

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

SPECIAL GARES. LIGNE 15 SUD - CAVERNE DE VERT-DE-MAISONS. GARE DE NOISY-CHAMPS. GARE VITRY-CENTRE - LIGNE 15 SUD. STATION LA-DHUYS - LIGNE 11. LA GARE IGR A LA CROISEE DES TUNNELIERS. LES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES DU PEM LYON PART-DIEU. LES GARES DU TELEO - TOULOUSE. LA GARE DE SEVRAN-LIVRY - LIGNE 16. PASSAGE SOUTERRAIN DE LA GARE SNCF DE SAINT-DENIS. SAINT-MAUR-CRETEIL - GARE LA PLUS PROFONDE DE FRANCE

N° 966 JANVIER/FÉVRIER 2021



STATION SOUTERRAINE
DU TRAMWAY DE NICE
© DIDIER QUILLON/
MÉTROPOLE
NICE CÔTE D'AZUR

LES TRAVAUX
PUBLICS
FÉDÉRATION
NATIONALE

SANTÉ • PRÉVOYANCE • ASSURANCES • ÉPARGNE • RETRAITE • VACANCES

NOUS AVANÇONS SUR LA MÊME ROUTE QUE LES TRAVAUX PUBLICS

Nous connaissons bien votre métier et tous ses risques. Nous les couvrons avec des garanties adaptées pour mieux vous protéger, mieux vous assurer et vous soutenir en cas de besoin. Et comme nous faisons aussi partie de la famille du BTP, nous ferons toujours route commune.



PRO BTP
GROUPE
www.probtp.com

Directeur de la publication
Bruno Cavagné**Directeur délégué**
Rédacteur en chef
Michel Morgenthaler
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. +33 (0)1 44 13 31 03
morgenthalerm@fnfp.fr**Comité de rédaction**

Erica Calatozzo (Systra), Jean-Bernard Datry (Setec), Olivier de Vriendt (Spie Batignolles), Denis Etienne (Bouygues), Philippe Gotteland (Fnfp), Florent Imbert (Razel-Bec), Nicolas Law de Lauriston (Vinci), Romain Léonard (Demathieu Bard), Claude Le Quéré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Claude Servant (Eiffage), Nastaran Vivan (Artelia), Michel Morgenthaler (Fnfp)

Ont collaboré à ce numéro**Rédaction**
Monique Trancart (actualités),
Marc Montagnon**Service Abonnement et Vente**Com et Com
Service Abonnement TRAVAUX
Bât. Copernic - 20 av. Edouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22
Fax +33 (0)1 40 94 22 32
revue-travaux@cometcom.frFrance (9 numéros) : 190 € TTC
International (9 numéros) : 240 €
Enseignants (9 numéros) : 75 €
Étudiants (9 numéros) : 50 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)
Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)**Publicité**Rive Média
10, rue du Progrès - 93100 Montreuil
Tél. : 01 41 63 10 30
www.rive-media.fr**Directeur de clientèle**
Bertrand Cosson -
b.cosson@rive-media.fr
L.D. : 01 41 63 10 31**Site internet : www.revue-travaux.com****Édition déléguée**Com'1 évidence
2, chemin dit du Pressoir
Le Plessis
28350 Dampierre-sur-Avre
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52
revuetravaux@com1evidence.com

La revue Travaux s'attache, pour l'information de ses lecteurs, à permettre l'expression de toutes les opinions scientifiques et techniques. Mais les articles sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts de la publication.

Tous droits de reproduction, adaptation, totale ou partielle, France et étranger, sous quelque forme que ce soit, sont expressément réservés (copyright by Travaux).

Ouvrage protégé : photocopie interdite, même partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait contrefaçon (code pénal, article 425).

Éditions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0218 T 80259
ISSN 0041-1906

MÉTRO LIGNE B DE RENNES MÉTROPOLE DES STATIONS INNOVANTES ET DURABLES



© DR

Mi-décembre, les 15 stations de la Ligne b du métro de Rennes Métropole ont été réceptionnées par la Semtcar. Après 7 ans de travaux (un peu plus que prévu, Covid oblige), c'est une étape essentielle dans la réalisation du projet qui sera mis en service fin juin 2021.

Plus encore que pour la première ligne, mise en service en 2002, il a fallu relever de nombreux défis en phase génie civil. Le tunnel, long de 8,5 km, réalisé en milieu urbain dense avec un seul tunnelier, a forcément capté l'attention des Rennais avec un franchissement de rivière, le croisement en très forte proximité du tunnel de la Ligne a ou encore le passage sous plusieurs îlots du centre historique hérité du moyen-âge. S'y ajoutent des stations souterraines insérées "au chausse-pied" entre les immeubles. Coté aérien, 2,4 km de viaduc ont été réalisés pour la première fois en France depuis des décennies au moyen d'une poutre de lancement, technique qu'il a fallu réadapter et moderniser. Enfin plusieurs chantiers se sont trouvés en interface plus qu'étroite avec d'autres travaux de grands équipements comme le Centre des Congrès ou le PEM gare de Rennes. La fin de l'étape gros œuvre s'est accompagnée d'un certain soulagement.

Ces prouesses techniques, aujourd'hui insoupçonnables sous leur couche de second œuvre, ont été

vite éclipsées par le souci du rendu final. Le retour d'expérience de la Ligne a a permis, tout en maintenant les exigences fortes de durabilité et de facilité de maintenance, d'améliorer encore le confort des stations : apport de lumière naturelle, intégration de nouvelles matières (bois) ou couleurs (inox ou verre coloré), diversification des ambiances lumineuses... C'est ce que retiendront demain les voyageurs, et c'est ce qui nécessite aujourd'hui une présence forte du maître d'ouvrage aux côtés de sa maîtrise d'œuvre pour garantir une qualité de rendu irréprochable.

Outre ces problématiques constructives, il a fallu aborder avec cette deuxième ligne un nouveau challenge : intégrer le plus possible les dimensions environnementales désormais incontournables, tout en garantissant le respect des coûts, des délais et de la qualité. Pour résoudre cette équation complexe, la Semtcar a dû conjuguer rigueur et agilité.

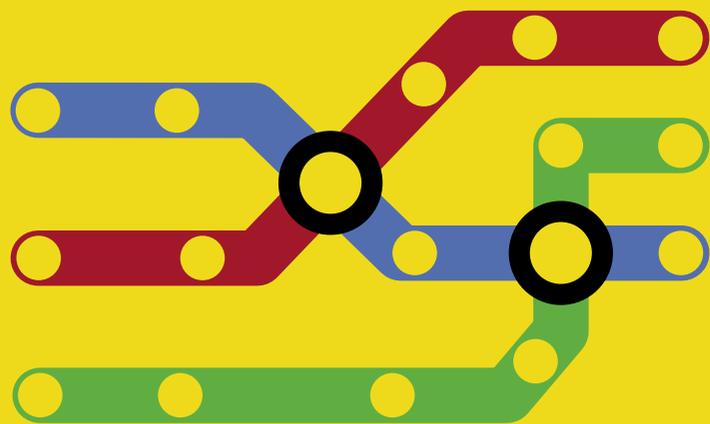
Des solutions vertes ont été intégrées au projet, dès les premières étapes de sa conception mais également au cours des travaux. Une démarche pragmatique et parfois limitée par les contraintes inhérentes à ce type de réalisation, mais qui a produit des résultats.

Les ouvrages intègrent un ensemble de mesures dans des domaines variés. Certaines sont éprouvées : récupération et recyclage des eaux de pluie pour le lavage des rames, production d'eau chaude solaire, panneaux photovoltaïques... Mais l'innovation est aussi présente avec la géothermie installée dans certaines stations pour chauffer les immeubles avoisinants, ou les places dédiées au covoiturage dans les parcs relais, avec détection automatique des passagers en entrée. Quant à la biodiversité, le choix a été fait d'aller au-delà des "obligations réglementaires" avec 32 ha dédiés aux mesures compensatoires sur la faune et la flore, assortis d'un plan de gestion sur 25 ans...

L'ensemble de la démarche a permis à la Semtcar de remporter le Trophée 2020 des Entreprises Publiques Locales. C'est une fierté partagée avec Rennes Métropole et l'ensemble des intervenants du projet.

XAVIER TIREL
DIRECTEUR GÉNÉRAL DE LA SEMTCAR

SPÉCIAL GARES





04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



18

ENTRETIEN AVEC PIERRE TISSIER

EGIS RAIL -
MÉTROS, TRAMWAYS, TRAINS :
L'INGÉNÉRIE COMPLÈTE DU RAIL

24 EIFFAGE RAIL : UNE EXPERTISE GLOBALE DU FERROVIAIRE



32 LIGNE 15 SUD - CAVERNE DE VERT-DE-MAISONS

Retour d'expérience sur
les injections d'étanchement

37 GARE DE NOISY-CHAMPS

Relever le défi de creuser
les Lignes 15 et 16 du
Grand Paris Express
sous les quais du RER A

44 VITRY-CENTRE

Une nouvelle gare de
la Ligne 15 Sud en plein cœur
de Vitry-sur-Seine

52 STATION LA-DHUY

Prolongement à l'est
de la Ligne 11 à Paris

60 LA GARE IGR

à la croisée des tunneliers

66 LES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES DU PEM LYON PART-DIEU

TVM et SBS

74 LES GARES DU TELEO

Toulouse

82 RÉALISATION DE LA GARE DE SEVRAN-LIVRY

sur la Ligne 16 du Grand Paris
Express

88 PASSAGE SOUTERRAIN DE LA GARE SNCF DE SAINT-DENIS (93)

94 SAINT-MAUR-CRÉTEIL

Focus sur la gare
la plus profonde de France

LA GARE IGR À LA CROISÉE DES TUNNELIERS © STÉPHANE CORDIER

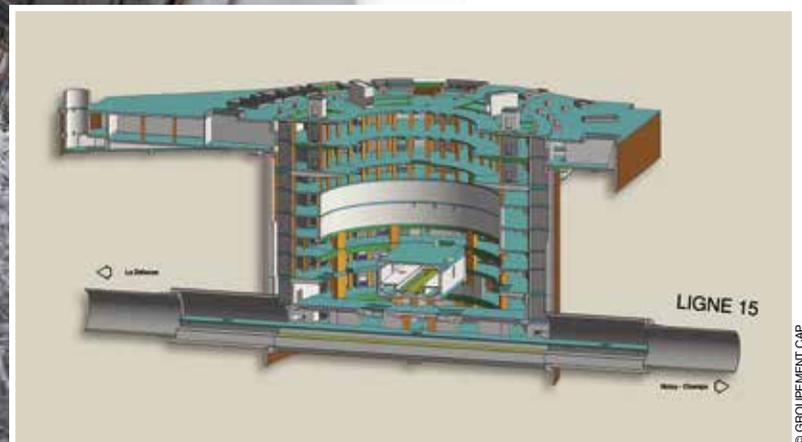


QUAND DEUX TUNNELIERS SE CROISENT DANS LA GARE IGR IL NE FAUT PAS RATER SON COUP

Le groupement CAP

(Vinci Construction Grands Projets, Vinci Construction France, Dodin Campenon Bernard, Spie Batignolles Génie civil, Spie Batignolles Fondations, Botte Fondations) réalise la gare Villejuif-Institut-Gustave-Roussy qui est à l'interconnexion de la Ligne 15 Sud et du prolongement de la Ligne 14 Sud, respectivement sous maîtrise d'ouvrage SGP et RATP. Deux tunneliers traversent la gare, qui comporte dix niveaux de planchers.

(Voir article page 60).



© GROUPEMENT CAP



UNIVERSITE
PAUL SABATIER



OUI, C'EST BIEN UNE GARE, CELLE DU TÉLÉPHÉRIQUE URBAIN DE TOULOUSE

Poma / Bouygues Travaux Publics Régions France et Systra font partie d'un groupement qui réalise à Toulouse, dans un contrat de conception-réalisation-maintenance, le téléphérique TELEO. Ce téléphérique débrayable (système 3S) de grande capacité sera le plus long téléphérique urbain de ce type dans le monde. (Voir article page 74).

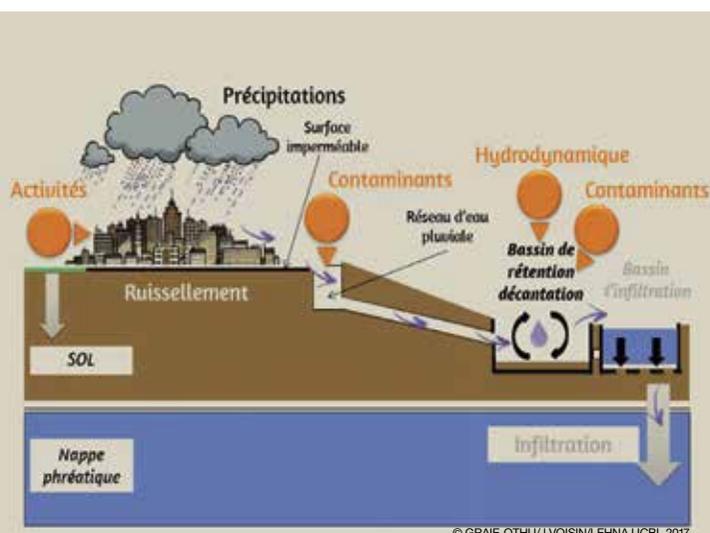


© BOUYGUES TP/RF

© BOUYGUES TP/RF

MIEUX APPRÉHENDER LES SÉDIMENTS PLUVIAUX D'ASSAINISSEMENT

Les sédiments pluviaux d'assainissement urbains ou routiers doivent être gérés car ils peuvent contenir des contaminants. La dispersion sur le territoire des bassins où ils s'accumulent ne facilite pas leur traitement au meilleur coût. Le cluster Indura veut approfondir le sujet.



Les sédiments pluviaux d'assainissement urbains sont des particules issues du ruissellement ou liées à des réactions physico-chimiques.

« Les bassins de rétention/décantation ou d'infiltration des eaux pluviales urbaines fonctionnent très bien puisqu'ils retiennent la pollution qui se retrouve dans les sédiments, » constate Julien Couvidat, du laboratoire Déchets, eaux, environnement, pollutions (Deep, Insa Lyon), intervenu au webinaire Indura du 9 novembre sur le sujet.

Les bassins fonctionnent bien mais les gestionnaires ne savent pas quoi faire des sédiments. « Ils ont du mal à identifier les filières de gestion et de valorisation de ces résidus, et les résidus sont souvent méconnus, » observe Lætitia Bacot, directrice de l'Observatoire de terrain en hydrologie urbaine (Othu) animé par le Groupe de recherche, animation technique et information sur l'eau (Graie).

Rappelons qu'un bassin de rétention centralise en un point bas les eaux de ruissellement, il les stocke, en perd une partie par évaporation, les renvoie vers le milieu naturel ou vers un bassin d'infiltration dans le sol. Les sédiments s'accumulent. Ils doivent être évacués au risque de réduire la capacité du bassin ou d'en colmater le fond.

Indura, à travers ce webinaire, veut créer un groupe de réflexion spécifique au 1^{er} semestre 2021.

→ Études sur la Métropole de Lyon

Dans le cadre de l'Othu, trois recherches apportent des connaissances sur les sédiments pluviaux urbains dans l'agglomération lyonnaise : Eoclopiues (2009, ouvrages), Cabrres (2011, contaminants) et Gessol/Faff (2014, filtration).

Les sédiments sont issus de matières apportées par le ruissellement, ou par altération du milieu voire du bassin lui-même, ou de réactions physico-chimiques in situ. Leur composition minéralogique dépend du contexte géologique local. L'étude Faff/Gessol sur 19 bassins de l'est de la métropole de Lyon, révèle une texture très fine, limono-argileuse et, à 17,5 %, composée de matières organiques.

Les contaminants les plus courants sont des traces métalliques ou métalloïdes dont le cuivre, le plomb et le zinc très présents en urbain, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (organiques), des pesticides, des PCB, PBDE (retardateurs de flamme) et des octyl/nonyl-phénols (plastique, polymères).

Les quantités ne sont pas astronomiques, pas forcément problématiques, mais leur accumulation pourrait être toxique (effet cocktail). Le programme Cabrres a démontré que les sédiments "frais" étaient plus écotoxiques que ceux laissés à "mûrir" plus de six mois.

→ Impact sur la ressource en eau

Le zinc, le cuivre et le plomb se retrouvent aussi beaucoup dans les boues pluviales d'assainissement routier. Les particules fines proviennent des carburants, de la graisse, de l'usure des véhicules, des infrastructures et des équipements.

« Nous nous intéressons également à la part qui passe dans l'eau, et impacte la ressource en eau et les écosystèmes, précise Laurent Eisenlohr, du Cerema, chef de l'unité chargée notamment de l'environnement et des risques⁽¹⁾. »

« Nous analysons régulièrement les rejets des 1 650 bassins d'eaux pluviales sur nos 2 300 km d'autoroutes, informe Jean-Luc Dabert, conseiller technique infrastructures routières d'APRR. La pollution des sédiments est traitée par décantation, déshuilage, dégrillage. Nous souhaitons prévenir la contamination à travers l'amélioration des dispositifs, et réduire la quantité des sédiments, actuellement de 45 m³ par bassin, soit 74 000 m³ au total. »

→ Comment abaisser les coûts

L'APRR abaisse le coût de la gestion des sédiments en les stockant temporairement pour les sécher, ce qui réduit leur transport vers une installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND). Un lit de séchage coûte entre 80 000 et 100 000 euros, à raison de 28 tonnes par lit et un lit tous les 100 km environ. Vingt-neuf lits sont déjà réalisés, 4 étaient

en chantier fin 2020 et 2 sont prévus en 2021.

Abaisser les coûts par massification des sédiments semble hors d'atteinte car « le gisement est discontinu, dispersé sur le territoire, les curages, épisodiques, la qualité, variable, » remarque Julien Couvidat à propos des 285 bassins de la Métropole de Lyon qui produisent au moins 52 000 tonnes de sédiments par an. Un programme du laboratoire Deep dresse l'état des lieux de la gestion des sédiments pluviaux, identifie et compare les filières d'évacuation, et recueille des expériences de gestionnaires. Commencé fin 2019 et baptisé Désir - Développement et évaluation de stratégies de gestion durable des sédiments de bassins d'infiltration et de rétention des eaux pluviales -, il publiera ses résultats en 2021-2022⁽²⁾.

→ En station d'épuration

Un état des lieux rapide montre que la filière la plus courante consiste à les envoyer en station d'épuration (Step) ou dans une installation de stockage de déchets dangereux s'ils sont fortement contaminés. Un autre type de filière enchaîne séchage, séparation granulométrique avant d'envoyer les sédiments en Step ou en installation de stockage de déchets inertes (SDI) ou non dangereux.

Webinaire Sédiments pluviaux d'assainissement urbains et routiers : <https://vimeo.com/showcase/7046286>. ■

⁽¹⁾ Unité économie circulaire des matériaux du BTP, réhabilitation des sites à passif environnemental, environnement et risques, protection des ressources en eau.

⁽²⁾ Désir fera l'objet d'un webinaire Indura.



Lit de séchage de boues d'assainissement autoroutier en chantier à Marchaux (Doubs) de 25 m par 20.

REPÉRER L'AMIANTE

La mission et la méthodologie de repérage de l'amiante dans les ouvrages de génie civil, les infrastructures de transport et les réseaux divers sont définies dans la norme NF X46-102 parue en novembre.

Elle ne s'applique pas au bâti, ni aux sols et roches en place, ni aux remblais, bétons hydrauliques et matériaux non liés (sauf ballast et pierre ornementale).

Les rôles du maître d'ouvrage et de l'opérateur sont précisés. www.boutique.afnor.org

LE CARBONE DANS LA RE2020

La réglementation thermique, créée en 1974 pour abaisser les consommations d'énergie de l'habitat neuf, est devenue réglementation environnementale en 2020.

La RE2020 doit être publiée début 2021 et entrer en vigueur cet été. Elle remplace la réglementation de 2012. S'ajoutent dorénavant la réduction des émissions de carbone y compris à la construction et sur le cycle de vie. Selon l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction, la fin de vie n'a pas été prise en compte. Les matériaux biosourcés comme le bois seraient privilégiés par rapport au béton. D'autres reprochent à la RE2020 de favoriser l'électricité (énergie décarbonée) au détriment du gaz*. Le confort d'été devra être accru face aux canicules.

* Cf. Le gaz banni des logements neufs, Nabil Wakim, Le Monde, 26 novembre 2020.



Place aux matériaux biosourcés dans le neuf.

470 MILLIONS D'EUROS POUR LE NUCLÉAIRE



© TOURON-EDF

Télé-opération de démantèlement d'un réacteur sur la centrale nucléaire Chooz A (Ardennes), en 2017.

La conception de centrales nucléaires de petite taille figure dans les actions du plan "France relance" destiné à renforcer les compétences et la compétitivité de la filière nucléaire.

Parmi les autres mesures publiées par le gouvernement le 27 novembre dans ce cadre, citons l'aide à la recherche et au

développement sur la gestion des déchets, le soutien au technocentre de recyclage de métaux de Fessenheim (Haut-Rhin).

Un financement ira au renforcement des compétences du personnel et du savoir-faire industriel sur « les pièces stratégiques des centrales. »

Un fonds d'investissement sera créé pour « consolider l'actionnariat et accompagner les augmentations de capital des entreprises de la filière au service de leur solidité. »

Parallèlement, les ministères de la Transition écologique, de l'Économie, des Finances et de la Relance, et de l'Industrie ont lancé un appel à projets de soutien à l'investissement et à la modernisation de l'industrie nucléaire.

→ Industrie aux meilleurs standards

Cet appel est nécessaire car « la performance en exploitation et la sûreté du parc existant tout comme la compétitivité des projets à l'export ou encore la gestion efficace des opérations de démantèlement, impliquent de maintenir une base industrielle aux meilleurs standards. »

Il vise à soutenir « des projets de modernisation, de développement et de relocalisation des sites industriels au service de la filière électronucléaire. »

Cet appel inclut l'intégration de l'usine numérique dans la filière. Il sera financé par BPI France (soutien à l'investissement et à la modernisation de l'industrie). Au total, 470 millions d'euros seront ainsi injectés dans le nucléaire. ■

RÔLE DE L'INFRASTRUCTURE DANS LA MOBILITÉ CONNECTÉE

« Le rôle des infrastructures routières dans le développement de la mobilité connectée, autonome et décarbonée est encore globalement sous-estimé sauf pour les mobilités légères ou actives, » conclut une étude internationale publiée en septembre.

À l'origine de cette étude démarrée en mars 2019 : Routes de France, la Fédération nationale des travaux publics, la Fédération européenne de la route, avec la Fédération de l'industrie européenne de la construction et la Confederation of International Constructors' Association. Autre principale conclusion : l'entretien et l'adaptation sont primordiaux. Des investissements importants sont nécessaires pour accompagner cette mutation.

Les pays scandinaves, germaniques et le Royaume-Uni ont des législations d'expérimentations ouvertes sur les véhicules autonomes, avec de l'ambition et le soutien de l'industrie automobile et du numérique.

« Les pays du Sud sont plus prudents sur les cas d'usage et les niveaux d'autonomie. »

En ville, l'espace est redéfini pour mieux accueillir les modes doux de transport. « Les mobilités électriques, connectées et autonomes passent surtout par l'adaptation des équipements de la route. »

→ Conduction et induction sur chaussée

L'Europe privilégie l'équilibre entre système embarqué dans le véhicule et équipement de l'infrastructure en particulier pour communiquer avec lui. Bornes et stations de recharge concentrent les préoccupations alors que l'alimentation par conduction et induction pourraient se développer sur la chaussée.

La sécurité routière reste une préoccupation assez largement partagée par les usagers dans le monde ainsi que la fluidité de la circulation.

Étude sur : www.fntp.fr. ■



Les bornes de recharge concentrent les préoccupations alors que le rôle de l'infrastructure est plus large.

© MT

MATÉRIAUX DE CARRIÈRES ET DE CONSTRUCTION : ANNÉE CREUSE EN 2020

MARCHÉ DES MATÉRIAUX

Données cjo	ANNÉE 2018		2019	2020			
	Niveau	2018/17 %	4 ^e trim.	1 ^{er} trim.	2 ^e trim.	3 ^e trim.	10 mois
Granulats⁽¹⁾	353,4 Mt	+ 4,9	- 2,9	- 12,0	- 19,4	+ 3,6	- 8,9 ⁽²⁾
Béton prêt à l'emploi	40,1 Mm ³	+ 3,7	- 7,5	- 19,6	- 24,4	+ 5,9	- 11,9 ⁽²⁾
Adjuvants	0,1 Mt	+ 0,6	- 1,1 ⁽³⁾	- 18,4 ⁽²⁾			nd
Ciment	18,6 Mt	+ 3,1	nd	nd	nd	nd	nd
Tuiles	2,1 Mt	+ 1,5	- 12,5	- 6,3	- 8,7	+ 10,2	- 1,9 ⁽⁴⁾
Briques	1,8 Mt	+ 0,4	- 6,0	- 12,7	- 18,2	+ 5,1	- 9,5 ⁽⁴⁾
Prod. béton bâtiment	14,1 Mt	+ 0,6	- 4,0	- 11,6	- 7,7	+ 14,7	- 2,3
Prod. béton TP	5,9 Mt	+ 0,6	- 4,6	- 18,0	- 25,8	+ 12,9	- 11,7
Indicateur Matériaux⁽²⁾	471,6 Mt	+ 4,4	- 5,3	- 14,7	- 18,9	+ 7,3	- 8,5⁽²⁾

* Variation en % par rapport à la même période de l'année précédente en données corrigées du nombre de jours ouvrés
 (p) Provisoire - (1) Données de production ; autres matériaux : livraisons - (2) Le volume de l'indicateur matériaux correspond à la somme des livraisons des produits suivants : BPE, granulats, tuiles et briques, produits en béton pour le bâtiment et les TP.
 La variation en % de l'Indicateur Matériaux est égale à la somme des variations de chaque produit pondéré par son chiffre d'affaires
 (3) Résultats semestriels - (4) Fin septembre

© SOURCES : UNICEM/FTB/FIB/SFIC

2020 devait être une année d'activité stable par rapport à 2019 pour les matériaux issus de carrières et de construction. Elle aura été « très difficile, avec deux premiers trimestres très négatifs », selon les chiffres publiés par l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction (Unicem), début décembre, avec des données consolidées à fin septembre. Le rattrapage du 2^e semestre sera insuffisant pour sauver l'année. Ce secteur n'a pas échappé à la crise sanitaire. « En avril, mois le plus impacté, les volumes se contractaient de près de 60 % par rapport à 2019 pour les granulats, et de 70 % pour le béton prêt à l'emploi (BPE) », écrit l'Unicem.

Granulats et BPE sont les deux familles les plus importantes de l'Union avec une production de 326 millions de tonnes pour la première en baisse de 8 % par rapport à 2019, et 36 millions de mètres cubes pour la seconde, à -10 %. Sur le plus long terme, le recul se confirme avec une production de granulats à -10 % sur dix ans et à -12-15 % sur 20-30 ans.

