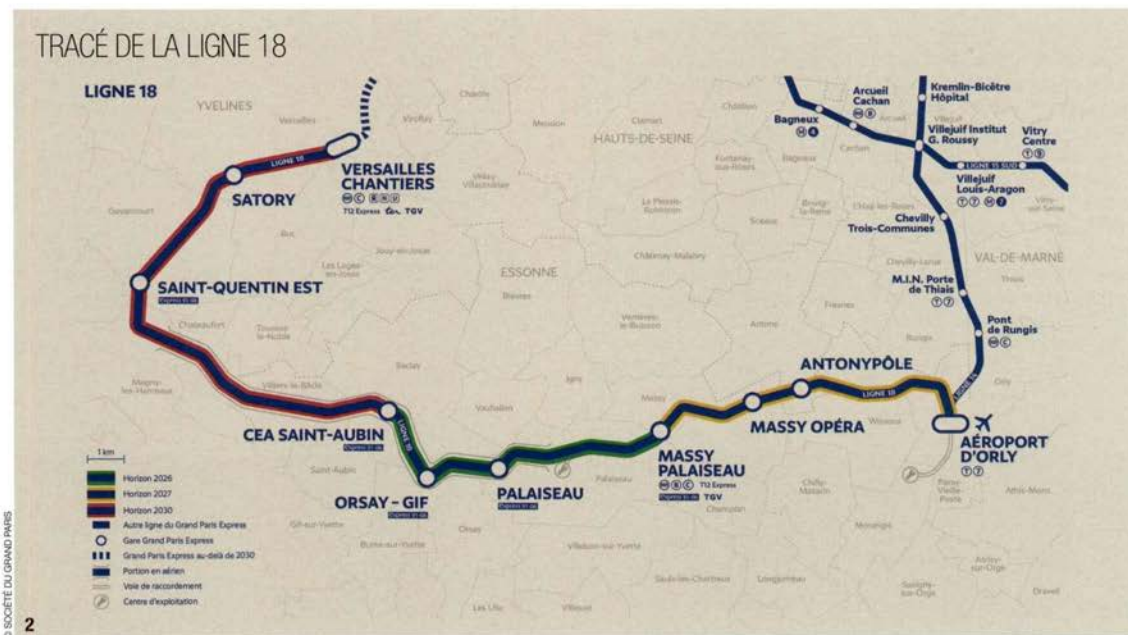




LIGNE 18 GRAND PARIS EXPRESS - GARE MASSY-PALAISEAU - LE CHANTIER AU MILIEU DU FAISCEAU FERROVIAIRE

AUTEURS : CÉLINE CADET, CHEF DE PROJET, SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS - THOMAS RICHEL, ASSOCIÉ, CABINET RICHEL ASSOCIÉS - JULIEN GAUTHERIE, DIRECTEUR DE PROJET, ARTELIA - YVAN GRAVÉ, DIRECTEUR TRAVAUX, VINCI CONSTRUCTION (DODIN CAMPENON BERNARD) - PASCALE LOUVEL, INGÉNIEURE ÉTUDES, SPIE FONDATIONS

ANCRÉ ENTRE DEUX PASSERELLES, AU MILIEU DE DEUX SITES FERROVIAIRES EN EXPLOITATION, L'OUVRAGE DE LA FUTURE GARE DE MASSY-PALAISEAU EST UN DÉFI CONCEPTUEL ET ARCHITECTURAL SUBISSANT DE MULTIPLES CONTRAINTES DE CONSTRUCTION.



PRÉSENTATION DU PROJET

La gare Massy-Palaiseau sera sur la future Ligne 18 qui s'inscrit dans le projet du Grand Paris Express. Il s'agit de la création de 4 nouvelles lignes (15, 16, 17 et 18) et le prolongement de la Ligne 14 de Saint-Denis-Pleyel à Orly : 200 km de ligne, 68 nouvelles gares. Démarré en 2015, le projet est prévu s'achever en 2030. À cette échéance, ce sont près de 3 millions de voyageurs par jour qui sont attendus. Ce nouveau métro reliera les principaux lieux de vie et d'activité de la métro-

1- Ateliers de forage de paroi moulée proche de l'écran de protection des voies SNCF.
2- Tracé de la Ligne 18.