→ Pas de rattrapage en 2021

Les chantiers n'ont pas été arrêtés au second confinement mais l'activité a été ralentie. En travaux publics, la co-activité, forte sur les grands chantiers, impose des règles de protection sanitaire qui diminuent la productivité.

Le plan de relance, élément positif, devra se traduire rapidement en chantiers. Les travaux publics ont déjà souffert du décalage du 2^e tour des élections municipales. Des projets ont pu être annulés.

Les circuits de la commande administrative ont été perturbés. « Il y a un effet d'épuisement des carnets de commandes, » observe l'Unicem. Les perspectives dans la construction de logements ne sont pas meilleures.

2021 ne sera pas l'année du rattrapage. Le volume de BPE dépassera de peu celui de 2020 (+0,5 %) à cause de la « mauvaise orientation » des permis de construire, ce qui le place à -10 % par rapport à 2019, année déjà moins bonne que 2018 à cause des grèves de fin d'année.

Les granulats pourraient progresser de 3-4 % mais resteront inférieurs de 4 % à 2019.

→ Un nouvel éco-organisme ?

L'Unicem déplore d'autres freins à la reprise du secteur. La réglementation

environnementale RE2020 favorise plus le bois que le béton alors que l'Union prône « l'utilisation du bon matériau au bon endroit. »

Par ailleurs, « l'industrie des carrières et matériaux est extrêmement inquiète du manque de visibilité quant à la future filière de responsabilité élargie du producteur (REP) prévue au 1^{er} janvier 2022 », indique l'Unicem.

Pour répondre à l'obligation de la loi Anti-gaspillage et économie circulaire⁽¹⁾, de reprendre sans frais les déchets de construction et de démolition et donc les déchets inertes, il faudra créer un éco-organisme de collecte spécifique financé par une redevance sur les matériaux. ■

⁽¹⁾ Loi n°2020-105 du 10 février 2020.



Le plan de relance doit se traduire en chantiers. Ici, carrière Colas à Vensat (Puy-de-Dôme).

© COLAS GRANULON

CRÉER UN CŒUR DE VILLE

« Offrir un ensemble urbain intégré et agréable à vivre, renforcer la structure paysagère, organiser un cœur de quartier » : c'est la mission de la maîtrise d'œuvre urbaine choisie en novembre par l'Établissement public d'aménagement du Mantois Seine-Aval, pour la Zac des Hauts de Rangipport à Gargenville (Yvelines), en bord de Seine, à 45 km à l'ouest de Paris. L'équipe composée d'Espace libre, Urban & Sens, et Setu (VRD) va continuer le développement de ce quartier construit sur la friche de Porcher (11,6 hectares), afin de rééquilibrer le nord et le sud de la commune.



© EPAMSA

Repenser l'urbanisme de ce quartier de Gargenville (Yvelines).

SOUTIEN À L'APPRENTISSAGE

Le Comité de concertation et de coordination de l'apprentissage du bâtiment et des travaux publics met 18 millions d'euros sur la table pour limiter l'impact de la crise sanitaire sur l'apprentissage. Son dispositif comprend des actions de communication sur les métiers du BTP, de formation des formateurs au numérique, une aide financière à l'équipement informatique des élèves, la création de webinaires et des appels à candidatures pour expérimenter l'entrée en apprentissage des jeunes tout au long de l'année.

www.ccca-btp.fr/relance-apprentissage-btp

EGIS DANS LE FERROVIAIRE

Egis a pris une participation majoritaire au capital d'Est Signalisation, entreprise familiale de signalisation ferroviaire, située à Blainville-sur-l'Eau, près de Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Il peut ainsi intervenir de la phase d'avant-projet jusqu'à l'installation et les vérifications.

→ Travaux au Mexique

Par ailleurs, Egis va superviser les travaux d'un tronçon de 250 km du train Tren Maya au Mexique, en groupement avec Triada et Transconsult, deux bureaux d'ingénierie mexicains.

Le Tren Maya relie en 1500 km et 7 tronçons les grands centres touristiques et les communautés rurales de cinq États du sud-est mexicain : Yucatan, Quintana Roo, Campeche, Tabasco et Chiapas (plan national 2019-2024).

Le Tramo 4 de 250 km va d'Izamal (Yucatan) à Cancun (Quintana Roo). Il sera en grande partie installé dans l'emprise de l'autoroute 180D.

RÉSEAU FERRÉ HAUTE PERFORMANCE

Eiffage Energie Systèmes (mandataire) a remporté avec Saferail et Systra la régénération de la signalisation de la ligne TGV Paris-Lyon (500 km, années 1980). Le marché de 52,5 millions d'euros couvre les études, les travaux et les vérifications techniques.

Les études ont débuté en juillet. Les travaux sont prévus de 2021 à 2024 et la mise en service commerciale, en 2025.

Cette modernisation s'inscrit dans le plan "réseau haute performance" de SNCF.

DE PLUS EN PLUS DE CENTRALES SOLAIRES EN CARRIÈRES



À Saint-Maurice-la-Clouère (Vienne), une ancienne fosse d'extraction de calcaire, remise en eau, reçoit une centrale photovoltaïque de 3 MW.

Les anciennes carrières d'extraction offrent de grandes surfaces d'un seul tenant propices à l'implantation de capteurs solaires producteurs d'électricité. Elles sont d'autant plus intéressantes que l'État, à travers la Commission de régulation de l'énergie, a accordé des tarifs préférentiels de rachat de l'électricité, aux projets sur sites dégradés.

Avoir au moins 3 hectares de surface facilite la rentabilité de l'installation. Un hectare peut recevoir, grosso modo, une centrale photovoltaïque de 1 MW qui

produit 1 million de kilowattheures par an, et coûte 1 million d'euros⁽¹⁾.

Des démarches administratives sont nécessaires pour modifier l'usage en fin d'exploitation. La transformation en champ photovoltaïque n'était pas prévue il y a vingt ou trente ans au moment de l'autorisation d'exploiter.

Les projets menés à bien résultent, pour la plupart, de la volonté commune de plusieurs acteurs : carrier exploitant, la commune, l'administration et un opérateur qui se charge de l'installation et

en récolte les fruits (vente de kilowattheures).

→ 7300 modules sur flotteurs

À Saint-Maurice-la-Clouère (650 habitants, Vienne), il n'a fallu "que" trois ans pour passer d'une carrière de calcaire GSM à une production d'électricité, démarrée en septembre dernier. La fosse de 4,5 ha, remise en eau, est recouverte de 7300 modules sur flotteurs amarrés par câbles aux bords. Production attendue : 3330 MWh/an pour 3 MW de puissance. Coût : 3,5 millions d'euros payés par Sergies, filiale de Soregies, une des sociétés du Syndicat Energies Vienne.

→ L'eau bénéfique

L'idée d'une base de loisirs a été aisément abandonnée. Le plan d'eau est à 7 km du bourg. Le fond descend à une dizaine de mètres et l'eau est à 14°C. Cette température est, au contraire, favorable aux capteurs. Sa proximité tempère leur échauffement l'été, ce qui maintient leur rendement à un bon niveau. ■

⁽¹⁾ Cf. dossier "De l'exploitation de la carrière à la centrale photovoltaïque", Mines & Carrières n°284, octobre 2020.

ENGIE GREEN MULTIPLIE LES PARCS PHOTOVOLTAÏQUES

Des capteurs solaires bifaciaux seront expérimentés en 2021-2022 sur deux parcs photovoltaïques opérés par Engie Green, filiale énergies renouvelables d'Engie.

Les premiers seront installés au nord du site Thémis Solaire Innovation à Targassonne (Pyrénées-Orientales), propriété du département. Ils sont associés à un stockage d'électricité par volant d'inertie (énergie cinétique, Energiestro). La neige, fréquente en moyenne altitude, réfléchira le rayonnement solaire sous le capteur, d'où l'espoir d'une plus grande production d'électricité (puissance : 3,4 MW). Il est prévu que le chantier démarre à l'automne 2021 pour une mise en service en 2022. Coût : 4 millions d'euros. Les seconds verront le jour, à basse altitude, à Lannemezan (Hautes-Pyrénées). La réflexion au sol provient d'un ancien parc à chaux d'Arkema sur lequel la centrale de 5 MW sera montée. Coût : 5,1 millions d'euros. La région Occitanie soutient le dévelop-

pement des énergies renouvelables. Engie Green témoigne ainsi de sa volonté de mettre en production 3 à 4 GW d'énergie renouvelable par an⁽¹⁾. En juin, la centrale solaire des Plos près de Carcassonne (Aude) a commencé à produire grâce à 8 MW sur 8 ha d'une décharge de déchets du BTP.

→ 58000 panneaux sur 46 hectares

Début 2021, ce sera le tour de celle de

Marcoussis (Essonne), projet en commun avec le Service public du gaz, de l'électricité et des énergies locales en Île-de-France. Près de 58000 panneaux (20,3 MW) seront posés sur les 46 ha ayant reçu des remblais de la LGV Atlantique. ■

⁽¹⁾ Un seul réacteur nucléaire ou une centrale à charbon ou au gaz navigue à une puissance de l'ordre de 1 GW ou plus.



Près de Carcassonne (Aude), 8 ha d'une ancienne décharge du BTP ont été recouverts de capteurs solaires.

ÉQUERRE D'ARGENT : AMÉNAGEMENT ET BÂTIMENTS REMARQUABLES



© FLORIAN DELON

Le quai de Southampton au Havre (Seine-Maritime) est devenu un espace attractif pour le public.

Les immeubles des frères Perret du Havre (Seine-Maritime), construits après la 2^{de} guerre mondiale, sont bien mis en valeur depuis que le quai de Southampton sur lequel ils donnent a été libéré des activités portuaires et réaménagé.

Cette opération a remporté le prix "espaces publics et paysagers" de l'Équerre d'argent (Le Moniteur), fin novembre, récompensant la ville du Havre, le Grand port maritime, Michel Desvigne Paysagiste (mandataire) et Inessa Hansch Architecte. « Avec quelques lignes et très peu d'éléments, ce projet d'une incroyable puissance a réussi à transformer un lieu de rebut, a déclaré le jury. L'espace public attrape la poésie du vide, la ville, l'océan et la modernité rude de l'architecture des frères Perret. »

Le quai est entré dans sa 2^{de} phase de requalification en octobre et ceci, jusqu'à 2022.

La 1^{re} phase (2017-2019) allait du port de pêche à l'est jusqu'à la chaussée Kennedy, secteur de l'ancienne gare de ferrys et de parkings. La 2^{de} phase continue vers le nord-ouest en direction de la commune de Sainte-Adresse, par le boulevard Clemenceau jusqu'au port de plaisance.

→ Place au sport-loisir

Le principe reste le même : rénover l'espace public jusqu'au pied des immeubles. Des pelouses et des arbres seront plantés. Des aires de sport-loisir (basket, mini-football, baby-foot, agrès) seront accessibles à tous.

Le prix "habitat" Équerre d'argent a été décerné à la résidence étudiante Rosalind Franklin dans le quartier de l'École polytechnique à Paris-Saclay (Essonne). L'immeuble de six étages abrite du sta-

tionnement au 1^{er} et au 2^e, et 4 étages avec 192 logements dont 36 en colocations (4 pièces). Il comporte des espaces collectifs. Le rez-de-chaussée, conçu sur une double hauteur, s'ouvre sur un jardin. Les plateaux pourront être réaménagés différemment. Les parkings peuvent devenir appartement ou local tertiaire, et les logements, changer de taille.

La résidence, qui devait être livrée en janvier 2021, a été conçue par les cabinets d'architectes Bruther et Baukunst. La maîtrise d'ouvrage est constituée de 1001 Vies Habitats et de l'EPA Paris-Saclay, avec l'Association pour le logement des jeunes travailleurs.

Le 1^{er} prix Équerre d'argent a été accordé à la Toulouse School of Economics de Toulouse (Haute-Garonne). Maîtrise d'ouvrage : Université Toulouse 1 Capitole. Architectes : Grafton Architects, Vigneu & Zilio Architectes.

→ Halle en métal réhabilitée

Enfin, le prix "lieux d'activités" revient au pôle de cultures numériques de l'Université de Nantes (Loire-Maritime), aménagé dans une ancienne halle industrielle en métal. Architectes-urbanistes : LIN et Xavier Fouquet.

Palmarès complet sur :
www.lemoniteur.fr ■



© BRUTHER/BAUKUNST

Prix "habitat" à la résidence Rosalind Franklin : les deux étages de parking peuvent se transformer en locaux.

TOUR DE BUREAUX DÉMOLIE

La tour Pentagone Plaza à Clamart (Hauts-de-Seine) a été démolie par la méthode du "tir lent". Des charges explosent sur plusieurs secondes, ce qui réduit les nuisances et prépare mieux la valorisation des matériaux sur site, selon Eiffage Démolition, Avenir Déconstruction et l'artificier Idea qui ont procédé à cette destruction en août. Cette tour de bureaux de 55 m libère une emprise sur laquelle vont être construits 300 logements, des commerces et des activités d'ici 2024. Le quartier, en perte de vitesse, est revalorisé par le tramway (ligne 6) et le réaménagement d'une route départementale. Eiffage Aménagement orchestre cette transformation.



© EIFFAGE

La tour a été démolie par des explosions successives.

PARKINGS RÉVERSIBLES

Un bâtiment, combinant parkings et restauration d'entreprise sur une parcelle de 4 550 m² dans le quartier Satory de Versailles (Yvelines), devra être en partie réversible. Par exemple, les places de stationnement du rez-de-chaussée seront sous la même hauteur de plafond qu'un restaurant collectif et des locaux commerciaux, de façon à être remplacés si besoin par ateliers ou commerces.

Le 4^e étage devra supporter une surélévation de 1 000 m². La maîtrise d'œuvre sera choisie par l'EPA Paris-Saclay en août. Livraison à la mi-2024.

NOUVEAU PONT SUR LA NECKAR

Le Neckartal Bridge a été reconstruit à proximité de celui de 1965-1968 de 130 m. Il franchit la rivière Neckar sur la route européenne E50, dans le secteur d'Heilbronn au nord de Stuttgart (Bade Wurtemberg, Allemagne), tronçon qui fait l'objet d'une rénovation et d'une mise aux normes. L'E50 est une succession de routes rapides qui traversent l'Europe d'est en ouest, depuis Brest jusqu'au Daghestan, au bord de la Mer caspienne.

L'ouvrage comprend des fondations de piles qui descendent à 11,5 m en moyenne avec un diamètre de 1,5 m. Une foreuse LB 45 (Liebherr) a été utilisée pour en installer 106 dont plusieurs sur une île à 100 m de la rive.

Hochtief Infrastructure a réalisé ces forages en six mois en 2020 au rythme de 2 piles et demi par jour. Le nouveau pont doit être mis en service à la mi-2022.



© LIEBHERR

Le pont reconstruit a nécessité 106 fondations de piles.



© SHOOTIN

Huit tirants évitent l'écartement de la nef de Notre-Dame-de-Lorette, restauration par Degaine qui a remporté un Geste d'argent.

LE GESTE D'OR DISTINGUE 50 OPÉRATIONS

Eau de Paris a remporté le "grand prix Entreprise publique" du Geste d'or 2020 pour avoir construit un modèle d'entreprise original. Le concours distingue les interventions sur le patrimoine bâti, avec pour thèmes cette année, les toits et l'eau. Une cinquantaine de prix ont été attribués à cette occasion, dans toute la France, le 29 octobre⁽¹⁾.

Sur dix chantiers sur dix ans d'Eau de Paris, l'attention du jury a été retenue par trois projets dont la rénovation de la passerelle de l'Avre (Hauts-de-Seine) pour « une intervention ultra-technique et respectueuse du patrimoine. »

La passerelle piétonne de 1893 (Eiffel) entre le Bois de Boulogne (Paris) et Saint-Cloud a fait l'objet de travaux en 2017-2018 pour deux raisons. Elle franchit désormais la RD7 élargie et la conduite d'eau potable sous pression qu'elle porte en sous-face du tablier a été changée pour un diamètre de 1200 mm contre 1500 auparavant.

Le Geste d'or "ingénierie" est revenu à la rénovation de la chenille du Centre Pompidou (Paris). Maîtrise d'ouvrage : Opérateur du patrimoine et des projets immobiliers de la culture ; maîtrise d'œuvre : agence RPBW avec Bunker Palace, Egis et Elioth ; entreprise : Verre & métal.

→ Ajout de maisons en toiture

La cathédrale d'Alès (Gard), qui a fait l'objet d'une magnifique restauration intérieure, a valu un grand prix "patrimoine" au cabinet d'architecture Fabrica Traceorum. Les travaux ont duré deux ans et coûté 4,2 millions d'euros HT.

Plusieurs opérations menées par des filiales de Vinci Construction France à Paris ont été couronnées lors de cette édition.



© ALEXIS PAOLI

La rénovation de la passerelle de l'Avre est un des chantiers d'Eau de Paris qui a retenu l'attention du jury du Geste d'or.

GTM Bâtiment a gagné un Geste d'or "surélévation, étanchéité, chantiers", pour l'ajout de maisons en toiture de la résidence Beauregard à Poissy (Yvelines), accompagné de la rénovation des 180 appartements.

→ Tirants patinés

Degaine a remporté deux Geste d'argent, un pour la rénovation de la fontaine Médicis du jardin du Luxembourg (Paris 6^e) et le second pour la consolidation de l'église Notre-Dame-de-Lorette (Paris 9^e) dont les travaux se sont terminés en août.

Notre-Dame-de-Lorette (1823-1836) a souffert lors du percement de la ligne de métro n°12 puis des vibrations au passage des rames. « Afin de préserver le site et d'éviter l'écartement de la nef, Degaine à qui la ville de Paris a confié cette restauration, a installé huit tirants en câbles de 11 m de long, opération

effectuée avec TES Technifor, afin d'encadrer quatre plates-bandes qui comprennent les transepts de la nef, indique un communiqué. Les tirants et les câbles sont patinés pour se fondre dans le décor et les platines sont camouflées par un bouchon de pierre similaire. »

→ Lieux de vie évolutifs

Deux autres projets du groupe Vinci ont reçu un Care d'or, nouveau prix du concours qui récompense des lieux de vie évoluant au grès des besoins des occupants : la Maison des avocats (Paris 17^e) par Petit et la réhabilitation de la Caserne de Minimes (Paris 3^e) par GTM Bâtiment.

Palmarès complet sur :
www.in-interiors.fr,
fonction recherche. ■

⁽¹⁾ Par l'association Le geste d'or, www.legestedor.com.

ÎLE-DE-FRANCE : TRAMWAY N°10 EN BONNE VOIE



© WILLIAM BEAUCARDET

La mise en service du T10 est planifiée en 2023.

Le feu vert a été donné cet automne aux études de faisabilité du prolongement nord du tramway T10 jusqu'à la future gare Port-d'Issy/Vanves/Clamart du Grand Paris Express, soit environ 1 km de plus.

Pour le moment, cette ligne de 8,2 km entre Antony et Clamart (Jardin parisien), dans la proche banlieue sud-ouest de Paris, est encore en travaux. Les premières poses de rail ont commencé fin novembre à Châtenay-Malabry un an après le début des travaux préparatoires.

Seuls les rails de la voie restent visibles au milieu du béton. Les abords sont plantés de pelouse et d'une allée d'arbres. À noter que l'atelier-garage sera chauffé par géothermie.

Le tram T10 dessert d'est en ouest, par 14 stations, quatre communes - Antony, Châtenay-Malabry, Le Plessis-Robinson et Clamart - soit 175.000 habitants et 65.000 salariés.

→ **351 millions d'euros**

La mise en service est programmée pour 2023.

Coût de l'infrastructure : 351 millions d'euros HT réglés à 49% par la région Île-de-France, à 30% par le département des Hauts-de-Seine et 21% par l'État. Maîtrise d'ouvrage : conseil départemental des Hauts-de-Seine et Île-de-France Mobilités (ex-Stif).

Le matériel roulant se monte à 35 millions d'euros HT à la charge d'Île-de-France Mobilités.

Plus sur :
tram-t10.iledefrance-mobilites.fr ■

ROBOT PORTEUR DE CHARGES

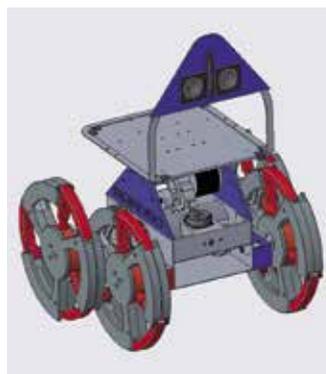
La branche infrastructures d'Eiffage a signé un partenariat avec Borobo pour concevoir un robot porteur en octobre. Cette aide au déplacement d'objets lourds a pour objectif de prévenir le mal de dos et les troubles musculo-squelettiques.

Le robot pourra porter une charge de moins de 60 kg sur une plateforme aménagée ou sur un sol naturel, et devrait même monter certains escaliers

ou une pente raide. Il pourra être piloté par un joystick, ou suivre l'opérateur dont il repère la silhouette, ou encore évoluer en autonomie avec une précision de 5 cm.

→ **Opérationnel à la mi-2021**

Le développement d'un prototype a commencé en juin dernier. Les premiers essais ont lieu début 2021 pour une version finale opérationnelle à la fin du 1^{er} semestre. ■



© BOROBO

Le prototype final du robot devrait voir le jour au 1^{er} semestre.

INFILTRER ET DÉPOLLUER

Alkern et Tencate Aquavia ont créé Clean 4 O', une gamme de revêtements de voirie drainant et dépolluant les eaux pluviales. Ces revêtements sont destinés à des voies piétonnes ou à trafic de véhicules légers. Ils se composent d'un géosynthétique Geoclean Azure retenant les hydrocarbures et d'une couche supérieure en pavés en béton dont une partie des granulats a été remplacée par des coquilles Saint-Jacques broyées. Quand il fait chaud, l'eau qui transite à travers ce dispositif poreux rafraîchit le sol par évaporation.



© ALKERN

Des pavés "coquillage" recouvrent le géosynthétique filtrant les hydrocarbures.

TÉLESCOPIQUE ÉLECTRIQUE

JCB a sorti un chariot télescopique électrique avec les mêmes performances qu'un modèle diesel. Le 525-60E est doté d'un moteur de 17 KW pour l'entraînement et un de 22 KW pour l'hydraulique. Il a une autonomie d'une journée.

Sa batterie lithium-ion se recharge en huit heures par le chargeur embarqué.

Il dispose d'un freinage à récupération d'énergie. De plus, « le système hydraulique régénère le débit tout en abaissant la flèche, ce qui réduit la puissance requise et prolonge les heures de fonctionnement, » assure le constructeur.



© JCB

Le chariot a une autonomie d'un jour.

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

Les lecteurs sont invités à vérifier par internet que les événements annoncés dans cette rubrique ont bien lieu et dans quelles conditions (à distance ou en présentiel).

• 11 MARS

Transport sédimentaire : rivières et barrages réservoirs

Lieu : webinaire
www.barrages-cfbr.eu

• 16 ET 17 MARS

Biennale des territoires

Lieu : Montrouge (Hauts-de-Seine)
www.biennaledesterritoires.fr

• 18 AU 20 MAI

Semaine de l'innovation transport et logistique

Lieu : Paris (Porte de Versailles)
www.sitl.eu

• 8 JUIN

7^e assises nationales des énergies marines renouvelables

Lieu : Saint-Nazaire (Loire-Atlantique)
<https://ser-evenements.com>

• 8 ET 9 JUIN

Journées génie civil

Lieu : Cachan (Val-de-Marne)
www.afgc.asso.fr

• 9 ET 10 JUIN

Solscope

Lieu : Lyon Eurexpo
www.solscope.fr

• 14 AU 16 JUIN

48^e congrès Atec ITS France (mobilité intelligente)

Lieu : Montrouge (Hauts-de-Seine)
<https://congres.atec-its-france.com>

• 16 AU 18 JUIN

14^e conférence internationale structures en métal

Lieu : par internet
<http://icms2021.put.poznan.pl>

• 26 AU 30 JUILLET

World Renewable Energy Congress

Lieu : Lisbonne (Portugal)
<https://wrec2020.tecnico.ulisboa.pt>

• 15 AU 18 SEPTEMBRE

Geofluid

Lieu : Piacenza (sud de Milan, Italie)
www.geofluid.it/app/index.jsp

• 19 AU 22 SEPTEMBRE

Eurogeo 7, conférence européenne géosynthétiques

Lieu : Varsovie (Pologne)
<https://eurogeo7.org>

• 12 AU 19 NOVEMBRE

27^e congrès, Commission internationale des grands barrages et réunion du Comité français des barrages et retenues

Lieu : Marseille
<https://cigb-icold2021.fr/fr>

• 23 AU 25 NOVEMBRE

Wind Europe : Electric City

Lieu : Copenhague (Pays-Bas)
<https://windeurope.org/ElectricCity2021>

FORMATIONS

Plateforme de formation aux travaux publics

La Fédération nationale des travaux publics a conçu une plateforme de formation et de découverte des travaux publics. Selon la vidéo de présentation, elle propose des centaines de contenus pédagogiques en direction des élèves, apprentis, enseignants, formateurs, salariés et chefs d'entreprise.

Les modules sont disponibles gratuitement après avoir créé son compte sur :

www.tpdemain.com.

• 10 AU 12 MARS

Les 6 outils clés du chef de projet

Lieu : Paris ou à distance
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 17 AU 18 MARS

Procédures et études en conduite de projet infrastructures de transport

Lieu : Paris ou à distance
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 22 ET 23 MARS

Gérer les déchets de chantier

Lieu : Paris ou à distance
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 22 AU 24 MARS

Reconnaissance des sols : essais in situ

Lieu : Paris ou à distance
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 24 AU 26 MARS

Fondamentaux du management d'équipes dans le BTP

Lieu : Paris ou à distance
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 29 AU 31 MARS

Fondamentaux de la technique ferroviaire

Lieu : Paris ou à distance
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 6 ET 7 AVRIL

Appels d'offres ferroviaires

Lieu : Paris ou à distance
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 6 AU 8 AVRIL

Traitement des risques liés aux cavités souterraines

Lieu : Paris ou à distance
<https://formation-continue.enpc.fr>

• 8 AVRIL

L'essentiel des aspects juridiques du Bim

Lieu : à distance
<https://formation-continue.enpc.fr>

NOMINATIONS

AGENCE DE L'EAU

ARTOIS-PICARDIE :

Isabelle Matykowski a été nommée directrice adjointe de l'Agence de l'eau Artois-Picardie en mai. Elle remplace Marcus Agbekodo après quelques mois où le poste est resté vacant.

IDRRIM :

Le comité Réseaux et territoires de l'Institut des routes, des rues et des infrastructures pour la mobilité est désormais présidé par Véronique Cerezo à la suite de Marie-Line Gallenne.

La présidence du comité Qualification-comparaison inter laboratoires est passée d'Éric le Guern à Éric Ollinger.

SNPB :

Jean-François Tinard préside le collège Provence-Alpes-Côte d'Azur du Syndicat national du pompage du béton, à la suite de Pascal Juyaux.

SOCIÉTÉ DU CANAL DE PROVENCE :

Jean-Luc Ivaldi est nommé à la direction générale de la Société du canal de Provence après le départ en retraite de Bruno Vergobbi.

UNICEM :

Alain Boisselon a été élu président de l'Union nationale des industries des carrières et des matériaux de construction. Il succède à Nicolas Vuillier.

VNF :

Marie-Céline Masson remplace Isabelle Matykowski à la direction territoriale Nord/Pas-de-Calais de Voies navigables de France.

La CNETP regroupe près de **8 300 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues au près de **270 000 salariés**.



NOS MISSIONS

- La gestion des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- la mise en œuvre du régime de chômage intempéries auprès des entrepreneurs de Travaux Publics

CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

NOUS CONTACTER

📍 31 rue le Peletier 75453 PARIS CEDEX 09

☎ Entreprises : 01.70.38.07.70

☎ Salariés : 01.70.38.09.00

sur Internet : www.cnetp.fr

sur l'appli mobile : **CNETP Salarié**






Membre du Réseau Congés Intempéries BTP

CONCEVOIR ET ENTRETENIR LES MERLONS PARE-BLOCS

Les recommandations pour les merlons pare-blocs ont été rédigées par un groupe de quinze personnes engagées dans le projet national Chutes de blocs, risques rocheux, ouvrages de protection (C2rop, 2015-2020).

Ce document de 50 pages téléchargeable deviendra un guide après approfondissement de quelques points lors de C2rop2 qui doit débiter en 2021.

Ce 1^{er} document propose notamment une méthode de dimensionnement adap-

table aux situations rencontrées. La conception d'un dispositif de protection aux chutes de blocs par merlon commence par l'expression du besoin par le maître d'ouvrage. Les auteurs insistent sur la qualité de la simulation de la trajectoire possible des projectiles et l'utilisation de ces données. Les outils disponibles dans ce domaine seront davantage examinés dans le guide final. Les retours d'expérience viendront encore l'enrichir. Les 6 tâches de conception débouchent

sur 7 résultats intermédiaires qui mènent à un 1^{er} dimensionnement, stade où il est possible de remonter à la conception pour mieux l'adapter aux besoins.

Les équipements annexes incluent la gestion des eaux car le merlon pare-blocs peut faire obstacle à leur écoulement. Un merlon étant installé sur une pente, ne pas oublier de veiller à sa stabilité, notamment en phase travaux vis-à-vis du personnel.

www.cerema.fr ■



BIEN ENTRETENIR LES REMBLAIS ROUTIERS

Un entretien efficace et peu coûteux d'un remblai routier suppose de détecter assez tôt les problèmes et de les hiérarchiser.

Les recommandations pour le diagnostic et le suivi des remblais routiers publiées

par le Cerema aideront le gestionnaire à s'en tirer au mieux. Elles abordent les remblais contigus aux ouvrages d'art et en section courante.

Les remblais évoluent naturellement et parfois, suite à des malfaçons initiales.

Le guide de 76 pages, téléchargeable, reprend les connaissances de base avant de décrire les désordres, comment les prévenir, et de donner les principes de leur réparation.

www.cerema.fr ■

EGIS RAIL

MÉTROS, TRAMWAYS, TRAINS : L'INGÉNIERIE COMPLÈTE DU RAIL

Egis Rail est la filiale du groupe Egis, spécialisée dans l'ingénierie des transports guidés : systèmes, automatisme, matériel roulant, sécurité, équipements, génie civil, environnement. Avec plus de 12 000 km de ligne ferroviaire et de 1 500 km de métro ou de tramway réalisés en maîtrise d'œuvre ou équivalent, Egis rassemble toutes les compétences du transport ferroviaire. Pierre Tissier, Directeur Général Délégué et responsable de la Direction Technique et Développement d'Egis Rail, retrace les grandes lignes d'une histoire qui remonte à 1968, et les enjeux d'aujourd'hui. **Entretien avec Pierre Tissier, Directeur Général Délégué d'Egis Rail.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



Quelles sont les origines d'Egis Rail ?

Egis Rail a été créée il y a plus de cinquante ans, en 1968, par les élus de Lyon sous le nom de Semaly (Société d'économie mixte de l'agglomération Lyonnaise) pour la création du métro de la ville de Lyon.

Après la mise en service des deux premières lignes du métro de Lyon en 1978, inaugurées par le président de la République, un nouveau mode de transport urbain est revenu sur le devant de la scène au début des années 80 : le tramway. La Semaly a donc décidé de se diversifier dans cette nouvelle activité et a participé activement au renouveau du tramway en France.

Elle a alors réalisé dans les années 80 à 90 plusieurs tramways emblématiques,

dont Strasbourg - le premier en date à plancher bas intégral -, puis beaucoup d'autres dans la foulée, parallèlement à la poursuite du développement du métro de Lyon.

En 1992, après avoir mis en service la Ligne D de Lyon, le premier métro entièrement automatique à grand gabarit, la Semaly est devenue une société privée tout en gardant son nom afin de conserver sa notoriété. En 1996, elle a repris la Société du Métro de Marseille (SMM) qui s'était développée en parallèle pour la construction du métro de la cité phocéenne.

Une autre grande étape a été franchie en 1997 à la suite de la création par la SNCF de RFF (Réseau Ferré de France) pour gérer et développer les infrastructures du réseau ferré et distinguer cette activité de l'exploitation commerciale

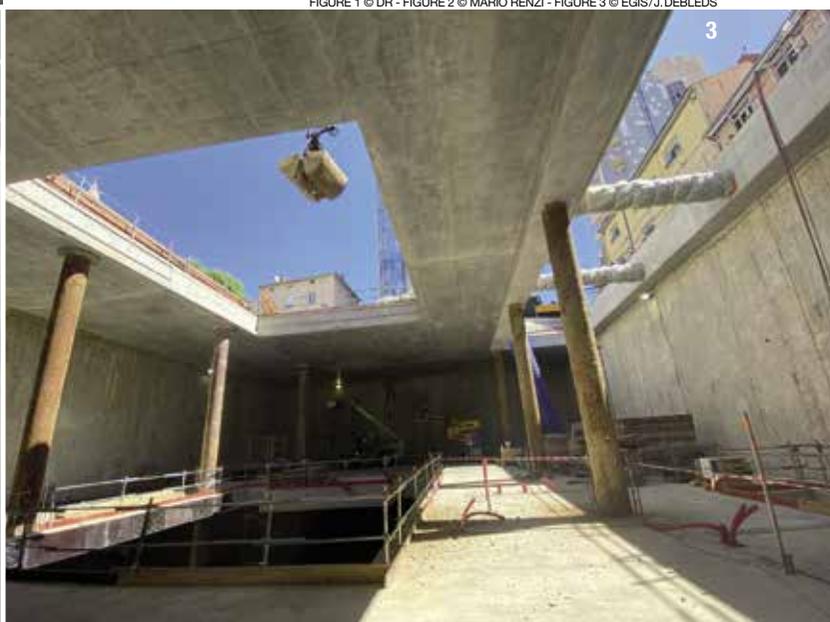
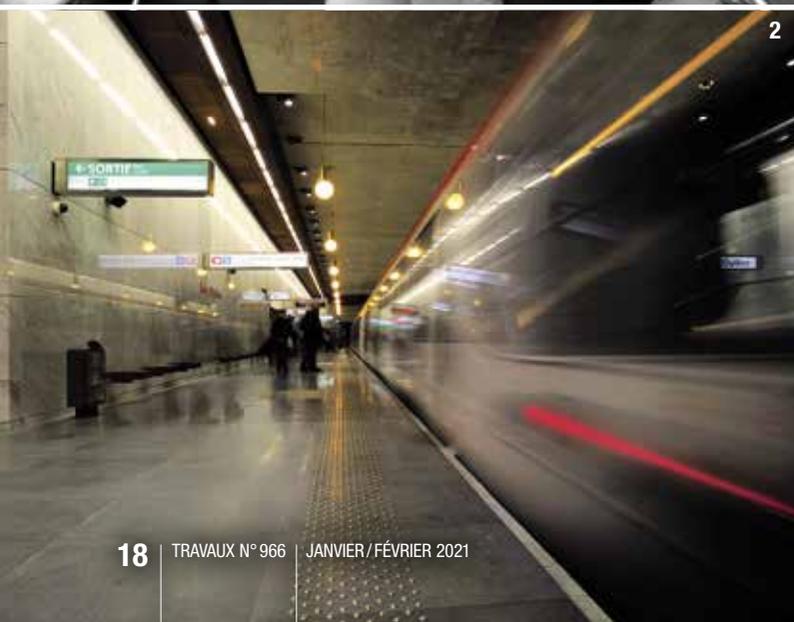


FIGURE 1 © DR - FIGURE 2 © MARIO RENZI - FIGURE 3 © EGIS/J. DEBLEDS

de la SNCF ; cette création a marqué l'ouverture du marché aux ingénieristes privés, marché jusqu'alors en situation monopolistique pour la SNCF et ses filiales.

En 2004, un groupement d'intérêt économique (GIE) fut constitué entre le département ferroviaire de Scetauroute, leader de l'ingénierie autoroutière en France et en Europe et la Semaly, toutes deux filiales du groupe Egis, pour développer de concert ce nouveau marché qui s'ouvrait et offrait des perspectives fortes avec le développement des LGV en France. L'acte fondateur du GIE - baptisé Egis Rail - a été l'obtention d'un lot de maîtrise d'œuvre complète - Génie Civil et équipements ferroviaires - d'une ligne de 60 km sur la branche Est de la LGV Rhin-Rhône.

Comment la société est-elle passée de la Semaly à Egis Rail ?

Le 1^{er} juin 2007, le département ferroviaire de Scetauroute et la Semaly ont fusionné officiellement sous le nom d'Egis Rail. Depuis 2007, Egis Rail s'est substitué à Semaly et elle est donc la filiale spécialisée dans l'ingénierie des transports urbains et ferroviaires.

Afin de poursuivre avec l'histoire, en 2009, Egis Rail a acquis Sintra, une entreprise spécialisée dans la signalisation ferroviaire et en 2011, a acheté la société Vega au Brésil qui est devenue Egis Brésil. Enfin, en 2020, Egis Rail a pris une participation majoritaire au capital d'Est Signalisation, une entreprise de travaux en signalisation ferroviaire.

Parallèlement à cette dernière acquisition, la société s'est tout récemment réorganisée pour mieux mener de front l'ensemble de ses nouveaux challenges et répondre aux ambitions du groupe Egis.

PIERRE TISSIER : PARCOURS

Ingénieur de l'École Centrale de Paris (1990), option Génie Civil, Pierre Tissier commence sa carrière en 1991 chez Lyonnaise des Eaux – Dumez (Dumez devenu Vinci), comme ingénieur d'études et de méthodes de construction.

Il rejoint la Semaly en 1996, tout d'abord OPC du métro Ligne D à gare de Vaise jusqu'à la mise en service en 1997, puis responsable OPC et travaux des deux premières lignes du tramway de Lyon jusqu'à la mise en service fin 2000.

Il dirige les maîtrises d'œuvre des extensions du tramway de Lyon, de 2001 à 2003, ainsi que celles des deux premières lignes du tramway de Marseille, de 2004 à 2006, puis celle du prolongement du métro de Lyon à Gare d'Oullins, comprenant la sous-fluviale au confluent Rhône-Saône, de 2006 à 2008.

En 2007, Pierre Tissier devient vice-président exécutif Transports Urbains de Egis Rail (ex Semaly) pour les régions de France, le Moyen Orient et l'Afrique du Nord et puis, en 2011, pour la France, l'Asie et l'Amérique du Sud.

De 2015 à 2020, devenu Directeur Général Adjoint, puis Délégué, il dirige les offres et projets d'Egis Rail.

Fin 2020, il prend le pilotage de la nouvelle Direction Technique et Développement d'Egis Rail.

1- Pierre Tissier, directeur général délégué et responsable de la direction technique et développement d'Egis Rail.

2- La station "Oullins" du métro de Lyon.

3- À Lyon, chantier de la station "Oullins-Centre" du métro, l'une des plus profondes du réseau TCL.

4- L'une des stations souterraines du tramway de Nice.

5- Le tramway de Casablanca.

Egis Rail est désormais composé d'un pôle Signalisation ferroviaire qui regroupe Sintra et Est Signalisation, d'un pôle France en charge de l'ingénierie en France, d'un pôle International qui pilote l'ingénierie à l'export et d'une Direction Technique et Développement, chargée de promouvoir l'excellence technique et l'innovation. Comment se situe l'activité de la direction technique au sein du domaine Rail ?

La Direction Technique et Développement (DTD) est chargée de concevoir les projets "ferroviaires" des clients, qu'il s'agisse de métro, de tramway, de ligne ferroviaire ou encore de transport par câble, au stade de la première

réflexion, dès le premier coup de crayon sur une carte, afin d'en déterminer le mode, le bon positionnement, le dimensionnement, les grandes caractéristiques, etc. Elle appuie ensuite les pôles France et International pour en développer la conception détaillée et le pilotage de la réalisation, grâce d'une part à son expertise technique et ses départements ensemblier/méthodes, et d'autre part avec l'appui de ses métiers dits de spécialités techniques : matériel roulant, automatismes et courants faibles/courants forts et system assurance. Nous intervenons également dans le domaine de la sécurité ferroviaire (missions ISA, etc.) avec AuditSafe, filiale d'Egis.

La DTD porte ainsi l'innovation et l'excellence technique du domaine Rail. L'autre axe d'activité de la DTD est la réalisation d'ouvrages clés en main, que ce soit en réalisation complète en propre d'un ouvrage, comme par exemple une station supplémentaire pour le tramway de Reims en 2019, ou encore en partenariat de complémentarité avec un industriel et/ou d'un constructeur, en faisant appel aux compétences qu'Egis possède en propre ou est capable de mobiliser. C'est le cas du téléphérique urbain T1 de Grenoble, construit par Poma, industriel bien connu des transports par câble, et dont non seulement l'ensemble de la conception, mais aussi les courants faibles et forts, ainsi que les VRD, ont été confiés à Egis.

Réalisée en conception-construction, longue de 3,7 km et comprenant 5 stations, cette future Ligne T1 reliera par les airs le versant Ouest de l'agglomération, de Fontaine à Saint-Martin-le-Vinoux, en connectant les lignes de tramway E, B et A et en passant par la Presqu'île Scientifique tout en franchissant l'Isère, les voies ferrées et l'autoroute. ▶

© DIDIER QUILLON/MÉTROPOLE NICE CÔTE D'AZUR



© EGIS/V. GASCON





© ANTHRACITE ARCHITECTURE 6

Quelles ont été les grandes étapes du développement d'Egis Rail dans les métros et les tramways en France ?

Comme évoqué précédemment, les années 70-80 ont été marquées pour Egis Rail essentiellement par la création de lignes de métro dans les grandes villes françaises : Lyon, Marseille, Toulouse, dont Egis a réalisé la conception et piloté la réalisation, en maîtrise d'œuvre, voire maîtrise d'ouvrage déléguée.

Les années 80-90 ont vu Egis Rail initier le renouvellement des tramways en France : Nantes, Strasbourg, Grenoble, Montpellier et Lyon pour citer les principales maîtrises d'œuvre. Et lors des années 2000-2010, Egis a réalisé les tramways de deuxième génération, notamment Marseille, Brest, Dijon, Orléans et Besançon...

Simultanément, à la fin des années 2000, le métro est revenu progressivement sur le devant, avec le prolongement de lignes existantes à Lyon, Marseille et la création de lignes nouvelles emblématiques, comme le métro à Rennes et le tramway/métro de Nice, j'y reviendrais.

Peuvent ainsi être mentionnés Marseille, avec le prolongement de la Ligne 2 du métro avec quatre stations, mis en service en 2011, ainsi que Lyon, avec l'extension de la Ligne B du métro

en 2013. Cette extension présentait la particularité d'une traversée sous-fluviale sur 300 m de large, à l'embouchure de la Saône et du Rhône, qui a été réalisée dans le délai record d'un mois, alors que la traversée de la Saône seule par la Ligne D, en 1984 avait nécessité plus d'un an. Egis a également mis en service en 2013 la partie souterraine du tramway sur pneus de Vélizy-Viroflay (Ligne T6), avec deux stations en souterrain dans le centre de Vélizy.

Le Grand Paris Express est alors apparu. Quelles sont les lignes de ce projet sur lesquelles intervient Egis Rail ?

Sur ce projet majeur, sur lequel Egis avait réalisé dès 2010-2011 des premières études préliminaires, nous pilotons les maîtrises d'œuvre des systèmes (depuis 2013, en partenariat avec Setec) et de l'infrastructure (depuis 2014, en partenariat avec Tractebel) de la Ligne 16. Cette nouvelle ligne de métro, qui s'étend sur 25 km de Noisy-Champs à Saint-Denis-Pleyel au nord-est de Paris, comprendra neuf stations de métro, dont trois sont considérées comme emblématiques telles celles de Saint-Denis-Pleyel et du Bourget-RER. Les travaux de cette ligne ont débuté en 2018 pour une mise en service en 2024.

Saint-Denis-Pleyel sera la plus grande gare du Grand Paris Express. Quatre nouvelles lignes de métro s'y croiseront d'ici 2030. Un nouveau Châtelet-Les-Halles avec ses avantages, mais pas forcément ses inconvénients. Saint-Denis-Pleyel, conçue par l'architecte japonais Kengo Kuma, sera en effet un lieu surprenant, fait de bois, de lumière et de verdure, bien loin des gares froides et souterraines actuelles. Avec, notamment, un puits de lumière central qui éclairera les 250 000 voyageurs quotidiens jusqu'au niveau -3 de cette gare enfouie à 27 m de profondeur. La gare Bourget-RER, conçue par l'architecte Elizabeth de Portzamparc sera desservie par les Lignes 16 et 17, en correspondance avec le Tram Express Nord (Tangentielle Nord) et la gare routière.

À l'intérieur de la gare, un cône évoque la légèreté d'une montgolfière. Il accompagne le voyageur dans sa descente vers les quais.

Egis est également maître d'œuvre des "systèmes" - comprenant les courants forts, courants faibles, façades de quais, ventilation du tunnel et voies ferrées - de l'ensemble des Lignes 15 Sud, 16 et 17, et maître d'œuvre du Système de la Ligne 18 Aéroport-d'Orly - Versailles-Chantiers, 35 km et 10 gares - comprenant également le matériel roulant, la conduite automatique des trains

et les postes de contrôle-commande centralisés.

Enfin, Egis est mandataire, depuis le printemps 2020, des OPC générales des Lignes 15 Sud et 16/17.

Un commentaire sur le métro de Rennes et le tramway de Nice ?

Pour la Ligne b du métro de Rennes, la Semtcar (Société d'Économie Mixte des Transports Collectifs de l'Agglomération Rennaise) a confié au groupement conduit par Egis la maîtrise d'œuvre du génie civil et des équipements non liés au système de transport sur la totalité de la Ligne b : 13 km dont 8,6 km en tunnel profond, 2,4 km en tranchée couverte et 2,4 km en viaduc avec 15 stations, 3 aériennes et 12 enterrées, dont deux très importantes stations de correspondances, "Gares" et "Sainte-Anne". La station Gares, maillon essentiel de l'intermodalité des transports et de la rénovation urbaine engagée par la Ville et l'agglomération, s'insère dans un projet de réaménagement de la place de la Gare et du bâtiment voyageurs de la SNCF.

Notre valeur ajoutée sur la conception des gares, tant à Paris qu'à Rennes a consisté à reprendre au stade de l'avant-projet l'esquisse architecturale afin de l'adapter au mieux aux différentes contraintes et exigences tant de l'implantation que de la fonctionnalité.



© AVANT PREMIÈRE 7



© MICHAEL NEBRES 8

C'est le même enjeu pour la Ligne 2 du tram/méto de Nice (8 km en surface et 3,2 km en souterrain), qui comprend notamment quatre stations souterraines dont deux en correspondance avec la Ligne 1, et la station du terminus Port-Lympia, sur le port historique de Nice dont il convenait d'assurer la mise en valeur du patrimoine qu'il représente et de son environnement. Ces deux lignes de tramway proposent en outre l'innovation majeure d'un matériel roulant sans ligne aérienne de contact en surface, alimenté uniquement lors des arrêts en stations. Elles ont été inaugurées progressivement entre 2018 et fin 2019.

Et à l'international, toujours dans le domaine des métros ?

Egis est fortement présent au Moyen Orient sur les chantiers du métro de Riyad en Arabie Saoudite et de Doha au Qatar. Ces projets mettent en avant notre capacité à nous inscrire dans un partenariat international pour piloter la construction de tels réseaux de métro. L'un de nos chantiers les plus importants, toujours en cours, est celui du métro de Riyad. Depuis plusieurs années, la ville de Riyad a impulsé le développement d'un réseau de transports en commun afin de résorber les embouteillages. Ce projet est de très grande envergure par sa taille et ses délais de réalisation extrêmement serrés. Le futur réseau est construit en 7 ans et se compose de 6 lignes automatisées, totalisant 92 stations et 177 km dont 60 km réalisés en souterrain, 81 km en viaduc et 36 km au sol. Egis a effectué les premières études de faisabilité dès 2004, puis des études d'avant-projet en 2009 avec son partenaire Dar Al Handasah. En 2012, Egis a élaboré le cahier des charges

EGIS RAIL : CHIFFRES-CLÉS

En 2019, Egis Rail a réalisé un chiffre d'affaires de 220 millions d'euros, soit un quadruplement en une douzaine d'années, et le domaine Rail * 260 millions d'euros. Le domaine Rail compte plus de 2000 salariés répartis dans le monde, appartenant à l'ensemble d'Egis et de ses filiales ou de ses divisions travaillant dans le domaine ferroviaire, Egis Rail ayant en propre 1250 personnes dont environ 750 en France et 500 à l'international.

* Pour les compétences servant d'autres domaines et dont Egis Rail ne dispose pas directement, telles que par exemple, la géotechnique, elles sont fournies par la filiale idoïne, "Grands Ouvrages, Eau, Environnement et Energie" en l'occurrence.

pour la consultation des consortiums de conception-construction et a ensuite assisté le maître d'ouvrage dans ses choix.

En 2013, Egis a remporté (en groupement avec Parsons, mandataire, et Systra) le marché de Project Management Construction Management (PMCM) de la construction des Lignes 1, 2 et 3 du

métro de Riyad, soit 108 km et 55 stations. Le contrat nécessite la mobilisation de près de 1 000 personnes sur Riyad durant les travaux. Notre groupement est chargé de la validation des études, du pilotage et de la coordination des travaux, de la réception des ouvrages et de la validation des essais avant mise en service.

À Doha, le projet a été découpé en deux phases de réalisation réparties jusqu'en 2030. Au final, les lignes s'étendront sur près de 230 km (soit l'équivalent d'un trajet Paris-Lille !). La première phase de 80 km de lignes et 37 stations a permis de mettre en service les trois lignes automatiques : la Red Line en mai 2019, la Gold line en novembre 2019 et la Green line en décembre 2019. Pour l'histoire, ce projet a obtenu la reconnaissance du "Guinness World Records" pour avoir le plus grand nombre de tunneliers (21) fonctionnant simultanément sur un même projet. En 2012, Egis a remporté (en groupement avec Louis Berger), un contrat de PMCM. Son rôle était d'assister Qatar Rail Company lors des consultations avec les entreprises, de suivre les étapes de conception et de supervi-

ser les travaux sur sites. Les missions d'Egis concernaient la Gold Line ainsi que les sections aériennes et en surface des Red Line (Nord et Sud) et Green Line (Ouest). De plus, les équipes ont assuré une mission d'assistance dans le suivi de réalisation des deux stations principales : Education City et Msheireb, point d'intersection des trois lignes. Sur le continent asiatique, il faut citer le métro de Chennai, en Inde. Pour la première phase inaugurée en juin 2015, 45 km de linéaire et 36 stations, Egis était mandataire du groupement de conception et suivi de réalisation, responsable de la direction de projet et des missions d'ingénierie du système de transport (matériel roulant, voie, énergie, signalisation, télécom, billettique et dépôts ateliers) ainsi que d'une partie du génie civil.

Pour évoquer une dernière référence, au Mexique, Egis participe à la construction de la Ligne 3 du métro de Guadalajara, inaugurée très récemment, comptant 18 stations, s'étendant sur 21 km dont 6 en tunnel, pour relier le centre-ville aux quartiers Nord-Ouest et Sud-Est. Egis est mandatée, dans le cadre d'un groupement avec Transconsult, pour la supervision, le contrôle et la certification des études, des travaux et de la mise en service de l'ensemble des systèmes de la Ligne 3 ainsi que l'ensemble de l'atelier-dépôt, la gestion des interfaces, et encore la mission d'Independent Safety Assessment (ISA) pour la totalité du programme.

Egis Rail est également présent dans le domaine proprement dit des trains. Quelles sont ses grandes références sur ce marché ?

Egis est intervenu sur les infrastructures des lignes nouvelles à grande vitesse, ▷

6- Perspective de la station "Beaulieu-Université" du métro de Rennes.

7- Le métro de Riyad.

8- Portails billettiques de la première section de la "Red Line" du métro de Doha.

9- Train d'essai sur le viaduc Buthiers de la LGV "Rhin-Rhône".

10- TGV "Ouigo" sur la ligne à grande vitesse "Sud Europe Atlantique".

© ÉRIC LAURENT

9



© GÉRARD MEILLEY

10





apportant sa contribution à la grande aventure française du TGV : Est (2002/2016), Rhin-Rhône (2003/2011), Sud Europe Atlantique (2007/2017), Bretagne Pays de Loire (2003/2015), Nîmes-Montpellier (2013/2017).

Pour le TGV Rhin-Rhône, qui traverse les départements de la Haute-Saône et du Doubs, mis en service en décembre 2011, Egis est intervenu, en groupement avec Setec, en tant que maître d'œuvre général du génie civil, de la pose des équipements ferroviaires jusqu'à la réception et la mise en service.

Egis a notamment assuré les phases d'avant-projet et projet, la rédaction des dossiers d'appel d'offres, le dépouillement des offres et la mise au point des marchés, le contrôle des études d'exécution, le contrôle et la surveillance des travaux et les opérations de réception. Pour la LGV Sud Europe Atlantique, au sein du groupement COSEA de conception-réalisation, Egis a réalisé la conception, la réalisation des ouvrages complexes et l'ensemble des procédures administratives. Egis a également porté les dossiers de procédure de la totalité de la ligne (Dossier Loi sur l'Eau, dossier défrichement, dossier ICPE...) et a assuré le dimensionnement des installations fixes de traction électrique ainsi que la conception de la plupart des ouvrages exceptionnels dont l'ouvrage le plus remarquable de cette ligne, le viaduc sur la Dordogne, d'une longueur de plus de 1 300 mètres avec des fondations à plus de 40 mètres de profondeur. Je tiens à signaler que cet ouvrage a bénéficié de l'expertise d'Egis en matière de maquette numérique BIM. La partie étude conception aura duré 4 ans et mobilisé en moyenne plus de 200 collaborateurs d'Egis sur cette période, voire 300 au

pic de l'activité puis une cinquantaine de personnes lors de la phase travaux. Sur la ligne LGV Bretagne Pays de Loire et pour le compte du groupement de conception-réalisation, Egis a réalisé les études d'exécution d'infrastructure ainsi que le pilotage global, le contrôle externe, le contrôle de cohérence et la synthèse des études.