1- Diaphragm wall drilling rigs near the rail track protective barrier.
2- Line 18 alignment.

pole du Grand Paris (la Défense, les 3 grands aéroports franciliens, le marché de Rungis ou encore les principaux pôles universitaires). Il proposera un maillage efficace du territoire francilien : 80% des nouvelles gares offriront des correspondances avec les RER, métros et tramways. Les temps de trajet de banlieue à banlieue seront considérablement réduits puisqu'il ne sera plus nécessaire de passer par Paris pour se déplacer en Île-de-France. Traversant un territoire stratégique du Grand Paris, la Ligne 18 assurera

la mise en relation des grands pôles économiques situés à Orly, Antony, Massy, Saint-Quentin-en-Yvelines et Versailles. Elle desservira également l'un des premiers pôles de recherche et développement du monde, Paris-Saclay. Ce pôle représente 30 000 étudiants, 13% de la recherche nationale publique (CEA Saclay, Université Paris Saclay, Polytechnique, Agroparistech...) et privée, et de nombreuses entreprises de pointe (Thales, EDF, Danone, Renault...) (figure 2).



La gare Massy-Palaiseau s'inscrit dans un pôle multimodal déjà riche en offre de transports : RER C, T12, RER B, Gare Massy TGV et 2 gares routières. Positionnée au centre du faisceau ferroviaire et donc du pôle, sa position lui permettra de réaliser la connexion la plus efficace avec l'ensemble des transports en présence. En contrepartie de cet emplacement optimal pour l'intermodalité, des travaux d'ampleur sont à mener à proximité directe des voies ferrées et d'ouvrages d'art existants qui enjambent ces mêmes voies, un véritable défi technique pour les équipes

de maîtrise d'œuvre et les entreprises, qui ont dû composer avec ces ouvrages sensibles. Pour permettre la réalisation de ces travaux d'ampleur, un vaste programme d'auscultation sur l'ensemble des voies ferrées RATP et SNCF ainsi que des passerelles a été mis en place. Un confortement préalable à la réalisation des parois moulées, des excavations et du tunnel a également été nécessaire au niveau d'une pile d'une passerelle piétonne appartenant conjointement à la SNCF et la RATP. L'ensemble de ces opérations n'aurait

3- Perspective gare L18 Massy-Palaiseau.

4- Hall gare L18 Massy-Palaiseau.

3- Artist's view of L18 Massy-Palaiseau station.

4- L18 Massy-Palaiseau station hall.

pu être mené à bien si un dialogue étroit n'avait pas été instauré avec la commune de Massy mais aussi avec la SNCF et la RATP.

CHOIX DU CONCEPT ARCHITECTURAL

En termes d'implantation, le site de Massy-Palaiseau est un étonnant plateau de voies ferrées, comportant 4 gares et 2 pôles bus, surplombé par 2 longues passerelles parallèles, qui assurent les correspondances tous modes et relient les quartiers Atlantis et Vilmorin.



5- Implantation de la gare / domaine SNCF.