En amont, de 2003 à 2010, Egis est également intervenu dans le cadre de l'avant-projet sommaire de la ligne et de l'étude d'impact sur l'environnement visant à reconnaître le projet comme d'utilité publique.

Enfin, Egis avait également pour mission de piloter sur 8 ans l'Observatoire environnemental de la ligne, de l'évolution de la dynamique des paysages agricoles traversés à la variabilité génétique des amphibiens impactés par le projet !

Pour le contournement, Nîmes-Montpellier, première ligne à grande vitesse en France permettant à la fois la circulation de trains de marchandises et de trains voyageurs, Egis a réalisé la mission de contrôle de conformité technique des études et de la réalisation.

Et dans le domaine des trains grande vitesse à l'international ?

Notre savoir-faire est exporté à travers le monde, notamment au Maroc, avec la maîtrise d'œuvre de la LGV Kenitra-Tanger, ou plus récemment en Europe sur la gare LGV de Riga (projet Rail Baltica).

Fruit d'une collaboration franco-marocaine et aboutissement de 10 années de travail d'Egis avec l'ONCF, maître d'ouvrage de l'opération, la première ligne à grande vitesse d'Afrique, reliant Tanger à Kenitra sur 200 km, a été officiellement inaugurée le 15 novembre 2018.

Quels sont les projets importants en cours en Europe ?

En Grande Bretagne, le groupement dont Egis est le leader a remporté le Design dans le cadre de "Midland Metro Alliance" pour l'extension de plus de 40 km du réseau de tramways des West Midlands à Birmingham. L'ampleur de ce programme de développement urbain et l'engagement sur une durée de 10 ans offrent à l'Alliance, constituée du designer, du constructeur et du maître d'ouvrage, une occasion unique de développer des solutions durables, efficaces et économiques en s'appuyant à la fois sur l'expertise et des relations de long terme entre les principaux intervenants.

En Pologne, Egis réalise, avec son partenaire local MGPP, les conceptions fonctionnelles et détaillées jusqu'à l'obtention des permis de construire, pour un double projet ferroviaire dans le sud du pays. Le groupement est également en charge des questions environnementales, de la préparation des appels d'offres travaux, et du suivi des études de réalisation.

Pour la modernisation de la ligne existante n°104 de 45 km entre Chabowka et Nowy Sącz, il s'agit d'améliorer le tracé et les installations. Les lignes nouvelles n°622 à doubles voies électrifiées entre Podłęże et Tymbark et n°623 entre Szczyrzyc et Mszana Dolna, sur un linéaire de 46 km, permettront la circulation de trains voyageurs à 160 km/h et de trains de fret à 120 km/h.

La phase de conception durera deux ans et demi pour chacune des lignes. La phase travaux, quant à elle, est estimée à 7 ans pour la modernisation de la Ligne 104 et 10 ans pour la construction de la nouvelle Ligne 622/623. Le gain de ce contrat d'envergure est

le fruit d'un travail collaboratif entre les équipes d'Egis basées en France et en Pologne et les missions assurées par des équipes mixtes françaises et polonaises.

En Suisse, Egis a obtenu en 2018 deux contrats (Système et Équipements) pour les Lignes m2 et m3 du métro de Lausanne. Le premier contrat porte sur les systèmes des deux lignes (système global, automatismes et matériel roulant). Il est confié au groupement SyMeo, composé d'Egis (mandataire) et de BG. Le second contrat concerne les "équipements" des deux lignes et revient au groupement BGE m2-m3, comprenant BG (mandataire), Egis et la société Geste.

Enfin, tout récemment, en Serbie, nous avons remporté à l'été 2020 les études du métro de Belgrade : études de faisabilité, d'avant-projet et d'impact environnemental portant sur la phase 1 du projet de métro de Belgrade (17 km). L'année dernière, Egis avait déjà réalisé les études de pré-faisabilité et la conception générale des Lignes 1 (21,3 km et 23 stations) et 2 (19,2 km et 20 stations) et intégrera également quatre lignes de train de banlieue. Une troisième ligne de métro est également planifiée à plus long terme. Ce projet représentera au total 60 km de lignes et 60 stations, la construction du métro de Belgrade devrait débuter d'ici début 2022.

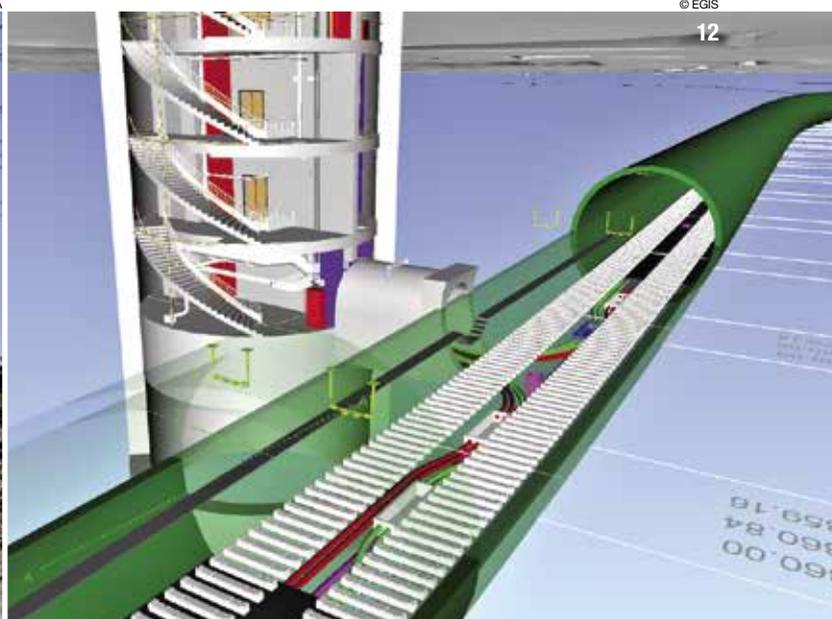
Des projets aussi au-delà de l'Europe ?

L'entreprise s'est forgé une solide réputation dans l'ingénierie des transports urbains et ferroviaires en Asie, notamment en Thaïlande avec plusieurs contrats d'importance ces dernières années sur les lignes de métro de Bangkok (Blue Line, Green line et Orange



© EGIS/SERGIO VIEIRA

11



© EGIS

12

line) ou encore en Indonésie, avec le projet du métro léger de Palembang. En Thaïlande, Egis a signé un contrat de "Project consultant" pour la "Pink Line" du métro de Bangkok, avec son partenaire thaïlandais Team Consult. La "Pink Line", premier projet monorail du pays, a été planifiée dans le cadre du "Mass Rapid Transit Master Plan" (M-MAP), un vaste programme visant à développer le réseau de transport public de la région métropolitaine de Bangkok. D'une longueur de 34,5 km, la future ligne permettra de relier la province Nord-Ouest de Nonthaburi à Bangkok, la capitale.

Quelles sont les "plus" d'Egis dans le domaine des gares ?

La plus-value que nous apportons dans la conception des gares, en collaboration avec les architectes, est d'être capable de marier la technique, avec nos ingénieurs, pour le caractère fonctionnel et le dimensionnement des ouvrages, et l'architecture pour créer des espaces qui soient les plus ouverts et les plus agréables possible.

Aujourd'hui, encore davantage que par le passé, les grandes gares participent au dynamisme des métropoles. Elles représentent un vrai nœud d'échange entre les réseaux ferroviaires urbains et interurbains. L'aménagement des gares est une réponse aux enjeux de mobilité, d'attractivité et de développement durable des territoires.

Les grandes gares sont complexes. Elles font appel à des compétences variées en gestion des flux, des exigences de sûreté et de confort, une gestion intelligente des équipements et des services. Ainsi la qualité des espaces est un enjeu majeur de nos projets de gares, que ce soit pour leur création ou leur modernisation.

EGIS : CHIFFRES-CLÉS

Le chiffre d'affaires géré du Groupe atteint cette année 1,22 Md€ (+7,9%).

Le chiffre d'affaires de l'ingénierie, en croissance par rapport à 2018 (+9,8%), atteint 885 millions d'euros, dont 30% dans le Rail, 28% dans le Bâtiment et 15% dans la Route.

L'international représente 64% de l'activité totale du Groupe.

En ingénierie, 45% de l'activité est réalisée en France.

15800 collaborateurs à travers le monde (30% en France), dont 9250 dans l'ingénierie et 6550 en exploitation. Des effectifs en croissance de 6%.

Depuis les études de faisabilité jusqu'au développement de nouveaux services et équipements, en passant par toutes les phases de la conception et du management de projet, Egis mobilise un large panel de compétences allant de l'ingénierie globale aux ingénieries spécialisées, et propose ainsi une offre complète sur toute la durée de vie des ouvrages :

11- La ligne à grande vitesse Kenitra-Tanger au Maroc.

12- Modélisation BIM d'un tunnel du Grand Paris Express.

13- Modélisation de la couverture de la gare Saint-Denis - Pleyel du Grand Paris Express.

14- La station souterraine Viroflay-Rive-Droite du tramway sur pneus de Vélizy-Viroflay (Ligne T6).

La concertation est une étape clé de nos projets :

il convient d'expliquer comment le projet va restructurer les espaces, les flux et le paysage urbains. Egis utilise systématiquement, avec nos architectes, des maquettes numériques pour faciliter la compréhension du projet par les parties prenantes et les riverains. Les nouvelles technologies nous permettent d'organiser, dès les études préliminaires, des visites virtuelles (avec casques ou en salle) ainsi que des revues techniques en immersion.

La conception d'une gare se traduit par des choix déterminants comme la ventilation naturelle, l'éclairage naturel, le choix des matériaux, la mutualisation des infrastructures pour de nouveaux usages comme la géothermie et l'hébergement de data centers. En tant qu'ingénierie, Egis garantit aux donneurs d'ordre que ces choix sont compatibles avec les contraintes techniques, de coût et de délais de réalisation. La coordination et les interfaces spatiales, contractuelles et techniques de tous ces éléments de programmes sont nettement améliorées par l'utilisation du processus BIM et d'une maquette numérique, qui permet de co-construire virtuellement le projet

et d'identifier au plus tôt et de suivre les sujets à traiter par une production concurrente.

Egis a remporté le BIM d'or en 2017 pour le déploiement du BIM sur la Ligne 16 et a fait partie des finalistes du Grand Prix National de l'Ingénierie en 2018 pour ce même projet.

La gestion de chantier en BIM :

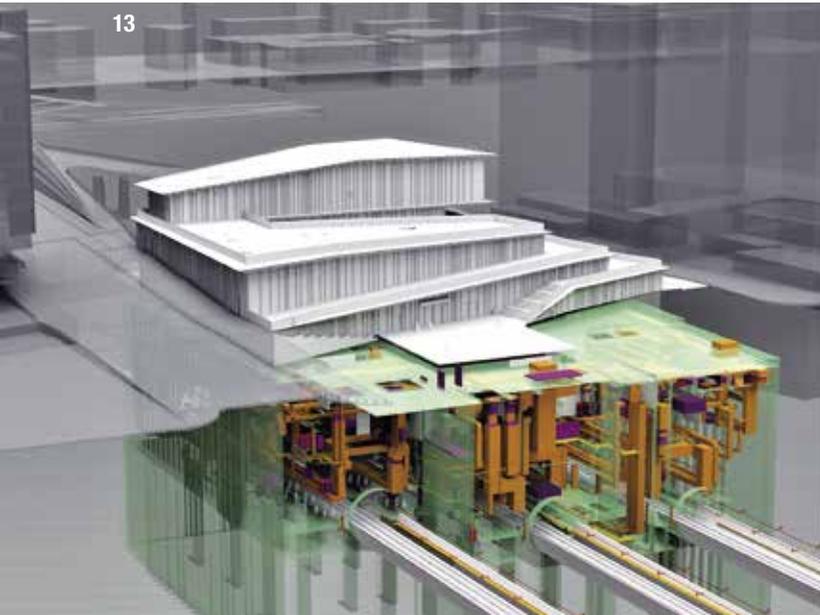
il s'agit de mettre en place une plateforme BIM sur laquelle tous les intervenants visualisent le projet à construire à un niveau de détail d'exécution, afin de régler les derniers sujets d'interfaces entre tous les constructeurs et équipementiers. La maquette numérique devient référence pour tous et permet de suivre les travaux et de les réceptionner, grâce à la réalité augmentée, qui permet de visualiser à l'aide d'une tablette sur le chantier la superposition entre l'image des travaux réalisés et la maquette numérique du projet. Egis le met en place sur l'extension du métro B de Lyon aux Hôpitaux Sud et sur le métro du Grand Paris Express (Ligne 16 et Ligne 18).

Le jumeau numérique, comme base de données centralisée et fiable de tous les actifs pendant la durée de vie des installations afin de préparer les opérations de maintenance sera un enjeu majeur des infrastructures de demain. Egis accompagne les gestionnaires de patrimoine pour la mise en place de jumeau numérique comme plateforme de services et développe progressivement des briques de services autour du jumeau numérique, comme le diagnostic voie ferrée ou la performance énergétique⁽¹⁾. □

1- Egis a ainsi publié un Livre blanc jumeau numérique, qui a peu d'équivalent, en juin 2020 (disponible sur internet) : <https://www.egis.fr/content/livre-blanc-jumeau-numerique-une-plateforme-de-services-durables>.

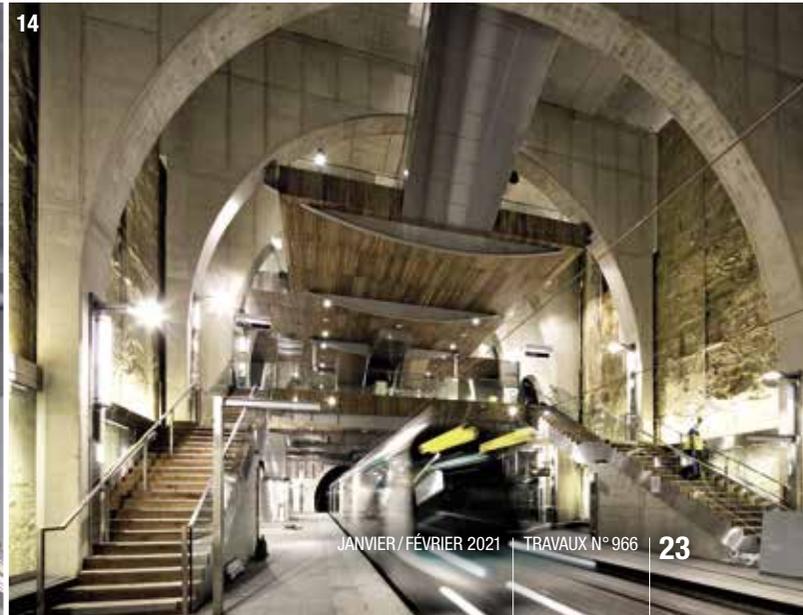
© EGIS

13



© HUGO HEBRARD

14





© EIFFAGE RAIL

EIFFAGE RAIL UNE EXPERTISE GLOBALE DU FERROVIAIRE

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

LONGTEMPS CHASSE GARDÉE DE QUELQUES RARES ENTREPRISES SPÉCIALISÉES, LE SECTEUR DES GRANDS TRAVAUX FERROVIAIRES COMPTE AUJOURD'HUI UN ACTEUR SUPPLÉMENTAIRE DONT LA PRÉSENCE EST SIGNIFICATIVE : EIFFAGE RAIL. APRÈS UNE ENTRÉE REMARQUÉE GRÂCE À DEUX RÉALISATIONS MAJEURES, LES LGV "PERPIGNAN-FIGUERAS" ET "BRETAGNE - PAYS DE LA LOIRE", EIFFAGE A LA VOLONTÉ CLAIREMENT AFFIRMÉE DE DEVENIR UN INTERVENANT INCONTOURNABLE OFFRANT UNE EXPERTISE GLOBALE. POUR Y PARVENIR, EIFFAGE S'EST DONNÉ LES MOYENS HUMAINS ET TECHNIQUES NÉCESSAIRES AFIN DE RÉPONDRE AUX NOMBREUSES ET TRÈS EXIGEANTES RÉGLEMENTATIONS QUE REQUIERT CE SECTEUR, NOTAMMENT EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ. OLIVIER BERTHELOT, DIRECTEUR OPÉRATIONNEL D'EIFFAGE RAIL NOUS RETRACE LES GRANDES LIGNES DE CETTE EXPERTISE DU GROUPE EIFFAGE.

Le groupe Eiffage, au travers de l'ensemble de ses métiers, mobilise toutes ses expertises pour intervenir dans des environnements complexes et relever les défis du fer-

roviaire. Partenaire de référence des opérateurs publics et privés, le groupe joue un rôle prédominant dans les grands projets liés au rail en France et à l'international.

1- Déroulage de caténaires sur le chantier du CDG Express.

SUR L'ENSEMBLE DE LA CHAÎNE DES PROJETS

Acteur majeur du ferroviaire en Europe, Eiffage Rail s'appuie sur une organisation agile et de proximité, sur l'expertise

de ses équipes et sur un parc matériel performant pour répondre aux enjeux les plus complexes et ainsi offrir à ses clients des solutions sur mesure et intégrées sur l'ensemble de la chaîne des projets.

L'entreprise est présente aujourd'hui dans tous les domaines d'activité de la voie ferrée : conception et réalisation de lignes nouvelles (lignes à grande vitesse et lignes classiques), développement de grands projets urbains (tramways et métros), installations terminales embranchées (ITE), renouvellement et maintenance de voies ferrées et d'appareils de voies, mission de sécurité ferroviaire, entretien et maintenance du matériel roulant.

« Nous agrégeons toutes les compétences qui nous permettent de répondre de manière complète aux attentes de nos maîtres d'ouvrage, indique Olivier Berthelot. Le marché national comporte actuellement, et pour les années à venir, une variété importante de chantiers à réaliser tant au niveau des travaux neufs que de ceux relatifs à l'entretien et au renouvellement du patrimoine ferroviaire. Au-delà, le niveau d'exigence particulièrement élevé de SNCF Réseau en termes de sécurité permettra de projeter nos compétences partout dans le monde. »

INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES NEUVES : DES RÉFÉRENCES STRUCTURANTES

Eiffage est progressivement monté en puissance sur le marché national qui connaît depuis le début des années 2000 une forte croissance dans le neuf avec les LGV ainsi que dans la rénovation. L'enjeu était, dans un premier temps, de remporter les appels d'offres pour la construction de plusieurs lignes à grande vitesse en France.

Eiffage a fait le choix d'acquérir des entreprises performantes dans leur périmètre qui ont servi de point de départ à une stratégie ambitieuse de développement. C'est le cas notamment de Wittfeld GmbH, PME de plus de 500 personnes acquise en 2004, basée à Wallenhorst en Allemagne, traditionnellement très active dans les systèmes de transport ferroviaire. L'acquisition en 2009 de Heitkamp Rail, une entreprise de 300 salariés installée elle aussi en Allemagne, à Bochum, a permis de renforcer les capacités d'Eiffage dans la construction ferroviaire par sa connaissance dans la technologie et la construction des voies ferroviaires à grande vitesse. Les références de Heitkamp à l'international permettaient éga-

© MARC MONTAGNON



2

OLIVIER BERTHELOT : PARCOURS

Olivier Berthelot est ingénieur diplômé de l'École Polytechnique (1994), ingénieur en chef du Corps des Ponts, des Eaux et des Forêts (1999), et diplômé du Collège des Ingénieurs (2000). Il a également suivi le cursus de l'Institut des Hautes Études de l'Entreprise (2015).

Il occupe d'abord plusieurs postes dans la fonction publique : Chef du service Aménagement des Grandes Infrastructures de la DDE de Seine-et-Marne, conseiller technique pour le cabinet du garde des Sceaux au ministère de la Justice, puis conseiller technique "aviation civile" pour le cabinet du ministre des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer.

De mai 2007 à septembre 2012, il est Directeur général de GGL Groupe. Puis, il est nommé Directeur général des services de la ville de Versailles et de la communauté d'agglomération de Versailles Grand Parc d'octobre 2012 à février 2019.

Depuis mars 2019, Olivier Berthelot a rejoint Eiffage en tant que Directeur opérationnel d'Eiffage Rail.

2- Olivier Berthelot, directeur opérationnel d'Eiffage Rail.

3- La LGV Perpignan - Figueras, l'un des premiers "grands" chantiers d'Egis Rail.

lement de se projeter au-delà de l'Hexagone, celle-ci étant implantée dans de nombreux pays comme la France, l'Autriche, les Pays-Bas, le Royaume-Uni, la Pologne, Taiwan et la Chine ainsi qu'en Scandinavie et au Moyen-Orient.

« Ces acquisitions ont donné les moyens au groupe Eiffage de remporter les deux marchés très importants que consti-

tuaient la construction des Lignes à Grande Vitesse "Perpignan-Figueras" et "Bretagne - Pays de la Loire" (BPL). » Livrée en 2009, la LGV Perpignan-Figueras est le premier grand succès d'Eiffage en matière de grande infrastructure ferroviaire neuve. En 5 ans, les équipes ont mené les études et les travaux de cette ligne longue de 44,4 kilomètres qui franchit la frontière franco-espagnole grâce au tunnel transpyrénéen de 8,3 kilomètres du Perthus. Le chantier a mobilisé jusqu'à 1 700 personnes en période de pointe. Et les défis techniques ne manquaient pas : stabilisation des terrains au niveau du tunnel pour le passage des tunneliers, mise en place de ponts à poutres latérales permettant de surbaïsser la ligne aux endroits critiques de son tracé, double système de signalisation... La ligne a notamment été la première ligne ferroviaire à grande vitesse sur laquelle ont circulé des trains de fret à 120 km/h.

Plus récente et d'une ampleur qui témoigne de l'expertise acquise en quelques années par le groupe en matière de développement d'infrastructures, la LGV Bretagne - Pays de la Loire a été réalisée exclusivement par des entités d'Eiffage. Inaugurée mi-2017, cette ligne qui s'étend sur 182 kilomètres, permet de relier Rennes à Paris en 1h30. Elle compte 240 ouvrages d'art dont 11 viaducs, 8 jonctions aux lignes existantes et 2 bases de travaux de maintenance. Sa mise en œuvre a mobilisé jusqu'à 4 500 personnes au cours des 5 années de travaux. Ce chantier reste à ce jour le plus grand jamais réalisé par Eiffage.

« Cette réalisation majeure a donné une autre dimension à notre expertise dans le rail à plus d'un titre. Elle est surtout un tournant dans notre approche globale du fait que l'Établissement Public de Sécurité Ferroviaire (EPSF) a habilité Eiffage Rail Express (ERE) en tant que gestionnaire d'infrastructure (GI) pour la LGV BPL. ERE est devenu ainsi le premier gestionnaire privé d'une infrastructure ferroviaire intégrée au réseau ferré national. SNCF Réseau a confié à Eiffage Rail Express l'entretien et le renouvellement de la LGV Bretagne - Pays de la Loire jusqu'en 2036. »

Ainsi, à travers Opéré (l'Opérateur de la ligne Eiffage Rail Express) qui compte une centaine de collaborateurs, Eiffage assure l'entretien et la maintenance de la LGV Bretagne - Pays de Loire dans le cadre du contrat de partenariat signé entre SNCF Réseau et Eiffage Rail Express.



3

© EIFFAGE



4
© EIFFAGE RAIL

Ses enjeux sont de garantir le très haut niveau de sécurité de la LGV, tant pour les circulations ferroviaires que pour le personnel d'entretien, ainsi que la disponibilité des installations pour assurer la régularité de la circulation et le confort de la ligne.

Opéré délivre un haut niveau de service grâce notamment à ses collaborateurs aux métiers très spécifiques en charge de l'entretien des équipements ferroviaires hors voies (alimentation électrique, signalisation...), de la voie, des ouvrages d'art, des bassins et des espaces à l'intérieur des clôtures.

Opéré dispose aussi d'un parc matériel de haute technologie pour mener à bien sa mission intégrant notamment deux trains équipés de nacelles et de plateformes élévatrices.

Ces deux réalisations majeures de lignes à grande vitesse ont contribué à l'octroi d'autres projets d'envergure et cela au-delà des frontières françaises. En témoigne la réalisation en cours du TER de Dakar, lancée fin 2016, qui reliera le centre de Dakar à l'aéroport international Blaise-Diagne. Le contrat portait en outre sur la conception-construction de 55 kilomètres de ligne électrifiée rapide (160 km/h). La réception a eu lieu cette année pour le premier tronçon de cette nouvelle ligne au standard UIC longue de 37 kilomètres sur deux voies parallèles partant de la gare historique de Dakar jusqu'à Diamniadio. Il s'agit de la première ligne ferroviaire de ce type en Afrique de l'Ouest.



5
© EIFFAGE RAIL

4- Le chantier du CDG Express à hauteur de Mity-Mory.

5- Convoi de ballast pour le CDG Express, projet de liaison ferroviaire entre la gare de Paris-Est à Paris et l'aéroport de Paris-Charles-de-Gaulle.

PARTENAIRE DU DÉVELOPPEMENT DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT URBAIN DES MÉTROPOLIS

Grâce à la complémentarité de ses compétences, Eiffage est à la fois concepteur, installateur, intégrateur clés en main sur l'ensemble des métiers et systèmes du ferroviaire. Son savoir-faire reconnu en matière de lignes ferroviaires majeures a ouvert la voie à de nouveaux marchés au plus proche des besoins des territoires.

« Notre client le plus important est bien évidemment SNCF Réseau mais plusieurs opérations ont déjà été réalisées ou sont en cours avec la RATP pour le RER, le métro et le tramway et la Société du Grand Paris pour le Grand Paris Express. »

EOLE VERS L'OUEST ET CHARLES-DE-GAULLE EXPRESS

À partir de 2017, Eiffage accède en Île-de-France à des marchés dimensionnants impliquant le remaniement com-

EIFFAGE : L'ESSENTIEL

Avec plus de 100 000 chantiers en 2019 en France et à l'international, Eiffage est l'un des leaders européens du BTP et des concessions. Les 72 500 collaborateurs du Groupe exercent leur activité à travers les métiers de la construction, de l'immobilier, de l'aménagement, du génie civil, du métal, de la route, de l'énergie systèmes, des concessions et du rail.

Dans un contexte où le dérèglement climatique est devenu une réalité, où la ville et les infrastructures durables et résilientes sont recherchées partout dans le monde, Eiffage met en œuvre la construction bas carbone à grande échelle et se saisit de toutes les opportunités d'innovation dans ce domaine pour faire la différence au service d'un développement durable partagé.

Son ambition est de construire un avenir à taille humaine en faisant émerger la ville durable, en reliant les territoires et en mettant en œuvre des solutions et des services toujours plus innovants pour répondre aux besoins des populations, au plus près des territoires.



© EIFFAGE RAIL
6

plet des faisceaux de voies existantes ainsi que la création de voies nouvelles pour le prolongement du RER E Eole vers l'ouest, et pour le futur Charles-de-Gaulle Express qui reliera Paris à l'aéroport éponyme.

« Ces opérations sont exigeantes en matière d'ingénierie, d'agilité et de mobilisation de moyens humains et matériels qui impliquent une organisation en mode projet, transverse et multimétier. Nous avons la capacité de mobiliser toutes les expertises, qui permettent d'intervenir dans les projets d'infrastructures liés au développement de la métropole du Grand Paris, conjuguant génie civil, terrassement, assainissement, pose de voies et de caténaires, pilotage de trains de travaux et sécurité ferroviaire. Eiffage Rail dispose, par exemple, de tous les savoir-faire pour réaliser les

6- Travaux de voies dans la gare Haussmann - Saint-Lazare du prolongement d'Eole vers l'ouest.

7- Eole vers l'ouest : modification de voies à Gargenville.

8- Train de pose TCM 60 de Meccoli.

études et les travaux caténaires, qu'il s'agisse de modernisation ou de renouvellement de la caténaire en 25 KV ou 1 500 V. Nos caténaristes sont formés aux risques électriques et habilités pour le travail en hauteur. Ils peuvent réa-

liser les travaux de sécurisation et de modernisation de ligne de jour comme de nuit. »

Pour Eole, la ligne sera prolongée de 55 kilomètres de la gare Haussmann-Saint-Lazare jusqu'à la gare de Mantes-la-Jolie, dont 8 kilomètres en tunnel et 47 kilomètres de voies rénovées et réaménagées. Eiffage Rail intervient sur le remaniement et la simplification du faisceau de voies de Paris-Saint-Lazare qui doit accueillir le prolongement de la ligne.

Eiffage Rail est aussi cotitulaire du marché d'équipement en voies (marché dit "VCM" pour Voie Caténaires Métallerie) de la partie en tracé neuf d'Eole entre la gare Haussmann-Saint-Lazare et Nanterre.

Le groupement intervient dans le tunnel central, en cours de percement, ainsi

que sur le raccordement au sortir de Nanterre jusqu'au franchissement de la Seine à Bezons. Ce marché prévoit la construction de 16 kilomètres de voies ferrées sur béton en tunnel et de 12 kilomètres de voies ballast sur la partie aérienne à Nanterre. La nouvelle voie traversera trois nouvelles gares : Porte-Maillot, La-Défense et Nanterre-La-Folie.

« Les travaux comprennent également la fourniture et la pose de 73 appareils de voie, précise Olivier Berthelot, des caténaires rigides et souples, et des équipements dans la partie tunnel incluant les passerelles, les colonnes sèches, les chemins de câble, ainsi que les infrastructures électriques, la main courante lumineuse et l'installation de la ventilation temporaire (air et poussière). »



7
© EIFFAGE RAIL



8
© MECCOLI



9

© EIFFAGE RAIL

Le tracé du Charles-de-Gaulle Express débute à la gare de l'Est avec un quai et des voies dédiées et se prolonge dans le 18^e arrondissement de Paris sur 1,4 kilomètre, assurant la liaison entre les faisceaux de la gare de l'Est et ceux de la gare du Nord au travers d'une tranchée couverte.

Le tracé se situe ensuite dans le faisceau ferroviaire de Paris-Nord. L'objectif est de raccorder les futures voies depuis la sortie au niveau de la Porte de la Chapelle aux voies de la ligne La Plaine-Hirson. Entre la gare de La-Plaine-Saint-Denis et Mitry-Mory, le Charles-de-Gaulle Express emprunte sur 22 kilomètres 2 voies existantes parallèles à celles du RER B. La ligne s'étend ensuite sur environ 2 kilomètres, de la sortie de Villeparisis, parallèlement à la LGV Nord, sur une zone agricole. L'objectif fonctionnel de la dernière section consiste à relier les voies de la ligne de La Plaine à Hirson à la portion de ligne nouvelle

Charles-de-Gaulle Express, longeant le barreau de la LGV Nord jusqu'à la gare du terminal 2 de l'aéroport en traversant les communes de Mitry-Mory et de Tremblay-en-France.

À noter que les équipes caténaires sont intervenues sur ce projet dès l'automne 2018 via le marché de régénération des caténaires du RER B. Sur l'année 2020, elles ont réalisé des travaux de remaniement caténaires et de déroulage de la future ligne. Ces opérations permettent aussi la rénovation de la caténaire sur le RER B, élément clef du renforcement de la fiabilité du réseau pour les usagers de la SNCF.

LES NOUVELLES LIGNES DU GRAND PARIS EXPRESS

S'inscrire dans le développement du plus grand projet de réseau de transport urbain d'Europe mené actuellement a été un enjeu stratégique pour Eiffage. Dès le lancement des appels d'offres par la Société du Grand Paris (SGP),

9- Train de pose de Eiffage Rail.

10- L'atelier dit ECM (Entretien en Charge de la Maintenance) à Auvers-le- Hamon.

11- Enorail : un train unique de suite rapide de nouvelle génération.

et des équipements linéaires sur les 19 kilomètres du tracé. Ce lot reliera Saint-Ouen à Aulnay et au Bourget et permettra le raccordement avec la Ligne 14 et la construction des premiers kilomètres de la Ligne 17 et de la Ligne 15 vers l'est.

Le groupe est également attributaire en groupement, via Eiffage Énergie Systèmes, des infrastructures électriques de la Ligne 15 Sud et des premiers tronçons des Lignes 16 et 17. Pour la Ligne 15 Sud, il s'agit de réaliser l'ensemble de l'architecture électrique du réseau 20 kV. Le marché pour la Ligne 16 porte sur la portion comprise entre la gare de Saint-Denis-Pleyel et la gare de Clichy-Montfermeil, et intègre le centre d'exploitation d'Aulnay-sous-Bois. Pour la Ligne 17, il concerne le tronçon nord compris entre la gare Le Bourget RER et la station Triangle de Gonesse. Sur ce même tronçon de la Ligne 17 et sur l'ensemble de la Ligne 16, Eiffage Énergie Systèmes

le Groupe a proposé des solutions intégrant ses expertises techniques notamment en matière d'infrastructure ferroviaire et électrique.

Pour le lot 1 de la Ligne 16, le plus important de la ligne, piloté par Eiffage Génie Civil, Eiffage a en charge les travaux ferroviaires dans le cadre d'un groupement. Le marché comprend la pose des voies ferrées, de la caténaire



10

© EIFFAGE RAIL



11

© JL GIROD

12- Travaux de maintenance et de renouvellement de voie.

13- Détail du remplacement d'un rail à l'aide du nouveau train Enorail.

14- Une équipe d'Opéré intervenant de nuit sur la LGV Bretagne - Pays de Loire.

réalisera également en groupement le système de ventilation, désenfumage et décompression des tunnels.

MAINTENANCE ET RENOUVELLEMENT D'INFRASTRUCTURES EXISTANTES

Afin de s'inscrire comme un acteur durable du rail, Eiffage a également développé au fil des années son activité et son expertise sur le marché de la maintenance et le renouvellement de réseaux existants.

Dès 2013, le Groupe a accompagné SNCF Réseau et les pouvoirs publics dans la maintenance du réseau ferré national. Ces dernières années, le gestionnaire du réseau ferroviaire français fournit un effort d'investissement annuel de l'ordre de 2,8 milliards d'euros pour en assurer la maintenance et le renouvellement. Ses besoins sont donc considérables.

« Afin de renforcer nos positions, il était nécessaire de faire l'acquisition d'un acteur reconnu et expérimenté, indique Olivier Berthelot. De là est venue la décision de racheter en 2015 l'entreprise Pichenot-Bouillé. PME de 140 collaborateurs, elle disposait d'un savoir-faire de plus de 50 ans et d'un



© EURO TUNNEL

UNE EXPERTISE COMPLÉMENTAIRE : LA SÉCURITÉ FERROVIAIRE

Spécialiste du management de la sécurité ferroviaire, ERS assure des prestations complètes en matière de sécurité ferroviaire pour tous types de clients (entreprises ferroviaires, maîtrises d'ouvrage publiques, gestionnaires d'infrastructures...). L'entité prévient deux risques majeurs : le risque électrique et le risque de collision. Ses équipes prennent en charge l'étude et la conception des trafics, les réservations capacitaires ainsi que la gestion opérationnelle des aléas. ERS intervient sur le réseau ferré national en régime exploité ou en ligne fermée.

Titulaire de plusieurs certifications, ERS est en capacité de collaborer avec un grand nombre d'acteurs. Grâce à sa licence d'entreprise ferroviaire, elle effectue les services de traction autonome de trains de travaux et de transport de marchandises, et un certificat de sécurité pour le transport de fret (à l'exclusion du transport de marchandises dangereuses) lui permet d'intervenir sur l'ensemble des lignes du réseau ferré national.

parc de 50 machines spécialisées. » Aujourd'hui, le groupe intervient sur des chantiers majeurs en France comme en Europe. En Allemagne, par exemple, Eiffage assure en groupement la rénovation de la ligne ferroviaire Oldenburg-Wilhelmshaven sans interruption de trafic, la circulation des trains étant

déviée sur une voie de proximité. « Pour monter davantage en compétence et élargir notre expertise dans la rénovation ferroviaire, poursuit Olivier Berthelot, il nous manquait l'accès à des marchés de grande ampleur de renouvellement de voies, nécessitant la mise en œuvre de moyens très mécanisés

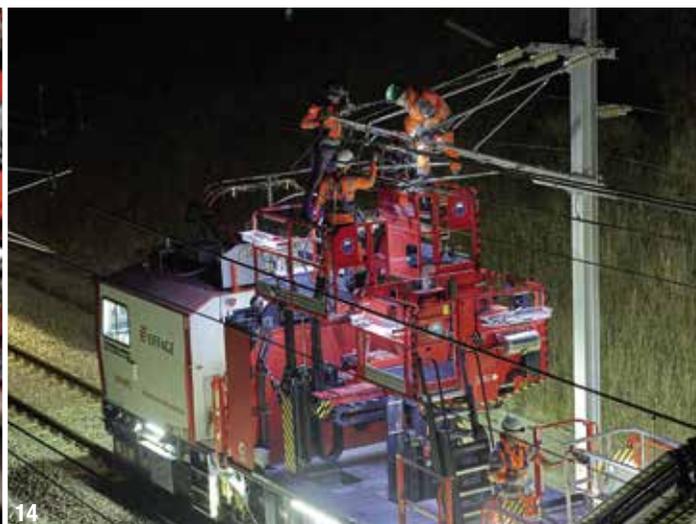
pour l'atteinte de hauts rendements, autrement dit des trains-usines. Cela s'est concrétisé en 2019 avec l'acquisition de l'une des dernières entreprises indépendantes dans ce domaine : Meccoli, le spécialiste des travaux de suite rapide. Aujourd'hui, Eiffage Rail déploie ainsi un panel d'activités lui ouvrant l'ensemble des marchés liés au rail au sens le plus large du terme. » Reconnue pour son expertise sur les grands chantiers linéaires de Renouvellement Voie Ballast (RVB), Meccoli, qui compte quelque 500 collaborateurs, est dotée d'un parc matériel conséquent. Cette société, titulaire d'un marché de suite rapide entre 2013 et 2017, a remporté en 2017, à la tête d'un groupement dont elle est le mandataire, le lot 1 du nouveau marché des "suites rapides", un contrat-cadre pour SNCF Réseau jusqu'en 2024. Ce marché porte sur le renouvellement de près de 200 kilomètres de voies ferrées par an. Le contrat comprend les chantiers de renouvellement des composantes des voies (rail, traverses, ballast et fixation de rail) dans différentes régions françaises ainsi que les travaux de signalisation électrique et la conduite autonome des trains de travaux.

« Pour ce marché, précise Olivier Berthelot, l'objectif d'Eiffage Rail est de mettre en service un train unique de suite rapide de nouvelle génération, baptisé Enorail, développé par le fabricant autrichien Plasser & Theurer. Ce train traite en une seule opération le renouvellement complet de tous les constituants de la voie : dépose des rails, des traverses et du ballast puis pose des nouvelles traverses, des rails neufs suivi du ballastage. Actuellement en essais, ce train sera opérationnel début 2021. »



13

© J.L. GIROD



14

© EIFFAGE RAIL



15

© EIFFAGE



16

© EIFFAGE

À terme, l'objectif d'Enorail est le renouvellement complet d'environ 1 kilomètre de voie par jour. »

ENTRETIEN ET MAINTENANCE DU MATÉRIEL ROULANT

Au niveau de l'entretien et de la maintenance des engins ferroviaires, Eiffage a souhaité très tôt anticiper les contraintes liées à la mise en œuvre de la réglementation européenne dite du "4^e paquet ferroviaire", en se dotant d'une organisation ad hoc pour l'entretien et les contrôles techniques réglementaires du matériel roulant de travaux.

Son parc matériel intègre notamment 11 bourreuses de voie courante, 12 bourreuses d'appareil, 7 régalieuses, 30 locomotives, 120 wagons plats, 40 ballastières...

« Le matériel lourd dans les métiers du rail est une ressource soumise à une réglementation très contraignante et coûteuse en investissement, et à ce titre majeure et critique. L'organisation mise en place bénéficie depuis 2018 de la certification ECM (Entité en Charge de la Maintenance) au sens de la réglementation européenne. »

À cette organisation a été adossée la construction d'un atelier de maintenance aux dernières normes en vigueur situé à Auvers-le-Hamon (72) équipé d'un tour en fosse - outil de dernière génération pour le reprofilage en un temps record des essieux du matériel roulant - qui a été inauguré en juillet 2019. Cet équipement permet d'assurer aux équipes de terrain de disposer d'un matériel de qualité en situation optimale de fonctionnement.

Il est également doté d'une fosse de visite de 40 mètres de long, d'une aire de mesure des efforts au contact

rail/roue utilisable en statique comme en dynamique ainsi que de batteries de vérins de levage de 25 tonnes pour le levage de machines de grande longueur.

QUELLES AMBITIONS ?

« Notre objectif est clair. Nous sommes dans une démarche partenariale avec nos clients et œuvrons à leurs côtés pour relier durablement les territoires,

15- À Taïwan, équipement ferroviaire de la virgule "Aéroport de Taïpeh - Gare principale".

16- Rénovation de voie sur le viaduc ferroviaire de Müngsten, le plus haut pont métallique en arc d'Allemagne entre Remscheid et Solingen, (Nord-Rhénanie-Westphalie).

17- Évacuation de déblais par voie ferroviaire sur la Ligne 15 du Grand Paris Express.



17

© EIFFAGE GÉNIE CIVIL

TRANSFERT DE DÉBLAIS : LE FERROVIAIRE AU SERVICE DE LA SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

Les équipes d'ERS ont permis de mettre en place avec le transport ferroviaire une alternative à la route pour l'évacuation des déblais de la future Ligne 15 du Grand Paris Express. Les terres excavées du chantier transitent par une plateforme de tri et d'évacuation, au niveau de la future gare de Bry-Villiers-Champigny, au sein de laquelle a été créée une installation terminale embranchée (ITE) sur le réseau ferré national. Les terres triées sont chargées dans des trains de fret d'une vingtaine de wagons spécifiques tractés par ses locomotives, elles sont évacuées à raison de deux trains quotidiens.

Une première campagne a été réalisée, en 2019, pendant 3 mois, lors de laquelle plus de 50000 tonnes de déblais ont été transportées. Depuis mai 2020, les équipes ont repris du service pour une durée de 11 mois. Eiffage Rail participe pour la Société du Grand Paris à la volonté de développer des solutions de transport alternatif à la route, moins émettrices de gaz à effet de serre et qui permettent d'éviter les impacts liés à l'utilisation de camions.

favoriser la mobilité des personnes et faciliter l'acheminement des marchandises. Garantir le niveau de performance des infrastructures et assurer le confort des voyageurs font partie nos priorités, précise-t-il.

À ceci s'ajoute un atout important : celui de la signature Groupe. Notre appartenance au groupe Eiffage est un réel atout car nous sommes en capacité d'apporter toutes les expertises métier nécessaires au marché ferroviaire.

Plus de 2000 collaborateurs du groupe interviennent dans des activités ferroviaires. Chaque jour, ils interagissent pour faire valoir une expertise Eiffage unifiée fonctionnant de manière harmonieuse et performante en utilisant au mieux chacune des compétences individuelles. »

Il s'agit aussi pour le groupe d'utiliser la force de frappe acquise avec l'ensemble du matériel disponible



© EIFFAGE - GAËL ARNAUD

18

18- Le viaduc de Le-Genest-Saint-Isle sur la LGV Bretagne - Pays de Loire, dans le département de la Mayenne.

19- Eiffage Énergie Systèmes : un contrat de 6 ans avec la SNCF.

pour intervenir efficacement partout en Europe.

Cela lui permettra notamment de répondre aux nouveaux marchés de SNCF Réseau qui intégreront probablement en un marché unique les opérations de rail et de caténaire qui étaient jusque-là traitées séparément, et également de répondre en conception-construction si cette démarche est mise en place comme sur le chantier du Grand Paris Express. □



© EIFFAGE - FABIEN MONTAGU

19

CHANGEMENT DE LA SIGNALISATION POUR LA LGV PARIS-LYON

Eiffage Énergie Systèmes est spécialisée dans la conception, l'installation, l'intégration et la maintenance clés en main de tous les métiers des systèmes : signalisation ferroviaire, traction électrique, équipements des stations, automatismes et postes de contrôle, réseaux de télécommunication...

On peut notamment citer le marché remporté en groupement portant sur les études, les travaux et les vérifications techniques pour le remplacement de la signalisation sur plus de 500 kilomètres de voies de la LGV Paris-Lyon dans le cadre de la modernisation et de la fiabilisation de l'infrastructure.

Cette opération s'inscrit dans le plan de transformation et de modernisation "Réseau Haute Performance" lancé par SNCF Réseau pour améliorer les performances et augmenter la capacité et la régularité sur son réseau.

Le projet Paris-Lyon est la première ligne à grande vitesse française en exploitation à faire à la fois l'objet d'une régénération de son système de signalisation de cette ampleur et à passer à l'ERTMS (Système européen de gestion de la circulation ferroviaire) en vue de l'harmonisation progressive du réseau ferré européen.

Au total, 58 nouveaux postes de signalisation seront mis en place, entièrement équipés et vérifiés en vue des essais avant la mise en service commerciale de la ligne en haute-performance en 2025.

Ce marché vient compléter l'attribution fin 2019 à Eiffage Énergie Systèmes, mandataire du marché de travaux de mise en Y des équipements de signalisation qui permettra de passer de l'ancien au nouveau système sur l'ensemble du tracé de la ligne Paris-Lyon.



© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

LIGNE 15 SUD - CAVERNE DE VERT-DE-MAISONS - RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES INJECTIONS D'ÉTANCHEMENT

AUTEURS : GRÉGORY MEYER, RESPONSABLE GÉOTECHNIQUE L15S T2, SYSTRA - NICOLE BENZ-COLLANGE, RESPONSABLE TRAVAUX DU GROUPEMENT HORIZON, SOLETANCHE BACHY - BASILE LECONTE, RESPONSABLE TECHNIQUE FRANCE, SOLETANCHE BACHY - DOMINIQUE REGALLET, DIRECTEUR TECHNIQUE DU GROUPEMENT HORIZON, BOUYGUES CONSTRUCTION - ARNAUD GUICHARD, RESPONSABLE ADJOINT À LA DIRECTION TECHNIQUE TRAVAUX L15S T2, SYSTRA

LA CRÉATION DE LA NOUVELLE LIGNE 15 TRONÇON SUD A DÉMARRÉ EN PHASE TRAVAUX DEPUIS JUIN 2016. PARMIL LES OUVRAGES CRÉÉS, LA FUTURE GARE DU VERT-DE-MAISONS DU LOT T2A, SITUÉE AU SUD DE MAISONS-ALFORT (94), EST UN OUVRAGE RENDU COMPLEXE PAR LA PRÉSENCE, À L'APLOMB D'UNE PARTIE DE LA GARE, DES BÂTIS DU SQUARE DUFOURMANTELLE CLASSÉS AUX MONUMENTS HISTORIQUES. CELA NÉCESSITE LE CREUSEMENT D'UNE GARE SOUTERRAINE, SITUÉE SOUS LA NAPPE AVEC UNE FORTE CHARGE D'EAU. LES TERRAINS DOIVENT DONC ÊTRE ÉTANCHÉS PAR INJECTIONS, AFIN DE LIMITER LES VENUES D'EAU LORS DES PHASES D'EXCAVATION DE CETTE CAVERNE SOUTERRAINE.

PRÉSENTATION DU PROJET

Le tronçon T2 de la Ligne 15 Sud du futur réseau métropolitain Grand Paris Express est exécuté sous maîtrise d'œuvre Systra. Il s'étendra à horizon 2025 sur une longueur de 21 km (figure 2) de la gare de Villejuif-Louis-Aragon (gare non comprise)

à la gare de Noisy-Champs (gare incluse). Entièrement en souterrain, il traversera principalement des zones urbaines denses, et intégrera trois passages sous-fluviaux (de la Seine et de la Marne). Il desservira 8 gares du Val-de-Marne (94) en correspondance avec des transports urbains et ferro-

1- Vue architecturale de la future gare Vert-de-Maisons.

1- Architect's view of the future Vert-de-Maisons Station.

vaires existants ou en projet, dont la gare du Vert-de-Maisons (dite VDM), reliée au RER D et, à long terme, au Transilien Ligne R. Cette gare fait partie du lot T2A, le plus à l'ouest du tronçon T2, notifié le 1^{er} février 2017 au groupement Horizon (Bouygues Travaux Publics mandataire, Soletanche

Bachy France, Soletanche Bachy Tunnels, Bessac et Sade).

La gare du Vert-de-Maisons (figure 1) se situe sur la commune de Maisons-Alfort dans le département du Val-de-Marne (94). Elle est implantée à l'ouest de la rue Jean-Jaurès (RD6) et à l'est de l'actuelle station de RER D et du faisceau ferroviaire reliant Paris-Gare-de-Lyon à Marseille-Saint-Charles. Le square Dufourmantelle, constitué de bâtiments de logements collectifs, est inscrit à l'inventaire des Monuments Historiques. Il est situé sur l'emprise de la gare, ce qui impose la réalisation d'une boîte réduite pour les terrassements à ciel ouvert. Cette enceinte, approximativement carrée (45 m x 45 m), ne permet pas la réalisation de quais fonctionnels (trop courts pour des rames de 108 m). La nécessité de réaliser une partie de la gare en souterrain, dite "caverne", sous les bâtiments Dufourmantelle s'est donc imposée très tôt dans les études de conception. Les dimensions de cette caverne (69,5 m x 15,2 m avec deux couloirs latéraux complémentaires de 5 m de largeur de part et d'autre de la section voutée principale) rendent complexes les travaux d'excavation en méthode conventionnelle.

La présence de terrains certes de bonne qualité (Marnes et Caillasses et Calcaire Grossier) mais baignés par une nappe, nécessite des travaux d'injections



2

2- Plan de la Ligne 15 Sud en cours de réalisation.

3- Vue d'ensemble du projet en phase d'injection (plot d'essai).

2- Plan of Line 15 South undergoing construction.

3- General view of the project in the grouting phase (test section).

d'étanchement afin de diminuer les débits d'exhaure au sein de la caverne (figure 3) et permettre de sécuriser le creusement de la partie souterraine de la gare. La présence des Sables de Beauchamp, plus déformables,

aquifères et qui tangentent la voûte de la caverne, nécessite des travaux de congélation, car ces sols sont difficilement injectables.

TRAITEMENT DES TERRAINS PAR INJECTIONS

Ces traitements concernent les horizons des Marnes et Caillasses et du Calcaire Grossier, dont les perméabilités avant travaux ont été estimées entre 1.10^{-4} et 4.10^{-5} m/s pour les zones altérées, caractéristiques d'une perméabilité relativement élevée (figure 4). L'objectif après traitement est d'obtenir un massif à perméabilité plus faible (en injectant les fractures naturellement présentes dans ces formations). Les recommandations de l'Aftes GT8R2F1 concernant la réalisation des travaux d'injection préconisent dans le cas d'une roche fracturée une injection avec sacs

séparateurs. Afin de traiter l'ensemble des horizons du Lutétien (Marnes et Caillasses et Calcaire Grossier), il a finalement été retenu en phase travaux une injection répétitive et sélective par tubes à manchettes. Il s'agit d'un équipement PVC scellé au terrain par un coulis de gaine et comportant, généralement tous les 33 cm, un trou fermé par une gaine en caoutchouc (appelée manchette). Le volume de terrain à traiter représente 59 000 m³ et couvre toute la section de la caverne avec un débord de 3 m sur les côtés et en calotte, 5 m en radier et 7 m de bouchon au-delà de l'excavation. Ces injections ont été réalisées au travers de près de 500 forages exécutés depuis 3 emprises différentes (emprise chantier et square Dufourmantelle) et selon 6 phases distinctes de travaux. Une modélisation 3D a permis de définir la quantité, l'orientation, l'azimut et la profondeur des forages nécessaires pour couvrir l'ensemble du volume (figure 5). Les forages présentent des inclinaisons importantes, jusqu'à 45° et des longueurs pouvant atteindre 62 m. La perforation a été effectuée avec la méthode Hi'Drill® développée par Soletanche Bachy (vibrations de haute fréquence) en diamètre 114 mm sous un fluide de forage (eau), qui permet de traverser les roches et les terrains sous nappe avec un rendement élevé et de limiter les déviations. ▶



3



Le coulis de traitement est un coulis bentonite-ciment dosé à 350 kg/m³ de ciment, mis en œuvre grâce au système de pilotage automatisé des injections (SPICE) via des pompes réglées en débit et en pression (régulation plus rapide et plus sécuritaire qu'une régulation en débit seul). Le critère de perméabilité visé après injection est de 10⁻⁶ m/s, soit 5 à 100 fois moins que la perméabilité initiale des terrains.

RÉALISATION D'UN PLOT D'ESSAI

Avant de réaliser l'ensemble des injections à l'échelle du chantier, un plot d'essai a été exécuté sur une zone réduite. Ainsi, une première phase d'injection s'est déroulée du 04/05/2017 au 20/06/2017 (11 jours de perforation et 18 jours d'injections), sous la forme d'un plot d'essai, afin de valider :

- Les paramètres d'injection, notamment : le débit d'injection et les critères d'arrêt en pression et en volume ;
- La nécessité ou pas de réaliser des forages complémentaires tertiaires en intermaille.

Ce plot d'essai s'est étendu sur une surface de 73 m² et comprenait 25 forages : 16 primaires et 9 secondaires (figure 6). En effet, l'injection s'est déroulée dans un premier temps par forages primaires puis secondaires, permettant d'enclaver le terrain puis de le traiter plus finement selon un maillage final de 2,8 m x 2,8 m en pied de forage.