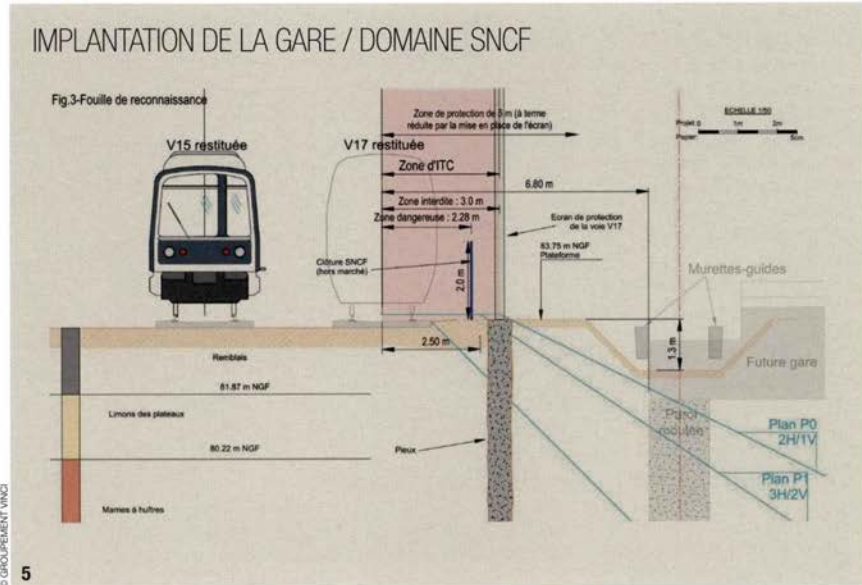
6- Forage d'une barrette à proximité de l'appui existant de la passerelle historique.

7- Mise en tension des aciers pour assemblage des chevêtres avant sciage.

5- Location of the station / SNCF domain.

6- Drilling a barrette near the existing supporting structure of the old foot bridge.

7- Rebar tensioning for assembly of the pier caps before sawing.



Comme un iceberg au milieu d'une mer de fer, la gare de la Ligne 18 émerge au milieu de ce plateau, et connecte le monde du dessous, celui du génie civil souterrain, avec le monde du dessus, celui des longs parcours plein ciel dans les vastes horizons du site (figure 3). La gare prend ainsi la forme de deux longs volumes obliques de béton blanc

et de verre sérigraphié. Ils identifient le bâtiment dans le lieu, et accompagnent les voyageurs, des passerelles aériennes aux quais, et des quais aux passerelles. En biais entre les deux volumes, un parcours extérieur les relie : il abrite sous une fine nappe de sheds les longues poutres-échelles qui portent les toitures du bâtiment.

À l'intérieur, le voyageur émerge, en trois volées d'escalier mécanique, d'un monde massif de béton apparent, mat et enveloppant, vers la légèreté du métal baigné de lumière naturelle.

D'amples et chaleureux plafonds de lames de chêne l'accompagnent dans un parcours très fluide. Ils le guident

dans des volumes clairs, lisibles, qui mettent en scène l'apparition des vues vers les quais des autres lignes et vers l'horizon (figure 4).

Le campus des gares de Massy-Palaiseau s'enrichit ainsi d'un nouveau bâtiment conçu très naturellement autour de sa pratique et à partir de sa situation très spécifique.



© ARTELIA



© ARTELIA

CHOIX TECHNIQUE DE CONSTRUCTION/CONTRAINTES

Ce positionnement de la future gare en plein milieu des faisceaux ferroviaires RATP et SNCF et au milieu des deux passerelles d'accès aux futurs quais a imposé de nombreuses contraintes techniques en termes de conception.

Les méthodologies de réalisation ont été guidées par :

- Le respect des différents référentiels ingénierie (IG) SNCF et leurs équivalents RATP ;
- Les préconisations spécifiques en termes de tassements sur les voies et ouvrages avoisinants, imposées par la Mission de Sécurité Ferroviaire (MSF) et le département RATP Gestionnaire d'Infrastructure Relations Extérieures (GIRE) ;
- La prise en compte de la proximité des caténaires des voies électrifiées proches du chantier.

L'ensemble de ces contraintes, combinées au contexte de la géologie du plateau d'Orly, ont conduit à retenir la technique de la paroi moulée.

La limite imposée en termes de tassements sur les voies ferrées les plus proches (situées à une dizaine de mètres) était de 15 mm en tête de paroi et de 20 mm en travée, et de 5 mm sur les ouvrages d'art. À cela s'ajoute l'ensemble des préconisations de tassements relatifs sur les voies circulées (gauche, dévers...). Ces contraintes ont également nécessité la mise en œuvre d'un écran de protection pour matérialiser la zone dangereuse autour des voies ferrées électrifiées (figure 5). Ces données d'entrée ont influencé le phasage de la gare en privilégiant un phasage en top down afin de pouvoir profiter de l'inertie de la dalle de couverture réalisée avant les terrassements et limiter les déplacements en tête des parois.