Les paramètres d'injection retenus pour le plot d'essai étaient les suivants :

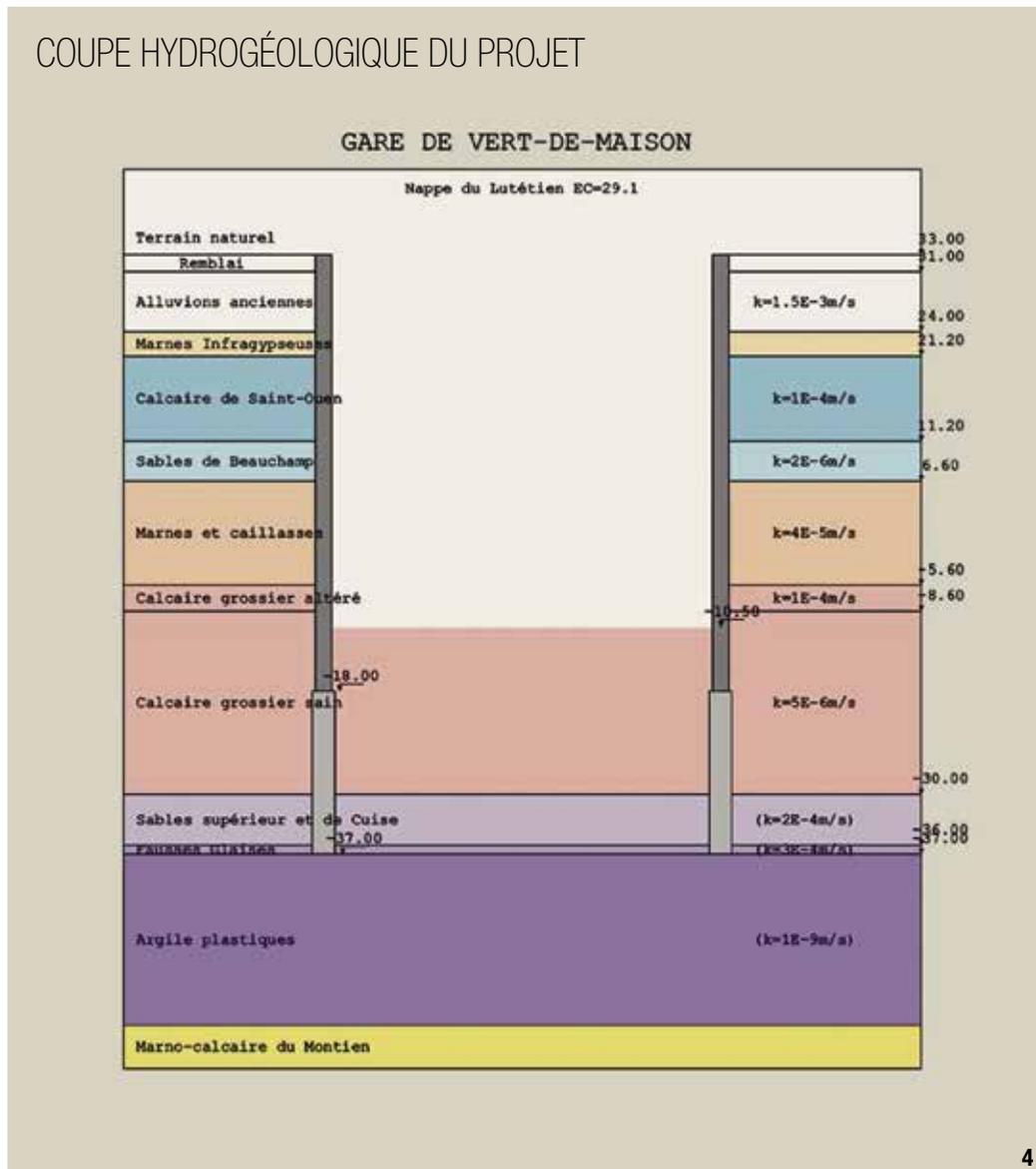
- Critère d'arrêt pression : pression de régulation fixée à 15 bars ;
- Critère d'arrêt volume défini par manchette en fonction des hypothèses de taux d'imprégnation selon la formation géologique ;
- Débit d'injection de 600 l/h.

L'analyse des diagraphies de forages a montré l'absence de vides ou de zones décomprimées. Aucune perte d'eau n'a été constatée. La perforation s'est déroulée de manière satisfaisante, la principale difficulté rencontrée ayant été la mise en place de la machine. En effet, le positionnement et le réglage de l'inclinaison étant une phase primordiale pour la qualité du massif injecté, cette tâche a demandé une grande rigueur.

Le volume moyen par passes d'injection montre une diminution, attendue, entre les forages primaires et secondaires, de l'ordre de 11% :

- 321 litres par passes sur les forages primaires ;

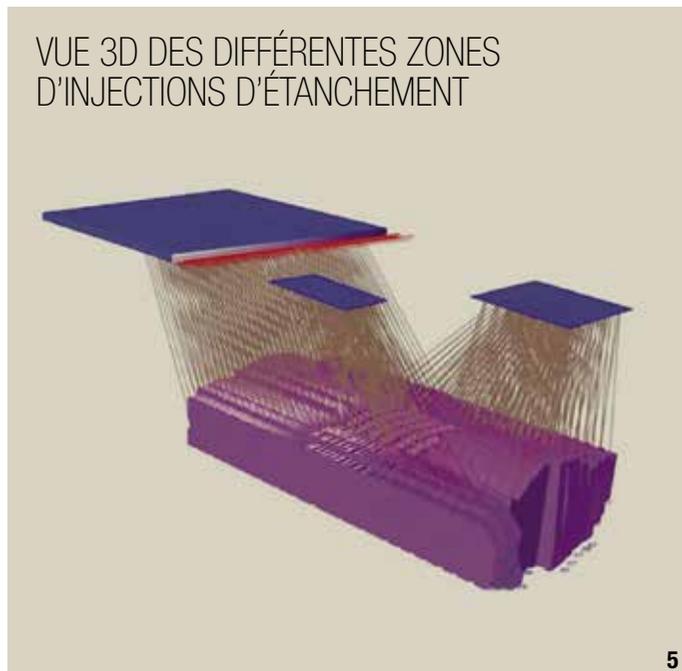
COUPE HYDROGÉOLOGIQUE DU PROJET



4

© SYSTRA

VUE 3D DES DIFFÉRENTES ZONES D'INJECTIONS D'ÉTANCHEMENT



5

© SOLETANCHE BACHY

4- Coupe hydrogéologique du projet.
5- Vue 3D des différentes zones d'injections d'étanchement.

4- Hydrogeological cross section of the project.
5- 3D view of the various water-proofing zones.

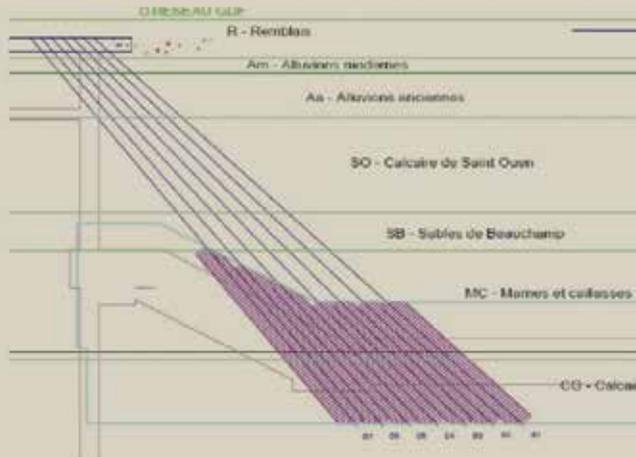
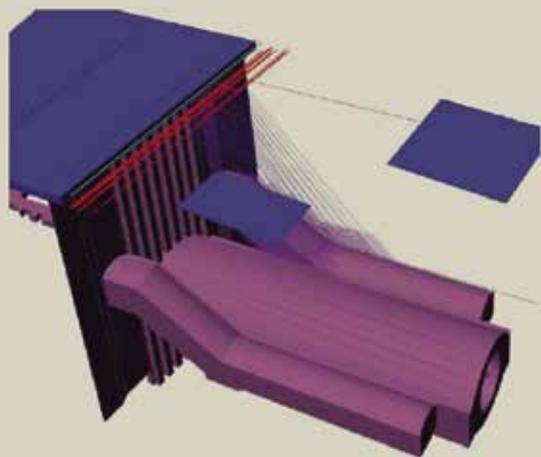
- 284 litres par passes sur les forages secondaires.

Au global, il aura été injecté sur le plot d'essai un volume de 476 m³, réparti de la manière suivante :

- 281 m³ dans les Marnes et Caillasses, soit un taux d'imprégnation de 15,7% ;

VUE 3D ET PLAN D'INJECTION DU PLOT D'ESSAI (Logiciel Castaur)

(Logiciel Castaur)



© SOLETRANCHE BACHY

6

→ 184 m³ dans le Calcaire Grossier, soit un taux d'imprégnation de 8,3%, valeur un peu plus faible que ce qui est habituellement constaté en région parisienne.

Toutes les déviations de forages du plot d'essai ont été mesurées à l'aide d'une sonde gyroscopique. Ces mesures ont pour objectif de vérifier le récolement en fond de forage afin de déceler une éventuelle fenêtre ouverte entre 2 forages. Dans ce cas, une injection tertiaire, locale, aurait été mise en œuvre.

Les 8 essais Lugeon réalisés en intermaille ont également montré une perméabilité moyenne du massif de l'ordre

6- Vue 3D et plan d'injection du plot d'essai (logiciel Castaur).

7- Travaux de forages depuis une emprise du square Dufourmantelle.

6- 3D view and plan of test-section grouting (Castaur software).

7- Drilling work from an area of Dufourmantelle Square.

de 1,2.10⁻⁶ m/s, validant l'absence de nécessité de réaliser des forages tertiaires.

AUSCULTATION DES BÂTIS

21 prismes ont été mis en place afin de suivre en continu les déplacements des bâtiments sensibles du square Dufourmantelle durant les travaux d'injections. Des soulèvements sur les cibles situées dans la zone du plot d'essai ont été constatés. Ils ont atteint un pic d'environ 9 mm.

Le bulbe de soulèvement ainsi constaté se diffuse au niveau du terrain naturel selon une pente d'environ 1H/2V. Il est à noter que les seuils de déforma-

tions complémentaires (tassements différentiels et déformations horizontales, a priori les plus préjudiciables pour le bâti) n'ont pas été atteints durant cette phase.

Néanmoins, afin de prévoir les soulèvements à venir lors des phases ultérieures et de les limiter aux seuils de pilotage définis au marché, les paramètres d'injection ont été adaptés.

PHASES D'INJECTIONS

Les travaux d'injection en phase de production se sont déroulés sur une durée d'environ 2 ans entre juillet 2017 et septembre 2019 (figure 7). La première des six phases d'injection réalisée dans la continuité du plot d'essai a permis de poursuivre les ajustements de paramètres d'injection à la baisse afin de limiter les soulèvements. En effet dans la continuité du plot d'essai, il a été constaté une grande réactivité du terrain avec des soulèvements importants qui ont atteint le seuil d'alerte des bâtis. Il a par ailleurs été mis en évidence une pression seuil en dessous de laquelle l'injection était moins efficace, avec un taux d'imprégnation des terrains particulièrement réduit, nécessitant alors des injections de reprise. Il a donc fallu trouver un compromis entre pression et volume d'injection pour obtenir le critère de perméabilité tout en limitant les soulèvements (phénomène qui a pu être ralenti sans pour autant être totalement stoppé - figure 8). Quels que soient les paramètres d'injection mis en œuvre, une corrélation directe entre volume injecté et soulèvements a été constatée, d'où le compromis mentionné ci-dessus. ▽

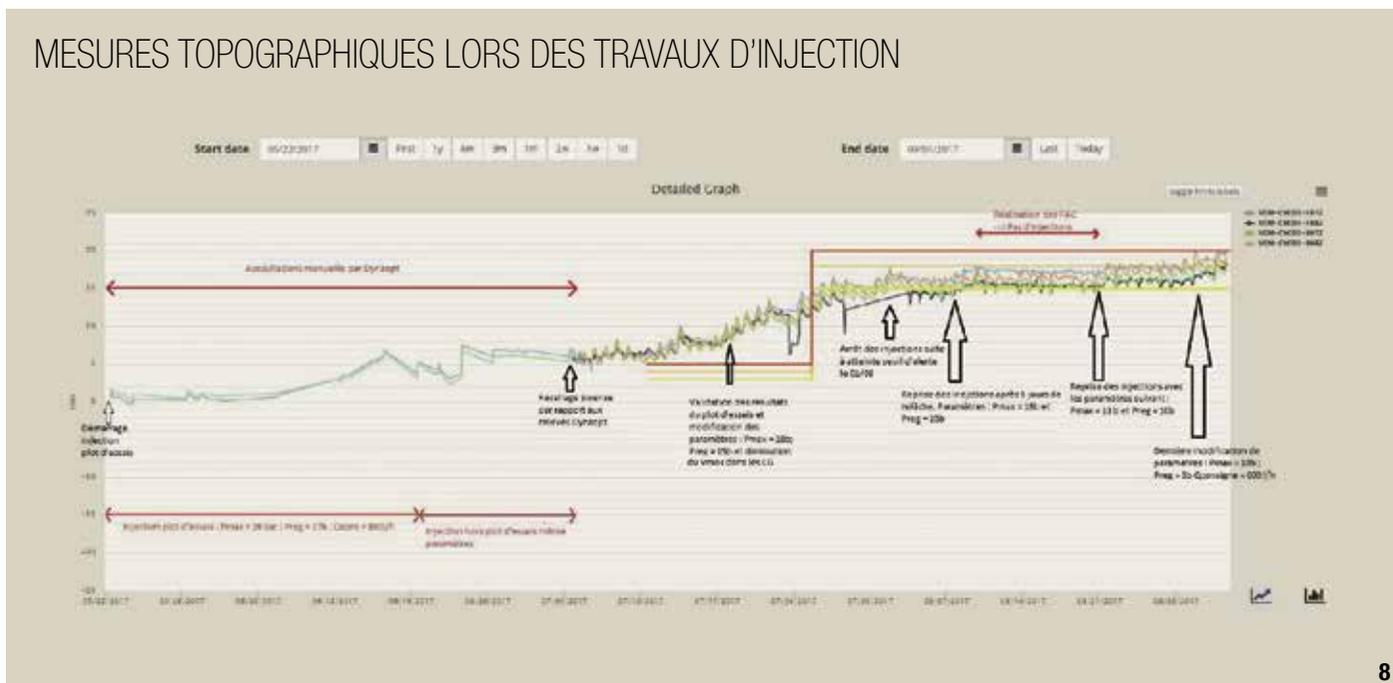


© CEDRIC HELSY

7



MESURES TOPOGRAPHIQUES LORS DES TRAVAUX D'INJECTION



© SOLETANCHE BACHY

In fine, le seuil des bâtis a été relevé de +25 à +30 mm afin de permettre une injection correcte du massif, tout en garantissant la pérennité des ouvrages de surface.

Les essais de contrôle Lugeon ont démontré que le critère à 1.10^{-6} m/s était atteint, avec localement des valeurs doublées (2.10^{-6} m/s).

AUTRES TRAITEMENTS PREVUS

L'horizon des Sables de Beauchamp, sus-jacents aux Marnes et Caillasses et au Calcaire Grossier déjà mentionnés plus haut, est réputé difficilement injectable en raison de sa granulométrie. Il est donc prévu de congeler cet horizon (travaux préparatoires d'équipement en cours) en améliorant ses caractéristiques hydrauliques au-dessus de la galerie principale de la caverne mais aussi ses caractéristiques mécaniques pour les deux couloirs inclinés traversant l'horizon.

Ces travaux se sont appuyés sur le retour d'expérience du plot d'essai du site d'Aulnay-sous-Bois (Grand Paris Express Ligne 16).

Afin de limiter les déformations durant les différentes phases de creusement de la caverne sur le bâtiment existant et notamment les tassements différentiels qui peuvent lui être critiques, un dispositif d'injections de compensation active est mis en œuvre.

Ces travaux actuellement en cours feront l'objet d'un prochain article. □

8- Mesures topographiques lors des travaux d'injection.

8- Topographic measurements during grouting works.

PRINCIPALES QUANTITÉS

INJECTION DE LA CAVERNE VDM (LIGNE 15 SUD T2)

- NOMBRE DE FORAGES : 474 u**
- FORAGES DE TRAITEMENT : 23115 m**
- LINAIRE DE MANCHETTES : 8222 m**
- VOLUME INJECTÉ : 2619 m³**

PRINCIPAUX INTERVENANTS

CONSTRUCTION LIGNE 15 SUD T2

- MAÎTRE D'OUVRAGE : Société du Grand Paris**
- MAÎTRE D'ŒUVRE INFRASTRUCTURE : Systra**
- ARCHITECTE : Valode & Pistre**
- ENTREPRISES : Groupement Horizon**
- (Bouygues Construction - mandataire, Soletanche Bachy France, Soletanche Bachy Tunnel, Bessac, Sade)**
- ENTREPRISE DE TRAVAUX SPÉCIAUX (dont injections) : Soletanche Bachy France**

ABSTRACT

LINE 15 SOUTH - VERT-DE-MAISONS CAVERN - EXPERIENCE FEEDBACK ON WATERPROOFING GROUTING

GRÉGORY MEYER, SYSTRA - NICOLE BENZ-COLLANGE, SOLETANCHE BACHY - BASILE LECONTE, SOLETANCHE BACHY - DOMINIQUE REGALLET, BOUYGUES CONSTRUCTION - ARNAUD GUICHARD, SYSTRA

The works in progress for execution of the Vert-de-Maisons Station cavern show that, despite a tried and tested grouting technique and high-quality monitoring, soil reinforcement works are always complex and the response of the grouted ground can vary locally. The execution of a test section can compensate for this lack of information. □

LÍNEA 15 SUR - CAVERNA DE VERT-DE-MAISONS - CONCLUSIONES SOBRE LAS INYECCIONES DE IMPERMEABILIZACIÓN

GRÉGORY MEYER, SYSTRA - NICOLE BENZ-COLLANGE, SOLETANCHE BACHY - BASILE LECONTE, SOLETANCHE BACHY - DOMINIQUE REGALLET, BOUYGUES CONSTRUCTION - ARNAUD GUICHARD, SYSTRA

Las obras en curso para la realización de la caverna de la estación de Vert-de-Maisons revelan que, pese a aplicarse una técnica de inyección probada y un seguimiento de calidad, las obras de refuerzo del suelo siguen siendo igualmente complejas y que la respuesta de los terrenos inyectados puede variar localmente. La realización de un conjunto de ensayos permite paliar esta falta de información. □



1

© GROUPEMENT CAP - ALEXIS TOUREAU

GARE DE NOISY-CHAMPS, RELEVER LE DÉFI DE CREUSER LES LIGNES 15 ET 16 DU GRAND PARIS EXPRESS SOUS LES QUAIS DU RER A

AUTEURS : FABRICE MICELI, RESPONSABLE GARE, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - JEAN-YVES HARDY, COORDINATEUR ÉTUDES-TRAVAUX, DODIN CAMPENON BERNARD - THIBAUT LE METTALLE, RESPONSABLE TRAVAUX SPÉCIAUX, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - GINO IORI, RESPONSABLE DÔME ET PASSERELLES, DODIN CAMPENON BERNARD - ERWAN MOAL, INGÉNIEUR GÉOTECHNICIEN, SYSTRA

FUTUR TERMINUS DES LIGNES 15 ET 16 DU GRAND PARIS EXPRESS, LA GARE DE NOISY-CHAMPS PERMET LA CORRESPONDANCE AVEC LA LIGNE A DU RER SE SITUANT AU NIVEAU -5 m DU TERRAIN NATUREL. CE TERMINUS COMPREND DEUX NIVEAUX DE MANIÈRE À OPTIMISER SON EXPLOITATION ET SON INSERTION DANS LE SITE. LE NIVEAU SUPÉRIEUR (-13 m/TN) CORRESPOND AU TERMINUS DE LA LIGNE 15 SUD PROVENANT DE PONT-DE-SÈVRES TANDIS QUE LE NIVEAU INFÉRIEUR (-21 m/TN) CORRESPOND AU TERMINUS DE LA LIGNE 16 PROVENANT DU BOURGET.

Le lot T2D consiste en la construction d'une avant-gare, ouvrage souterrain de 250 m de long, permettant aux trains de disposer d'une voie de garage et de retournement et d'une gare de 150 m de long, surplombée d'un dôme de 21 m de haut en bois, acier et verre (figure 2). L'ensemble des ouvrages est situé dans les départements de Seine-Saint-

1- Réalisation des fondations sous l'ouvrage cadre.

1- Execution of foundations under the frame structure.

Denis et de Seine-et-Marne, sur les communes de Noisy-le-Grand et de Champs-sur-Marne (figure 3).

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE ET CONTRAINTES PARTICULIÈRES

La gare de Noisy-Champs est implantée dans les terrains du plateau de Noisy.

Sous une couverture de remblais et de reliquats de calcaire de Brie de faible épaisseur, on trouve les glaises vertes sannoisiennes, constituées d'argiles très plastiques, puis la succession marno-calcaire du Ludien, avec en partie supérieure les marnes de Pantin, puis les marnes d'Argenteuil, formées de marnes argileuses plastiques. ▷

La base des fondations est située dans le calcaire de Champigny, qui est une variation latérale locale du faciès des masses et marnes du gypse constituée d'une alternance de bancs calcaires et marneux, massifs à fracturés.

Les parois moulées et fondations profondes sont ancrées dans le calcaire de Champigny. Les radiers de la gare et de l'avant-gare sont fondés dans les marnes d'Argenteuil, et les radiers des locaux techniques sont ancrés au sein des glaises vertes (figures 4 et 5).

Les nappes en interaction avec les infrastructures sont la nappe perchée et superficielle du calcaire de Brie, portée par la formation des glaises vertes et celle des marnes de Pantin portée par les marnes d'Argenteuil.

Les campagnes de reconnaissance successives ont permis de mettre en évidence deux contraintes principales liées au contexte géologique du site. La première contrainte est liée à la présence d'accidents siliceux, d'épaisseur pluri-décimétrique et de calcaires silicifiés très durs et très abrasifs reconnus au sein du calcaire de Champigny. Ces éléments indurés peuvent causer des problèmes lors de l'excavation des parois moulées ou des barettes, notamment lorsque celles-ci sont excavées à la benne.



© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS / AGENCE DUTHILLEUL

Pour en limiter les conséquences, le groupement a réalisé un pré-forage de l'ancrage des parois dans les passes problématiques, avant un réalésage à la benne. Cette technique a permis de réaliser l'ancrage des parois moulées dans les bancs indurés du calcaire de Champigny sans avoir recours à un cutter.

La seconde contrainte concerne le potentiel de gonflement des formations argileuses des marnes d'Argenteuil et des glaises vertes. Ces terrains sont en

2- Perspective extérieure de la gare de Noisy-Champs.
3- Vue aérienne de l'emprise T2D - Gare et avant-gare.

2- Exterior perspective view of Noisy-Champs Station.
3- Aerial view of the T2D area - Station and station front.

effet connus pour subir des variations volumiques plus ou moins importantes en fonction des variations de leur teneur hydrique.

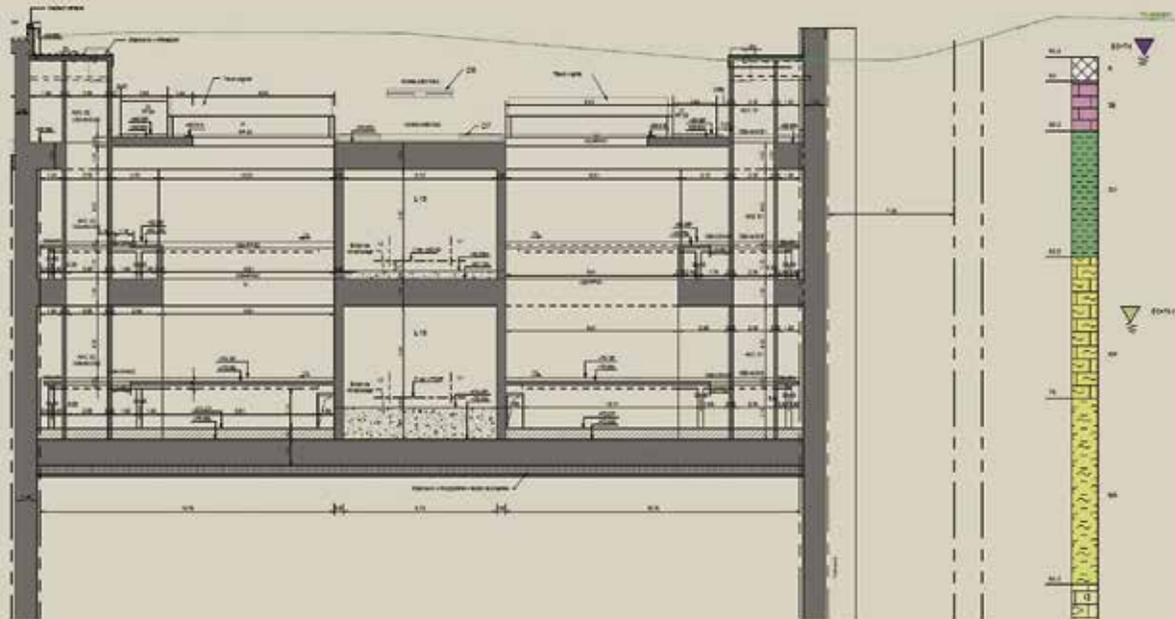
De plus, le terrassement provoque un déchargement du terrain sous-jacent et donc un soulèvement de la surface du fond de l'excavation.

Suivant les terrains, ce soulèvement peut être quasi-instantané, dans les terrains perméables, ou au contraire différé, comme dans les argiles et autres sols fins.



© ONE SHOT PHOTOS

VUE EN COUPE AVEC PROFIL GÉOLOGIQUE



© SYSTRA
4

4- Vue en coupe avec profil géologique.

5- Stratigraphie des terres.

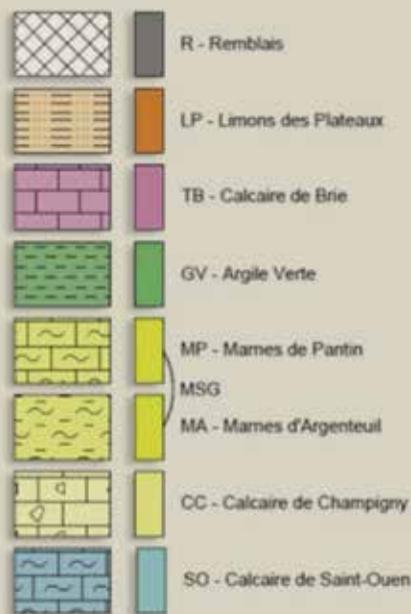
4- Cross-section view with geological profile.

5- Soil stratigraphy.

Si l'on réalise le radier sur le fond de fouille alors que le soulèvement différé n'est pas terminé, le radier va s'opposer à ce soulèvement. Afin de ne pas être confronté à un accroissement de sous-pression sous les radiers de la gare et de l'avant-gare et suivant les préconisations de la maîtrise d'oeuvre, le groupement a posé une couche de polystyrène sous les radiers. Cette couche joue le rôle d'un amortisseur en cas de gonflement des terrains argileux. La pression résiduelle du gonflement diminue quand on laisse le sol gonfler, d'où l'idée d'utiliser un matériau déformable mais capable de supporter une certaine pression pour contrôler ce phénomène.