Pour porter la dalle de couverture sur la largeur de la gare, des poteaux pré-fondés sont apparus nécessaires et ont été intégrés à la conception de la gare notamment au niveau des quais en s'intégrant aux espaces voyageurs. Ceci a conduit à un élargissement de la largeur de la gare initiale la portant à 29 m. Ces poteaux ont été conçus en panneau de paroi isolé appelé barrette, réalisé en arase basse jusqu'au niveau du radier et dans lequel sont insérés des profilés aciers type HEM jusqu'au niveau de la dalle de couverture (environ 24 m).

Cette conception s'inscrit également dans un contexte pyrotechnique hérité



de la seconde guerre mondiale et des nombreux bombardements que la gare a subis. Tout ceci a été documenté grâce à l'élaboration d'une étude historique de pollution pyrotechnique menée en phase conception et a abouti à près de 300 sondages destructifs de reconnaissance pyrotechnique allant jusqu'à 6 m de profondeur, correspondant à la limite de la couche géologique pouvant contenir des munitions encore intactes. Une étroite collaboration avec les services de la préfecture de l'Essonne a

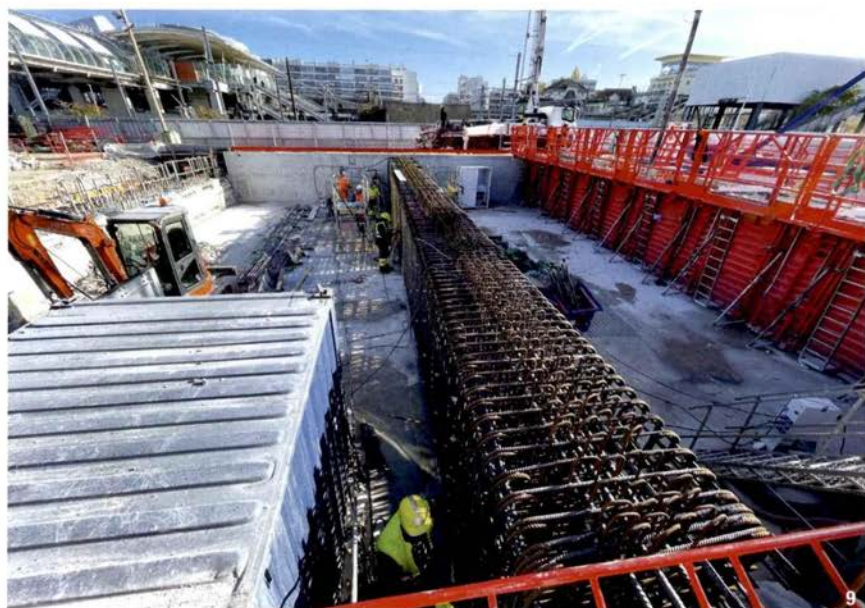
8- Boîte infrastructure et passerelle historique.

9- Ferrailage des poutres de la dalle de couverture.

8- Infrastructure box and old foot bridge.

9- Reinforcement of the cover-slab beams.

été nécessaire pour mettre en œuvre un dispositif d'évacuation efficace des objets pyrotechniques. Aucun objet pyrotechnique n'a finalement été découvert lors de la réalisation des travaux. Dans ce site exige, la passerelle appelée "historique" a ajouté une contrainte technique supplémentaire. Cette passerelle datant de 1936, réalisée en béton avec travées de type bow string est très proche de la boîte gare avec un appui se trouvant à 10 m de la jupe du tunnelier.



10
© GROUPEMENT VINCI11
© ARTELLA

La proximité de cet ouvrage, la méconnaissance de la profondeur de ses fondations et son âge avancé ont nécessité des travaux de reprise de l'appui en sous-œuvre.

Compte tenu de l'état de la passerelle et de l'incertitude quant à son principe de fondations, le groupement de maîtrise d'œuvre, en concertation avec le MOA et le Cerema, a conçu une solution avec un nouvel appui fondé à plus de 30 m de profondeur, de sorte qu'elle ne subisse aucun mouvement préjudiciable lors de la réalisation des travaux de la gare et au passage du tunnelier.

10- Ensemble lierne et butons côté tympan.
11- Ferrailage du radier.

12- Entrée du tunnelier Céline dans la boîte gare.

10- Set of lierne ribs and stays on the front-wall side.

11- Reinforcement of the invert.

12- Céline TBM entry in the station box structure.

Celui-ci est composé de 2 barrettes de fondation de part et d'autre de la pile existante (figure 6), et d'une structure semelles-poteaux-chevêtres-appui venant bréler au niveau du chevêtre existant. Une fois la réalisation de ce nouvel appui terminée, l'appui existant a été scié, afin que la passerelle ne repose plus que sur son nouvel appui (figure 7).

Ce nouvel appui intègre ensuite un dispositif provisoire de compensation des tassements par vérinage. Ces tassements ont été maîtrisés tout au long de la réalisation de la gare et limités à 4 mm à la fin des travaux.

La consolidation finale et le retrait du dispositif de compensation ont eu lieu une fois stabilisés les tassements liés aux creusements de la gare et au passage du tunnelier, en concertation avec les services de la RATP et de la SNCF.

RÉALISATION DE L'OUVRAGE ENTERRÉ

La gare de Massy-Palaiseau est construite selon la méthode top-down qui consiste à réaliser d'abord la dalle de couverture au niveau du terrain naturel, et ensuite l'ensemble du génie civil intérieur en sous-œuvre grâce à la trémie principale des accès par escaliers permettant de rejoindre les niveaux de sous-sol. Cette méthode permet de limiter les contraintes sur les avoisinants et de se servir des dalles intermédiaires comme butée aux parois moulées afin de limiter leur déformation (figure 8). La construction de cette gare a débuté en janvier 2021 avec les premiers panneaux de parois moulées de la gare, de 1,54 m d'épaisseur et de 43 m de profondeur, puis du bassin de rétention attenant. Ces panneaux, pour respecter les référentiels SNCF et RATP, ont été tous ouverts et coulés la même semaine. En effet aucun forage ouvert n'était toléré le week-end. Dans le respect des référentiels, le pan de paroi moulée situé à proximité et parallèlement aux voies ferrées a été découpé en panneaux dits monopasse, avec une largeur de 3,07 m au lieu d'une largeur de 7 m dans le cas courant (figure 1). Cela a contraint le phasage des panneaux de paroi moulée de l'ensemble de la gare dès la phase de dimensionnement.

12
© GROUPEMENT VINCI



Ce panneautage particulier, combiné aux contraintes liées à la présence des poteaux profonds (support des dalles de l'infrastructure) et des zones à dégager pour les trémies d'accès, a conduit à la mise en œuvre de liernes périmétriques de forte section permettant une modularité de la position des butons en plan. Par ailleurs, l'alternance des horizons géologiques, typique du bassin sud-parisien, et l'impossibilité d'utiliser le trépan à proximité du faisceau ferroviaire, ont conduit à forer les parois moulées à l'aide d'un atelier Rotoforeuse et deux ateliers de bennes à câbles. Compte tenu de la dimension des engins utilisés et dans le respect des référentiels, au vu des caractéristiques géotechniques faibles des limons des plateaux, une dalle provisoire en béton armé de 35 cm d'épaisseur a été nécessaire pour permettre l'évolution de ces engins.

Le génie civil a ensuite pris le relais en juillet 2021 pour la construction de la dalle de couverture composée d'un système poutre dalle très ferrailé du fait de son rôle de buton en tête des parois (figure 9).

Puis ont été réalisés la dalle S01 en janvier 2022 et, à la suite, les butons et liernes provisoires dans le gabarit nécessaire au passage du tunnelier (figure 10).

Enfin, on a terminé par le radier, 25 m sous le terrain naturel, au mois d'août 2022 (figure 11). Ce radier a été réalisé sur vide sanitaire d'une hauteur de 50 cm pour tenir compte des gonflements d'argile en fond de fouille.