L'ajout d'une couche de polystyrène a permis d'optimiser l'épaisseur des radiers en limitant la pression de gonflement des sols à prendre en compte (figure 6).

STRATIGRAPHIE DES TERRES



5

© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

UNE BOÎTE GARE RECTANGULAIRE TRAVERSÉE PAR LE RER A

Une des particularités de la gare de Noisy-Champs est que sa construction englobe le pont-cadre de la gare existante de la Ligne A du RER. La boîte à

construire est un rectangle de 156,3 m de longueur par 30,88 m à 45,10 m de largeur, divisé en 3 parties (figure 7) :

- La partie Sud, sur laquelle débouche l'avant-gare ;
- La partie Nord, qui donne sur l'arrière-gare ;

→ Et la partie centrale, qui est construite sous le pont-cadre de la Ligne A du RER.

LES DIFFÉRENTES PHASES DE CONSTRUCTION

2019-2020 : LES FONDATIONS

La fouille de la gare est soutenue par des parois moulées de 1,02 m d'épaisseur et de 26 à 29 m de profondeur, ancrées dans les calcaires de Champigny.

À l'intérieur, les fondations consistent en 62 pieux de 1,40 m de diamètre sur 31 à 33 m de long et en des barrettes de 1,02 m d'épaisseur en partie centrale (sous le pont-cadre). À l'extérieur des parois moulées, 50 pieux de 1 m de diamètre sur 26 à 28 m de long, viennent soutenir les locaux techniques.

Suite à la révision complète du phasage des travaux, toutes les parois moulées et les pieux des parties Sud et Nord ont été forés depuis des plateformes abaissées par rapport au terrain naturel : au sud, la plateforme de travail est à la cote 89,20 NGF (soit 7,30 m sous le TN), au nord à 91,60 NGF (5,00 m sous le TN). Ces plateformes basses (figure 8) ont nécessité d'importants travaux préparatoires : soutènements provisoires, rampes d'accès, dalles en béton renforcées sur l'ensemble des aires de travail, de stockage et des accès, système de drainage spécifique..., mais elles ont permis d'éviter de nombreux allers/retours des équipes et des matériels. ▷

**2019-2021 :
LA STRUCTURE PROVISOIRE**

Lors du terrassement de la boîte gare jusqu'au radier situé entre 70,75 NGF IGN69 et 72,65 NGF IGN69, deux lits de butons, de 1,80 m de diamètre sur 36 à 42 m de long viendront s'appuyer sur des liernes en béton armé. Afin d'optimiser le planning, des éléments de la structure définitive de l'ouvrage ont été intégrés dans la phase provisoire dès que cela était possible (figure 9).

**2021-2022 :
LA STRUCTURE DÉFINITIVE**

À partir de juin 2021 débutera la phase de génie civil à la remontée, avec la réalisation du radier de la Ligne 16, de la Ligne 15 et le patio bas supérieur à la Ligne 15.

**2022-2023 :
LES QUAIS**

La dernière étape de la partie enterrée de la gare consistera à réaliser les quais, alors que l'assemblage et le montage du dôme auront commencé.

LES PARTICULARITÉS DE L'OUVRAGE ET LEURS IMPACTS SUR LES MÉTHODES

UN PONT ET DES GRUES INTÉGRÉS DANS L'OUVRAGE

Les voies du RER A et les quais de la gare de Noisy-Champs reposent sur un



6 © SYSTRA

ouvrage cadre en béton armé de 40 m de long s'appuyant sur des pieux, situés à l'extérieur de la boîte gare. La circulation des trains est maintenue durant toute la période des travaux.

Les travaux de parois moulées sous cet ouvrage sont réalisés avec un tirant d'air à respecter d'au moins 6,50 m pour le forage en gabarit réduit. Pour dégager le gabarit nécessaire, il a été imaginé un système de soutènements provisoires. Dans un premier temps, un talus recouvert de béton projeté nous amène à 3,50 m sous l'ouvrage. Ensuite, une paroi berlinoise en micro-

6- Mise en œuvre de blocs de polystyrène sous radier.

7- Coupe longitudinale de la gare en phase travaux.

6- Placing polystyrene blocks under the raft.

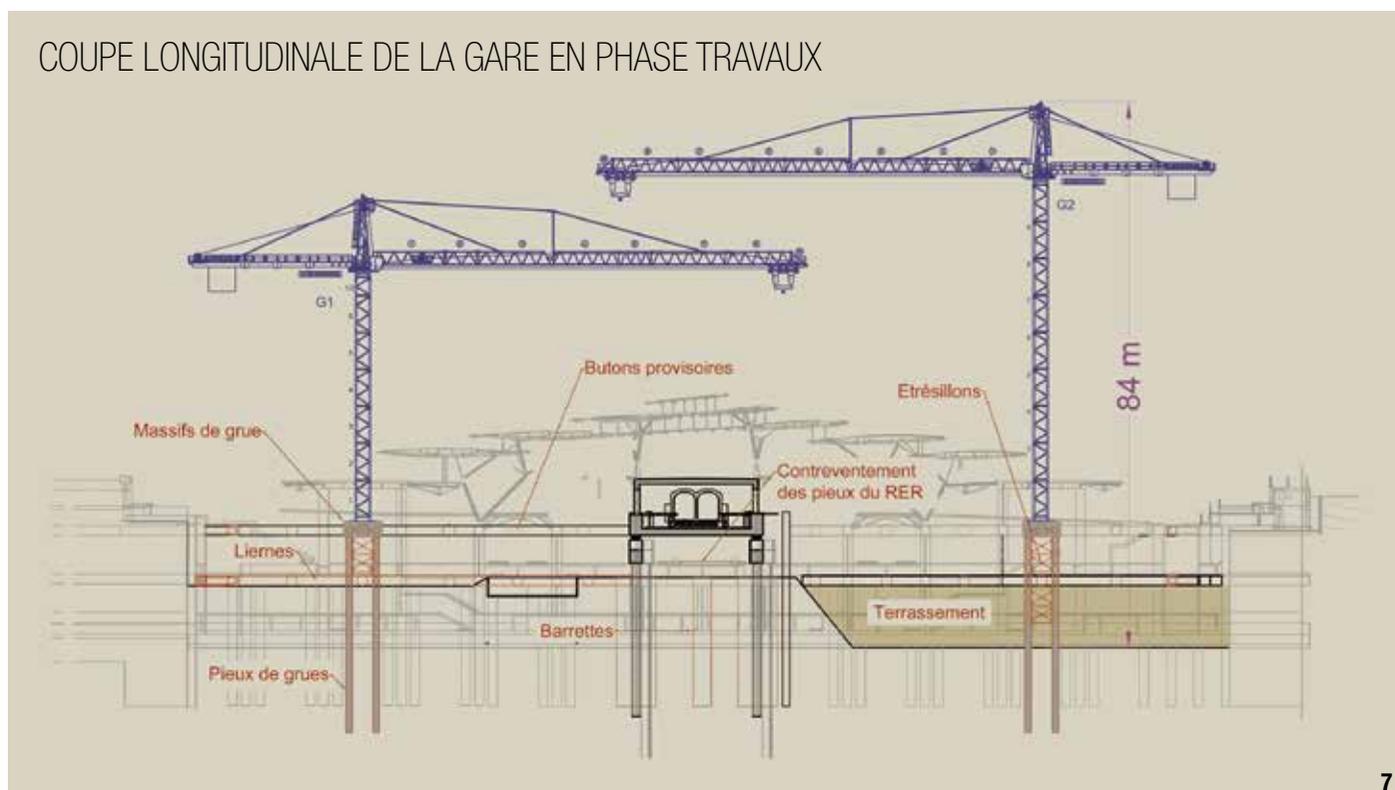
7- Longitudinal section of the station in works phase.

pieux est mise en place avec deux lits de tirants (figure 1), ce qui permet de terrasser 4 m plus bas, au niveau de réalisation des parois de la future gare. Du côté Ouest de la gare, les appuis de l'ouvrage cadre sont bloqués longitudinalement. Ils renvoient des efforts horizontaux de l'ordre de 260 t par appui, générés par les effets de la température et du freinage ou de l'accélération des trains. Pour reprendre ces efforts importants et éviter des déplacements excessifs de l'ouvrage en phase de forage des parois, il a été décidé de créer une poutre de renfort retenue par quatre tirants et scellée dans les chevêtres du pont (figure 10).

Un calcul aux éléments finis sous le logiciel Plaxis a été réalisé en complément des modèles élasto-plastiques classiques afin d'évaluer les tassements attendus sous les voies du RER. Enfin, l'ensemble du système décrit ci-dessus est ausculté finement à l'aide d'une multitude de capteurs qui complètent ceux déjà présents sur l'ouvrage cadre :

- 4 cibles topographiques par talus ;
- 2 inclinomètres et 7 cibles par lit de tirant de micro berlinoise ;
- 4 cellules de charges pour les tirants de micro berlinoise soit 2 par lit ;
- 4 cellules de charge pour les tirants de la poutre de renfort soit une par tirant.

COUPE LONGITUDINALE DE LA GARE EN PHASE TRAVAUX





8

© ONE SHOT PHOTOS

Ensuite, lors du terrassement jusqu'au niveau le plus bas de la gare, les pieux des appuis centraux provisoires du pont seront contreventés. Une charpente métallique devra être mise en place à la descente pour assurer la stabilité des pieux et de l'ouvrage en fonctionnement.

Enfin, la dernière étape consistera en la mise sur appuis définitifs de l'ouvrage. Le transfert de charge s'effectuera à l'aide de vérins capables de soulever, de quelques millimètres l'ouvrage de 7 000 t. Lors de cette phase, la circulation du RER sera interrompue.

Les appuis seront vérinés simultanément afin que l'ouvrage repose en définitif sur les quatre poteaux toute hauteur de la gare qui le soutiendront. Après cette opération, les appuis centraux provisoires pourront être démolis.

DES GRUES SUR PILOTIS

Les grues à tour sont des modèles Liebherr ECH 1000 avec une capacité de levage de 16 t à 60 m de portée. Ces grues sont généralement utilisées pour approvisionner les vousoirs de tunnel dans les puits d'accès. Sur le chantier de la gare de Noisy-Champs, elles seront actives dès les travaux de génie civil jusqu'au montage du dôme. Les fondations de ces grues à tour sont constituées d'un massif de 6 m par 6 m et 2,50 m de hauteur qui repose sur quatre pieux de 1 m de diamètre. Les pieux sont stabilisés par des croix de contreventement sur toute la hauteur vue de la gare. Les massifs

8- Réalisation des fondations sur la partie Sud.

9- Photo gare zone Sud en travaux.

8- Execution of foundations on the South section.

9- Photo of the southern station area during works.

sont quant à eux contreventés par des butons appuyés sur les parois moulées de la gare.

Afin de vérifier la stabilité des fondations au second ordre (phénomène

de flambement) le bureau d'études a effectué trois approches de calcul différentes :

- Un calcul en assimilant les quatre pieux à un élément unique dont l'inertie est égale à la somme des inerties des quatre pieux ramenée au centre de gravité du massif ;
- Un calcul en considérant le pieu le plus chargé non contreventé jusqu'au fond de fouille ;
- Un calcul aux éléments finis en 2D de deux pieux liaisonnés.

UN DÔME ÉNIGMATIQUE POUR UNE GARE EMBLÉMATIQUE

La future gare de Noisy-Champs est surplombée d'un dôme, constitué d'une toiture en double hélice elliptique de

101 x 62 m en plan, et de 21 m de hauteur.

La structure des spires de la toiture est composée de traverses en bois lamellé collé rayonnantes supportant un complexe de chevrons, voliges, zinc à joints debout ou membrane d'étanchéité bitumeuse autoprotégée, selon les zones. Les traverses sont cintrées. Leur longueur varie de 2 m à 18 m. Elles sont renforcées par des tirants métalliques en extrados.

La structure porteuse des 2 hélices repose sur 2 poutres métalliques en forme de I qui sont reliées entre elles par des entretoises et des diagonales en extrados et en intrados. L'ensemble forme structurellement un caisson capable de reprendre les moments de torsion dus à la courbure en plan de la poutre.

Les 2 hélices se chevauchent entre elles et se rejoignent en partie haute en une structure de couronnement se terminant par un mât où est logé le paratonnerre. Une façade vitrée ferme l'espace entre les 2 hélices.

Une troisième poutre métallique, non structurelle, suit la rive intérieure des spires et sert de support à la façade vitrée. Les spires sont reliées verticalement entre elles par des montants articulés en acier, à l'aplomb de chacune des traverses. Structurellement, les montants servent à répartir les charges verticales entre les deux spires. Les spires sont reliées horizontalement entre elles par des butons inclinés intégrés aux poteaux arborescents.



9

© GROUPEMENT CAP

10- Coupe sous l'ouvrage cadre du RER A.

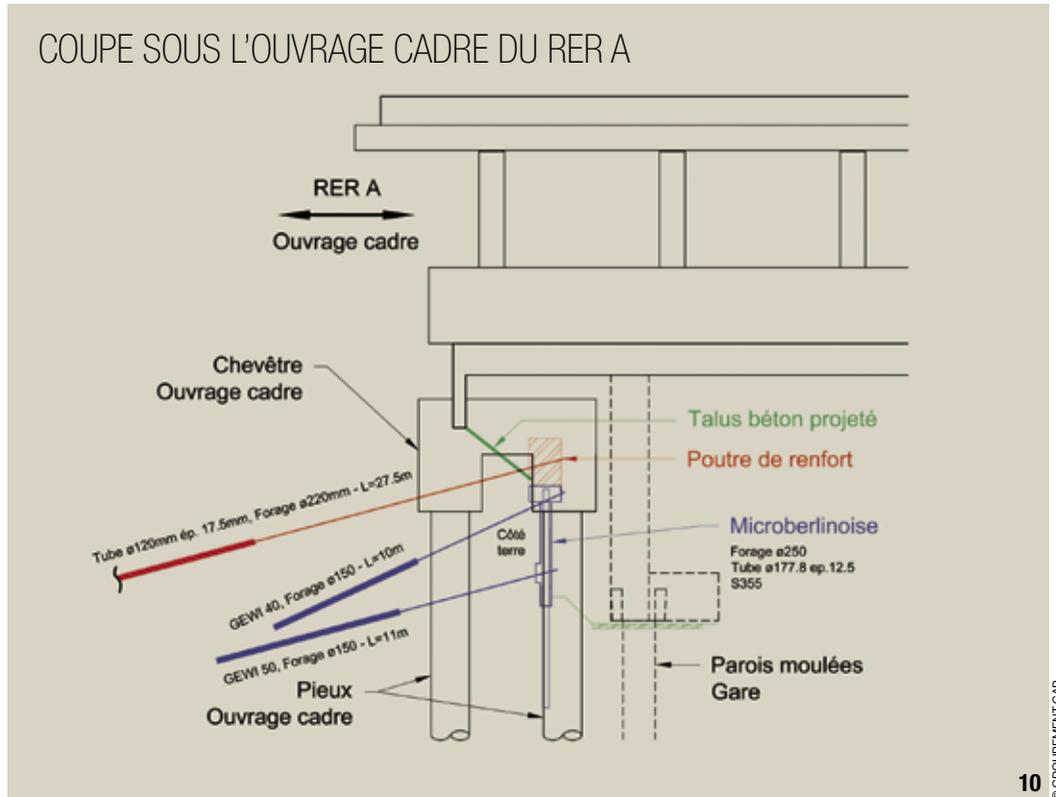
11- Gare de Noisy-Champs – Charpente / Appuis de couverture / Principes structurels / Axonométrie.

10- Cross section under the RER A frame structure.

11- Noisy-Champs Station – Structure / Roofing supports / Structural techniques / Axonometry.

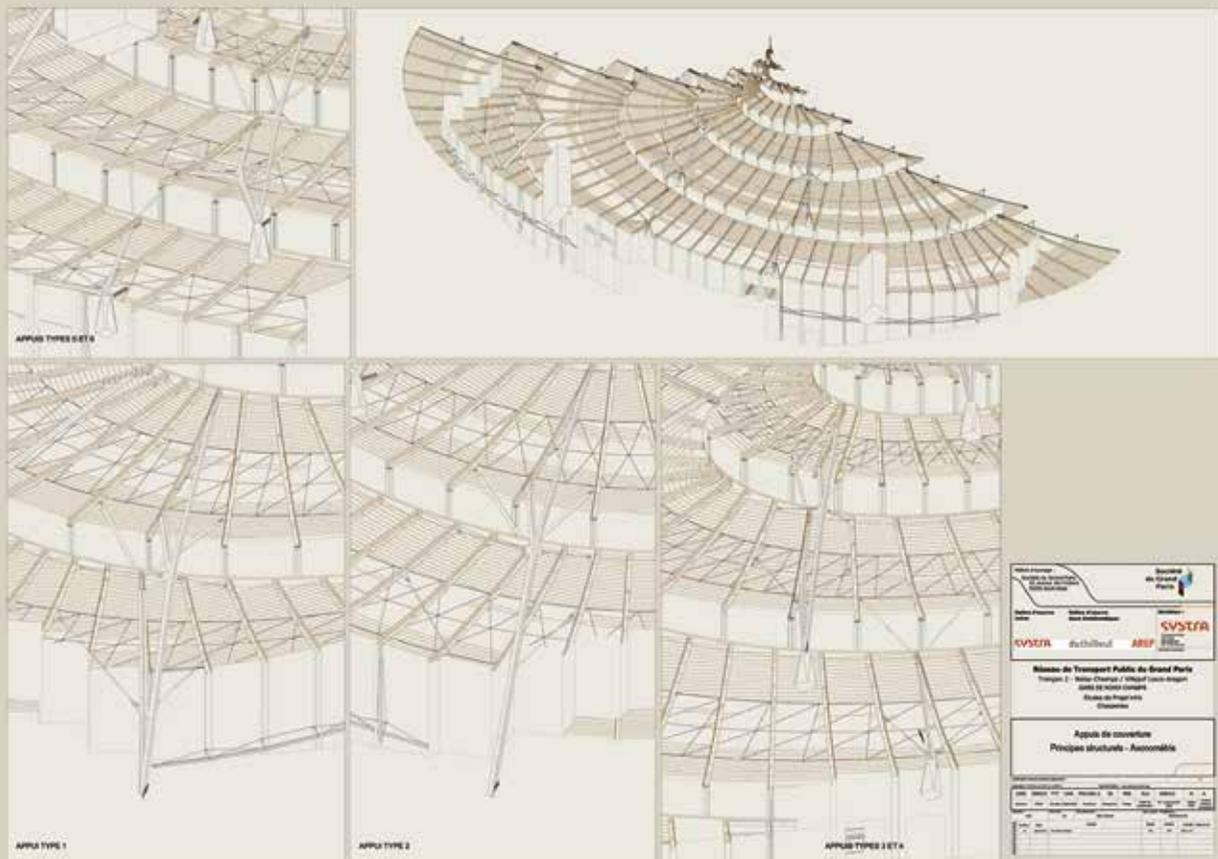
Ces connexions horizontales assurent une cohésion entre les 2 spires qui forment ainsi un dôme monolithique (figure 11).

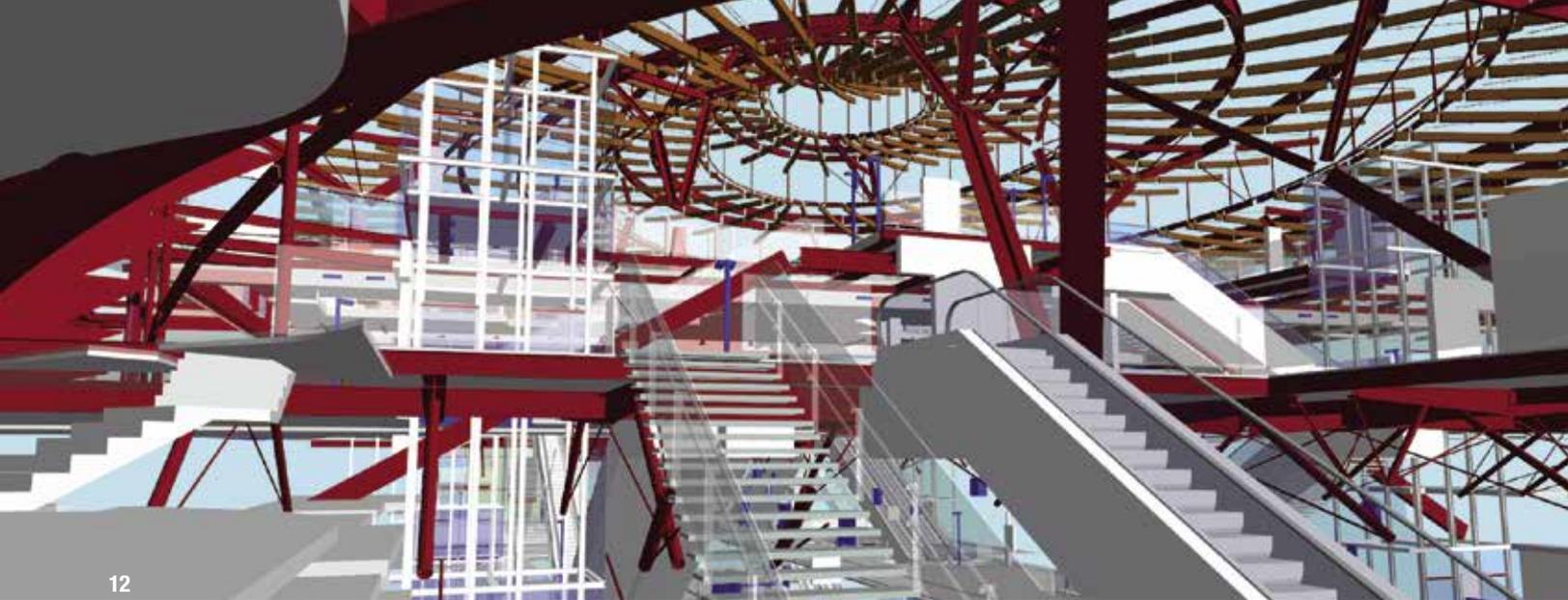
La toiture est portée par 12 poteaux arborescents encastrés dans des socles en béton, dont 8 reposent sur la dalle de couverture du RER A. À partir de leur



GARE DE NOISY-CHAMPS

Charpente - Appuis de couverture - Principes structurels - Axonométrie





12

© GROUPEMENT CAP

ancrage, 2 branches en "V" s'élèvent et se redivisent en 2, toujours en "V" pour rejoindre la traverse en bois de la toiture. Une branche s'assemble au droit de la poutre longitudinale extérieure et l'autre branche est assemblée au droit de la façade. La section des branches est composée d'un plat métallique donnant la forme du "V" renforcé par 2 plats.

« En arrivant dans la gare les voyageurs n'apercevront que les 12 poteaux en forme d'arbre et une partie des poutres en acier, ce qui pourrait soulever cer-

taines questions concernant la stabilité de la toiture, notamment des élèves de l'ENPC voisins de l'ouvrage, mais le mystère est vite résolu puisqu'en sortant de la gare l'ensemble des structures métalliques apparaît ! » (figure 12).

Point 0 du démarrage des travaux, la validation du prototype, de 8 m de large sur 20 m de long et 8 m de haut, par l'architecte Duthilleul.

Les études s'achèveront au 1^{er} semestre 2021 et la fabrication des différentes pièces sera réalisée à partir de l'au-

12- Maquette BIM du dôme.

12- BIM model of the dome.

tionnel de 12 mois pour le montage du dôme et des façades, l'implantation des zones d'assemblage des charpentes en acier et bois doit être étudiée et définie dans les moindres détails pour être desservies par les 2 imposantes grues à tour du chantier.