Le tunnelier Céline est apparu sur le tympan de la gare le 14 novembre 2022, pour un redémarrage à la fin de la même année en direction d'Orly (figure 12). À compter du redémarrage du tunnelier, les 3/4 de la surface ont été libérés pour permettre les travaux en superstructure du bâtiment émergent qui fera la connexion avec les

deux passerelles piétonnes. Cette libération a notamment impliqué le démontage de la grue à tour et le passage en grue mobile dans une emprise réduite. Le génie civil s'est poursuivi avec une contrainte forte : réaliser l'intérieur de la gare en sous-œuvre et avec une seule trémie d'approvisionnement. L'ensemble des structures intérieures de la gare, qui étaient jusqu'alors en conflit avec le gabarit du tunnelier, a été réalisé dans ces conditions d'exécution contraintes et en coactivité avec la superstructure. C'est ainsi qu'au premier trimestre 2023 ont été réalisés la dalle S02, l'ensemble des escaliers publics et de secours, ainsi que le génie civil des poteaux profonds (figure 13), pour ensuite laisser place aux aménagements de la gare dès le 7 août 2023, après 24 mois de travaux de génie civil. Les escaliers monumentaux ont été l'un

13- Poteaux profonds en profilés métalliques.
14- Butons précontraints.

13- Plunge columns formed of steel sections.
14- Prestressed stays.

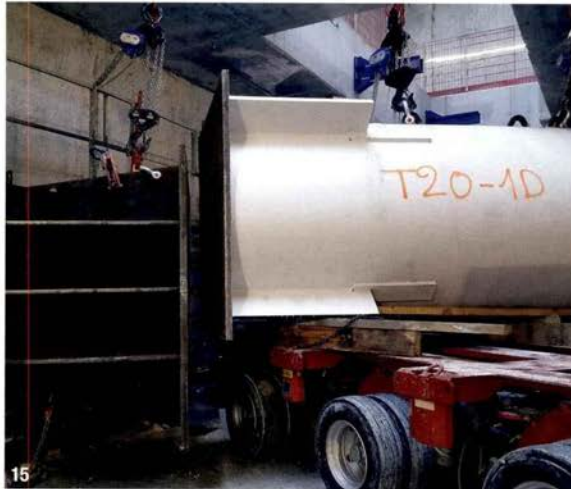
des défis de la gare, avec notamment une structure mixte mise en place pour répondre aux exigences de l'architecte en termes d'élancement des pièces. La qualité de parement de la préfabrication a ainsi été associée aux soudures in-situ de la structure métallique noyée. Le levage de la pièce de 43 t

s'est fait à l'aide d'une grue mobile de 350 t, le tout dans une emprise réduite, bornée par le bâtiment émergent et la passerelle historique.

Le génie civil des poteaux profonds a également été un enjeu pour la gare, puisque celui-ci s'est déroulé en sous-œuvre et sans moyens de levage. Un outil roulant permettant de coffrer ces poteaux et pouvant se déplacer à la main a été fabriqué sur mesure afin d'atteindre une cadence de 2 poteaux par jour au plus fort de l'activité.

Les contraintes du site et la maîtrise des tassements des avoisinants ont été un véritable enjeu tout au long des travaux de gros œuvre. C'est ainsi que plusieurs milliers de prismes sont venus équiper les voies SNCF et RATP ainsi que les passerelles piétonnes de part et d'autre de la gare. Ces mêmes contraintes ont également conduit à



15
© SPIE FONDATIONS16
© GROUPEMENT VINCI

15- Sabot métallique.
16- Poutres en T préfabriquées.

15- Steel shoe.
16- Precast T-beams.

mettre en place près de 2000 t de butons, lesquels ont été préchargés à l'aide de vérins chargés à 2500 t pour les plus contraints (figure 14). La mise en œuvre de cette précharge sur des butons d'angle, dont le diamètre de certains tubes avoisinait 1,80 m, a conduit à la réalisation de sabots métalliques de dimension plurimétrique (figure 15).

La mise en place de ces butons en sous-œuvre, dont chaque élément

PRINCIPALES QUANTITÉS

PAROI MOULÉE : 56 panneaux, 12 barrettes avec préfondés, 15500 m³, 1 350 t d'armatures
BÉTON GARE : 10 000 m³, 2 350 t d'armatures
ACIER POUR BUTONS : 1 950 t
BUTONS PRÉCONTRAIT : 43 u
DÉBLAI : 50 000 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Société du Grand Paris

ARCHITECTE : Cabinet Richez Associés

GROUPEMENT DE MAÎTRISE D'ŒUVRE COMPOSÉ DE : Ingérop / Artelia / Arcadis

GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Vinci Construction Grands Projets, Dodin Campenon Bernard, Vinci Construction France, Botte Fondations, Spie Batignolles Génie Civil, Spie Batignolles Fondations

PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS :

Sendin (armatures), Vinci Isc (études d'exécution)

pèse un peu plus de 10 t, a nécessité une anticipation méthodologique, avec l'intégration de centaines d'inserts dans les dalles réalisées à la descente, un an avant leur pose. Ces mêmes inserts ont eu un double emploi tout au long des travaux, d'abord la pose, ensuite la dépose de ces butons.

Enfin, la maîtrise de la prévention lors des travaux de réalisation de la dalle S02 en sous-œuvre et au-dessus des servitudes du tunnelier a conduit le groupement d'entreprises à innover en termes de méthode. Dans les faits, cette dalle a donc été assemblée à l'aide de 38 poutres en T préfabriquées, de 14 t chacune, et posées à l'aide d'un pont roulant (figure 16).

Ces opérations ont permis de tenir le planning et de supprimer les risques liés à la manipulation d'étaisements lourds en passe charretière dans des milieux confinés et exigus. □

ABSTRACT

LINE 18 OF THE 'GRAND PARIS EXPRESS' PROJECT - MASSY-PALAISEAU STATION - CONSTRUCTION SITE IN THE MIDST OF THE RAILWAY TRACKS

CÉLINE CADET, SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS - THOMAS RICHEZ, CABINET RICHEZ ASSOCIÉS - JULIEN GAUTHERIE, ARTELIA - YVAN GRAVÉ, VINCI CONSTRUCTION (DODIN CAMPENON BERNARD) - PASCALE LOUVEL, SPIE FONDATIONS

Massy-Palaiseau station forms part of a multimodal hub, and is located in the centre of the railway tracks. Its position will enable it to achieve efficient connections with all the transport systems involved. The flipside of this optimal location for intermodal transport is that major works have to be carried out very close to the railway tracks in service and to existing bridge structures crossing these same tracks. This is a real technical challenge for the project management teams and contractors which had to come to terms with these sensitive structures and with the relevant recommendations, in particular by complying with the various engineering (IG) guidelines of SNCF (French Rail) and their equivalents at Paris public transport operator RATP. □

LÍNEA 18 DEL GRAND PARIS EXPRESS - ESTACIÓN DE MASSY-PALAISEAU - LA OBRA EN MEDIO DE HAZ FERROVIARIO

CÉLINE CADET, SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS - THOMAS RICHEZ, CABINET RICHEZ ASSOCIÉS - JULIEN GAUTHERIE, ARTELIA - YVAN GRAVÉ, VINCI CONSTRUCTION (DODIN CAMPENON BERNARD) - PASCALE LOUVEL, SPIE FONDATIONS

La estación de Massy-Palaiseau se inscribe en un eje multimodal. Está situada en el centro del haz ferroviario, una ubicación óptima en términos de conexión con el conjunto de transportes presentes, pero que exige realizar obras importantes en proximidad directa de las vías operativas y de estructuras existentes que franquean dichas vías. Ello supone un importante desafío técnico para los equipos de dirección de obra y las empresas, que han tenido que amoldarse a esas construcciones sensibles y a las recomendaciones conexas, en particular el respeto de las distintas normas de ingeniería (IG) de SNCF y sus equivalentes de la autoridad de transportes de París (RATP). □