En raison de la géométrie de l'ouvrage, celui-ci est entièrement modélisé en 3D et le plan de fabrication de chacune des pièces élémentaires (acier, bois, verre) est tiré directement du modèle 3D, ce qui rend chaque pièce pratiquement unique. À cela s'ajoute, l'utilisation de 3 matériaux (métal, bois, verre) qui ne se comportent pas de la même manière, vis-à-vis des dilatations thermiques, mais qui durant la vie de l'ouvrage devront "travailler" ensemble. □

tomne 2021 jusqu'au printemps 2022. En mars 2022 démarreront les travaux de montage sur site des infrastructures (rampes, escaliers, passerelles...) puis viendra le montage du dôme et la pose de ses vitrages en 2023. Les phases de montage du dôme, et notamment des charpentes métalliques et en bois, seront caractérisées par des périodes de forte co-activité avec le génie-civil et/ou les travaux d'aménagement. Afin de respecter un planning prévi-

PRINCIPALES QUANTITÉS

VOLUME BÉTON PAROIS MOULÉE + PIEUX : 21 000 m³

MASSE ARMATURES FONDATION : 1 660 t

NOMBRE DE PIEUX Ø 1200/1 400 mm : 132 unités

LINÉAIRE DE PAROI MOULÉE : 500 m

SURFACE PAROIS MOULÉE : 13 675 m²

POTEAUX MÉTALLIQUES EN FORME D'ARBRE : 12 unités

SURFACE DE LA COUVERTURE : 6 000 m²

CHÉNEAU : 850 m

MASSE DE CHARPENTE MÉTALLIQUE : 1 500 t

MASSE DE BOIS : 360 t

SURFACES VITRÉES : 2 200 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Société du Grand Paris

MAÎTRE D'ŒUVRE : Systra

ARCHITECTES : Duthilleul & Arep

GROUPEMENT CAP : Vinci Construction France, Dodin Campenon Bernard, Botte fondations, Vinci Construction Grands Projets, Spie Batignolles Génie Civil, Spie Batignolles Fondations

ABSTRACT

NOISY-CHAMPS STATION, TAKING UP THE CHALLENGE OF DIGGING LINES 15 AND 16 OF THE 'GRAND PARIS EXPRESS' PROJECT UNDER THE PLATFORMS OF RER A

FABRICE MICELI, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - JEAN-YVES HARDY, DODIN CAMPENON BERNARD - THIBAUT LE METTALLE, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - GINO IORI, DODIN CAMPENON BERNARD - ERWAN MOAL, SYSTRA

The Noisy-Champs Station box structure is a rectangle 156.3 metres long, passed through by a frame structure supporting the platforms of the RER A rapid transit line. Construction takes place in four sequences. The foundations, in 2019-2020: excavation retained by diaphragm walls 1.02m thick and 26 to 29 metres deep, anchored in the Champigny limestones. The temporary structure in 2019-2021: two layers of struts, 1.80m in diameter, over a length of 36 to 42 metres, supported by reinforced concrete lierne ribs. The permanent structure in 2021-2022: the invert for line 16 and line 15 and the low patio above line 15 will be executed with an upstand. The platforms and dome are for 2022-2023: assembly of metal and wooden roof structures in a double elliptical spiral, parallel to execution of the platforms. □

ESTACIÓN DE NOISY-CHAMPS, EL DESAFÍO DE PERFORAR LAS LÍNEAS 15 Y 16 DEL GRAND PARIS EXPRESS BAJO LOS ANDENES DEL RER A

FABRICE MICELI, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - JEAN-YVES HARDY, DODIN CAMPENON BERNARD - THIBAUT LE METTALLE, SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS - GINO IORI, DODIN CAMPENON BERNARD - ERWAN MOAL, SYSTRA

El recinto-estación de Noisy-Champs es un rectángulo de 156,3 m de longitud, atravesado por una construcción marco que sostiene los andenes de la línea A del ferrocarril regional (RER). La construcción consta de cuatro secuencias. Los cimientos, en 2019-2020: excavación sostenida por pantallas de hormigón de 1,02 m de espesor y de 26 a 29 m de profundidad, ancladas en la piedra caliza de Champigny. La estructura provisional, en 2019-2021: dos lechos de butones, de 1,80 m de diámetro por 36 a 42 m de longitud, se apoyan sobre nervaduras de hormigón armado. La estructura definitiva, en 2021-2022: la solera de las líneas 16 y 15 y el patio inferior situado sobre la línea 15 se realizarán en orden ascendente. Los andenes y la cúpula, en 2022-2023: ensamblaje de las estructuras metálicas y de madera del tejado en doble hélice elíptica, paralelamente a la realización de los andenes. □

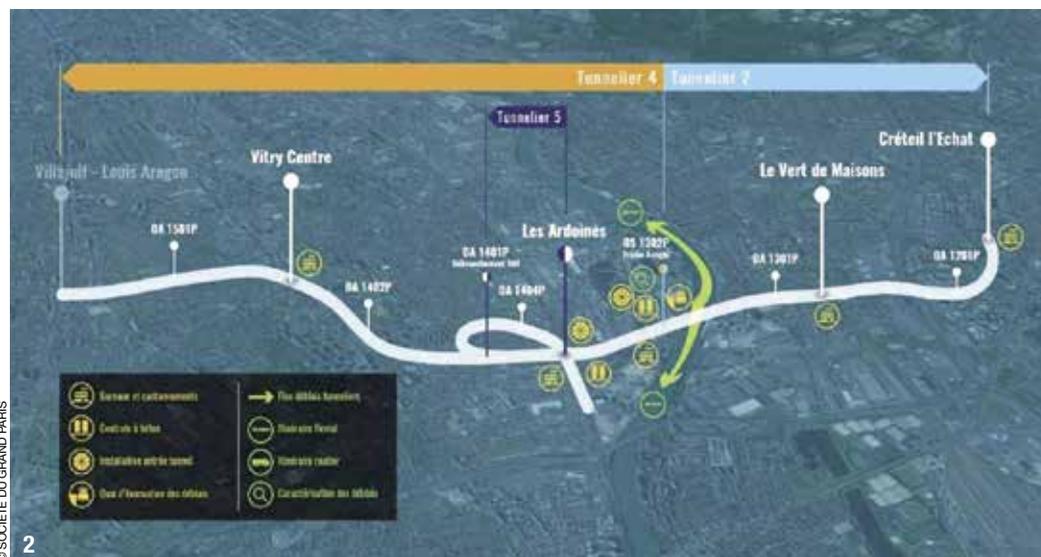


1 © GÉRIC HÉLÉSY

VITRY-CENTRE, UNE NOUVELLE GARE DE LA LIGNE 15 SUD EN PLEIN CŒUR DE VITRY-SUR-SEINE

AUTEURS : NICOLE BENZ-COLLANGE, INGÉNIEURE TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - PAULINE CANTO, INGÉNIEURE D'ÉTUDES, SOLETANCHE BACHY FRANCE - MARION LE BATARD, DIRECTRICE TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - GILLES PIAN, CHEF DE SERVICE TRAVAUX, BOUYGUES CONSTRUCTION FRANCE

À L'HEURE OÙ LE TUNNELIER ABY POURSUIT SON CHEMIN VERS LA GARE DE VILLEJUIF-LOUIS-ARAGON ET S'APPRÊTE À OPÉRER SON RIPAGE POUR TRAVERSER LA GARE DE VITRY-CENTRE, LES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL SONT EN COURS POUR CONSTRUIRE L'INFRASTRUCTURE DE LA STATION À L'ABRI DE L'ENCEINTE EN PAROIS MOULÉES SOUTENUE PAR 4 LITS DE BUTONS. REVENONS SUR LES TROIS PREMIÈRES ANNÉES DE CHANTIER DE CETTE GARE SITUÉE AU CŒUR DE LA VILLE DE VITRY-SUR-SEINE.



site de maintenance des infrastructures composé d'un tunnel, d'une tranchée couverte et d'une tranchée ouverte ;

- 5 ouvrages annexes d'interstations 1201P, 1301P, 1402P, 1404P, 1501P ;
- 1 puits d'entrée des deux tunnels : ouvrage spécial 1302P.

GARE DE VITRY-CENTRE

La gare de Vitry-Centre sera la 3^e gare présente sur la commune de Vitry-sur-Seine, après Les Ardoines et Vitry-sur-Seine, déjà existantes sur le tracé du RER C. Elle assurera la connexion de la Ligne 15 avec le futur tramway T9, dont les travaux sont concomitants à ceux de la gare. Elle est construite au centre de la ville, à deux pas de l'Hôtel de Ville, bordant le parc des Coteaux et la Médiathèque Nelson Mandela (figure 3).

DIMENSIONNEMENT CARACTÉRISTIQUES

La gare de Vitry-Centre présente une géométrie simple et se compose (figures 4, 5 et 6) :

- D'une boîte gare principale rectangulaire de dimensions intérieures 30 x 82 m ;
- D'une boîte secondaire de dimensions intérieures 15 x 25 m.

La paroi moulée comporte 41 panneaux d'épaisseur 1 m séparés par des joints waterstop, et 90 cages d'armature ferrillées sur 38,5 m.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET :

LOT T2A DU GRAND PARIS EXPRESS

Projet d'infrastructure et de transport majeur pour la région Île-de-France, le Grand Paris Express prévoit la mise en service de 200 km de nouvelles lignes de métro automatiques (dont 180 km en souterrain), avec, comme ambitions principales : désengorger le réseau RER existant, favoriser les échanges socio-économiques avec les communes périphériques, réduire le trafic automobile et limiter la pollution atmosphérique. Pour répondre à ces objectifs, il est prévu la construction de 68 nouvelles

1- Réalisation du génie civil de la boîte gare à l'abri de 4 lits de butons.

2- Vue générale du lot T2A de la Ligne 15 Sud.

1- Execution of civil engineering for the station box structure sheltered by 4 layers of struts.

2- General view of work section T2A on Line 15 South.

stations et de nombreuses interconnexions avec le réseau existant.

Le lot T2A de la Ligne 15 Sud, attribué par la Société du Grand Paris (SGP) au groupement d'entreprises Bouygues TP / Soletanche Bachy France / Soletanche Bachy Tunnels / Bessac / Sade réunis sous la bannière commune "Horizon", comporte (figure 2) :

- 6,6 km de tunnel au tunnelier ;
- 4 gares : Créteil-l'Échat, Le-Vert-de-Maisons, Les Ardoines et Vitry-Centre ;
- 1 ouvrage de débranchement pour les tunneliers : 1401P ;
- 1 raccordement entre l'ouvrage de débranchement 1401P et le futur



© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

3

Afin de faciliter le percement de la paroi moulée lors du passage du tunnelier, les cages situées au droit des 2 tympans de la gare disposent de barres en fibre de verre sur la hauteur de l'ouverture.

La traversée de la gare par le tunnelier s'effectue après terrassement de l'enceinte en parois moulées, à l'abri de deux bouchons injectés, en entrée et sortie de terre, de mêmes dimensions : 16 x 16 x 16 m. L'objectif de perméabilité visé pour ces étanchements est de 10^{-6} m/s (figure 7).

CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET MISE HORS D'EAU

La gare de Vitry-Centre traverse les horizons caractéristiques du bassin parisien, soit, en partant du terrain naturel à 52 NGF (figure 8) :

- Remblais sur 2,5 m d'épaisseur, éboulis/colluvions sur 2 m ;
- Alluvions anciennes sur 9 m ;
- Masses et Marnes du Gypse sur 13 m ;
- Marnes Infragypseuses sur 2 m ;
- Calcaire de Saint-Ouen sur 10 m ;
- Sables de Beauchamp sur 4 m ;

3- Implantation des avoisinants de la gare de Vitry-Centre.

4- Dimensions de l'ouvrage et plan de panneautage.

3- Location of structures adjacent to Vitry-Centre Station.

4- Dimensions of the structure and panelling plan.

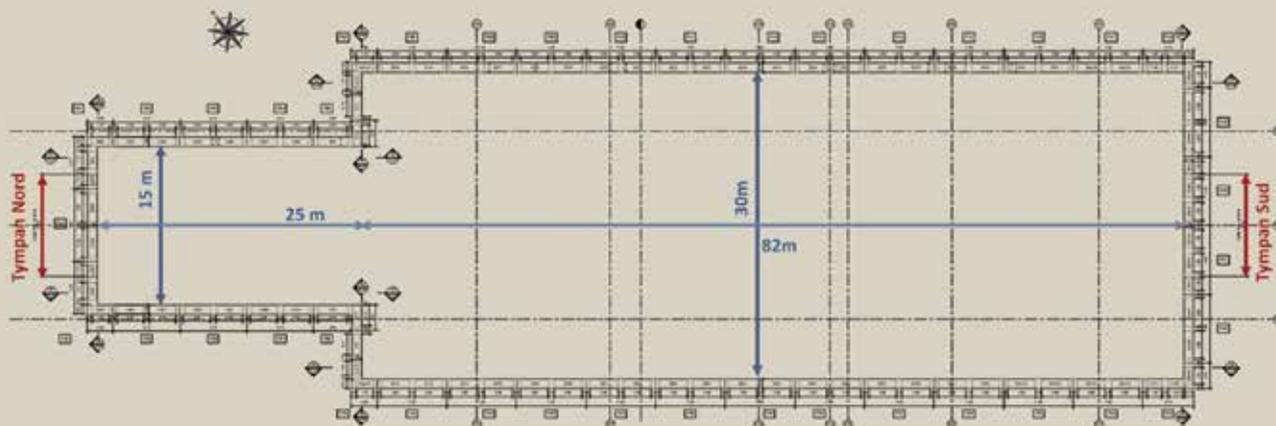
→ Marnes et Caillasses, couche dans laquelle est ancrée de 5 m la paroi moulée (base à 5 NGF).

Les aquifères rencontrés au droit du site sont :

- Nappe Alluviale vers 41 NGF ;
- Nappe des Masses et Marnes du Gypse à 37 NGF ;
- Nappe du Calcaire de St-Ouen à 31 NGF ;
- Nappe de Lutétien ~31 NG.

Le pompage est arrêté après la construction du radier courbe de la gare dimensionné pour résister aux

DIMENSIONS DE L'OUVRAGE ET PLAN DE PANNEAUTAGE



4

© SOLETANCHE BACHY

sous-pressions. La fiche mécanique des parois moulées est sollicitée en traction pour cette phase travaux provisoire.

En phase définitive, l'intégralité des planchers étant coulée, le poids propre des structures et de la paroi moulée compensent largement les sous-pressions d'eau.

La gare de Vitry-Centre a fait l'objet, lors de la phase de conception, d'optimisations fortes par le groupement Horizon, afin de simplifier les travaux de génie civil et de terrassement, et permettre le passage du tunnelier au plus vite dans la gare :

→ Il a été privilégié un phasage à ciel ouvert avec un butonnage provisoire

à la descente sur 4 niveaux au lieu d'un phasage en taube (avec 2 lits de butons provisoires complémentaires) ;

→ Les planchers sont réalisés sur étaie à la remontée après coulage du radier ;

→ La dalle de couverture est construite en dernier, ce qui a permis de sup-

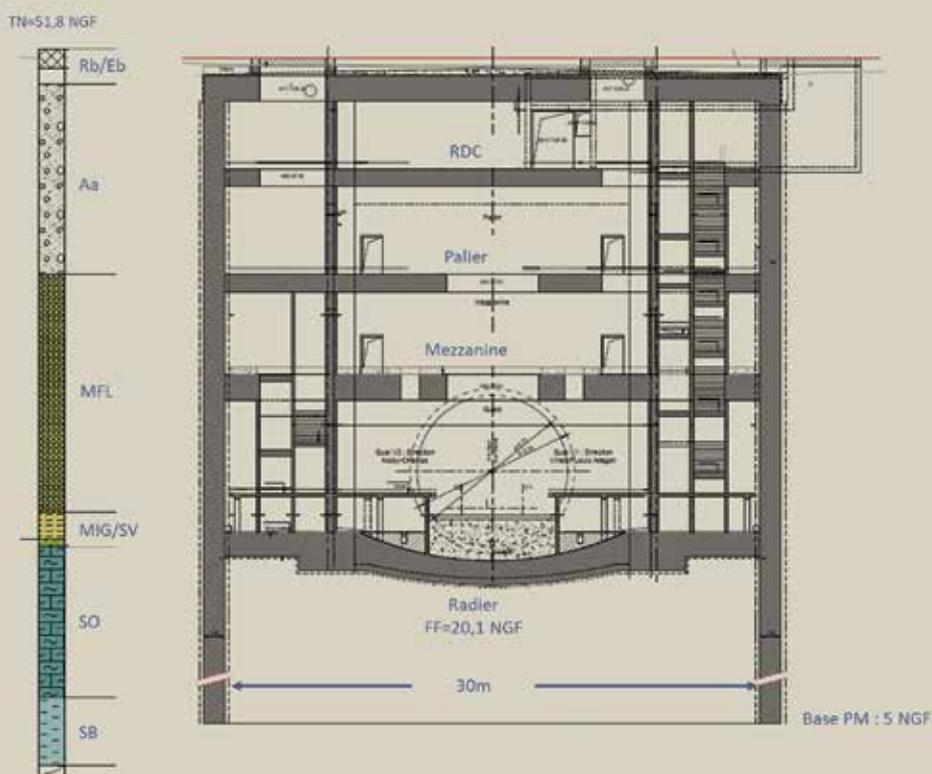
primer les 24 poteaux préfondés et les barrettes associées de la solution marché servant d'appuis à la dalle ;

→ L'épaisseur du radier courbe a été uniformisée à 1,35 m sur toute la fouille (au lieu d'une épaisseur variable de 1,35 à 2,20 m) ;

→ Enfin, l'épaisseur de la paroi moulée a été variée en 1 m au lieu de 1,2 m.

La stabilité horizontale de l'écran a été étudiée classiquement à l'aide de calculs d'interaction sol-structure 2D aux coefficients de réaction, grâce au logiciel interne Paris développé par Soletanche Bachy : 4 coupes de calcul mono-paroi et 3 coupes en modèle bi-paroi ont été nécessaires, afin de tenir compte des spécificités de phasage et de butonnage de la gare. Les ouvrages du lot T2A étant implantés dans des contextes urbains denses, la maîtrise des tassements en surface est un sujet majeur pour les travaux de paroi moulée. ▷

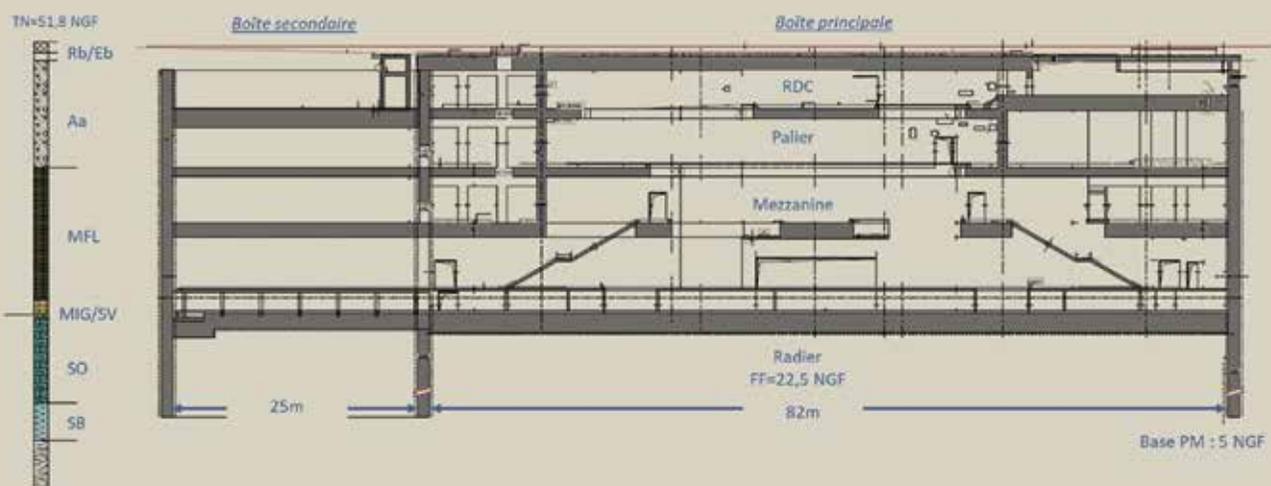
COUPE TRANSVERSALE DE L'OUVRAGE



5- Coupe transversale de l'ouvrage.

6- Cross section of the structure.
6- Longitudinal section of the structure.

COUPE LONGITUDINALE DE L'OUVRAGE



6

À ce titre, des seuils contractuels de tassement et de déformée limites sont définis en fonction de la sensibilité des avoisinants. Les déformées horizontales des parois moulées sont fixées à 15 mm en tête et 30 mm en ventre au droit des mitoyens sensibles, et 20 mm en tête et 40 mm en ventre en zone courante.

Pour la gare de Vitry-Centre, les enjeux portent en particulier sur la bibliothèque Nelson Mandela : l'une des parties du bâtiment est un hôtel particulier datant du XVIII^e siècle inscrit à l'inventaire des monuments historiques. Il est situé au

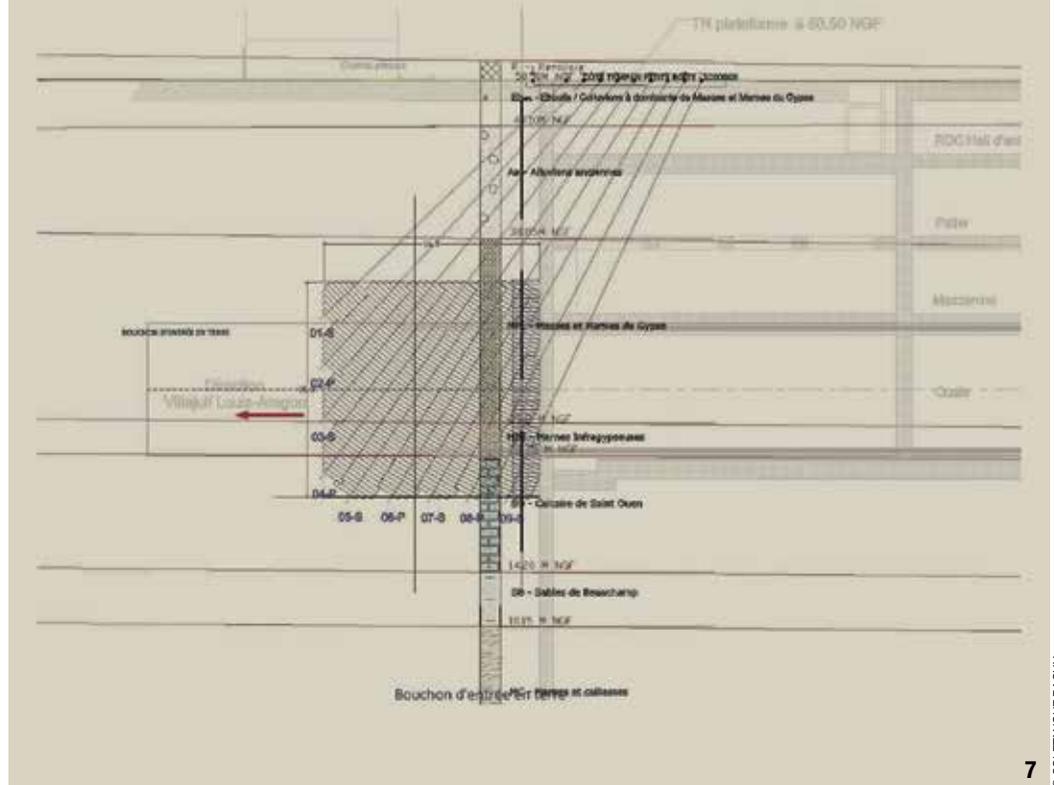
7- Bouchon injecté d'entrée en terre (plan de tirs).

8- Stratigraphie du site de la gare de Vitry-Centre.

7- Grout plug for adit (grout hole layout).

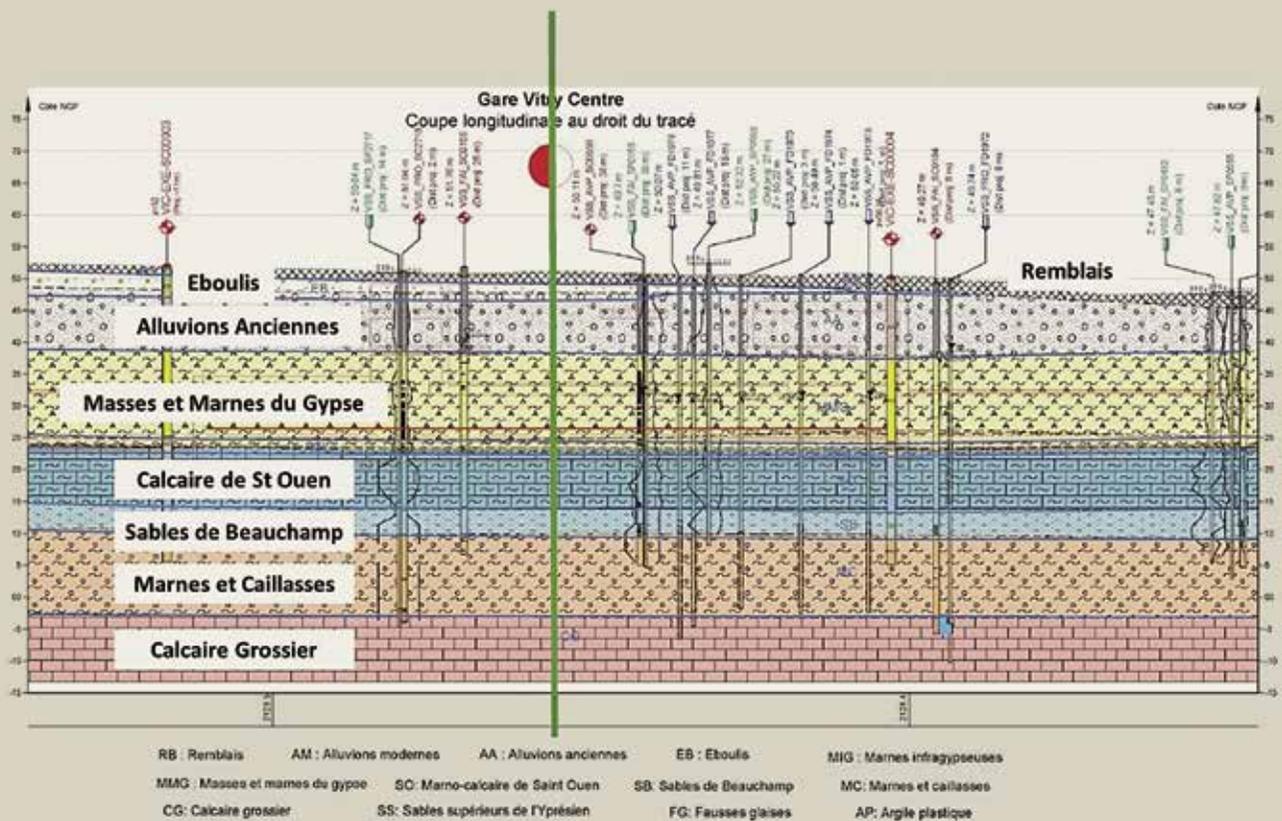
8- Stratigraphy of the site of Vitry-Centre Station.

BOUCHON INJECTÉ D'ENTRÉE EN TERRE
(plan de tirs)



7 © SOCIÉTÉ BACHY

STRATIGRAPHIE DU SITE DE LA GARE DE VITRY-CENTRE



8 © SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS



9- Travaux de pieux berlinois et injection du bouchon d'entrée en terre du tunnelier.

10- Vue du chantier de Vitry-Centre en phase de prétraitement et bouchons d'entrée et sortie de terre.

9- Berlin type piling work and grouting of the plug for the TBM adit.

10- View of the Vitry-Centre construction site in the pre-treatment phase and tunnel entry and exit plugs.

© CEDRIC HELSY
9

plus près 13 m derrière la paroi Sud de la gare. Les tassements absolus engendrés par les travaux de paroi moulée sont donc limités à 20 mm sous ce bâtiment réputé sensible.

Les tassements surfaciques à l'arrière de la paroi moulée ont été évalués par une méthode analytique simplifiée, la méthode Hamza [Bazin et Schmitt,

2001] dont la cuvette de tassement est estimée à partir de la déformée horizontale de la paroi moulée déduite des modèles d'interaction sol-structure 2D aux coefficients de réaction. Le tassement absolu théorique déduit par cette approche sous la bibliothèque Nelson Mandela est de 13 mm. Un calcul complémentaire aux élé-

ments finis a toutefois été demandé par le contrôleur externe Socotec. Un modèle 2D sous Plaxis avec une loi de comportement de type Hardening Soil Model, dont les paramètres ont été calés sur les coupes aux coefficients de réaction, a ainsi été réalisé, et a permis de valider cet ordre de grandeur (tassement absolu de 15 mm sous Plaxis).

EXÉCUTION DES TRAVAUX TRAVAUX PRÉPARATOIRES ET TRAVAUX SPÉCIAUX

Une première phase de travaux préparatoires a permis de niveler le site et de mettre en œuvre des soutènements en parois berlinoises pour la création de la plate-forme de travail au droit de l'ouvrage. Ainsi, 87 pieux pour 170 m d'écran de soutènement ont été réalisés durant l'hiver 2017 (figure 9).

En parallèle, la perforation pour les bouchons injectés d'entrée et sortie de terre du tunnelier a été menée avec la méthode Hi'Drill développée par Soletanche Bachy (vibrations de haute fréquence) en diamètre 114 mm. Cette technique permet de traverser les roches et les terrains sous nappe avec un rendement élevé et de limiter les déviations. Elle facilite également l'équipement des tubes à manchettes permettant de mettre en œuvre l'injection répétitive et sélective (IRS) nécessaire pour atteindre le critère de perméabilité requis de 10^{-6} m/s. Au total, 1710 m d'injection ont été réalisés.

Un dispositif d'instrumentation a été mis en place par Sixense pour monitorer la médiathèque Nelson Mandela en temps réel dès le démarrage des travaux de forage et d'injection du bouchon injecté de sortie de terre, situé à son aplomb. Cette surveillance a permis de piloter précisément les injections de manière à rester dans les 10 mm de déplacement admissible par le bâti.



© YVES CHANOIT
10



Des travaux de prétraitement des terrains sur le linéaire et la hauteur de la paroi moulée ont également été menés (figure 10). Ces injections gravitaires au coulis bentonite-ciment avaient pour but de pallier le risque de décompressions ou de vides de dissolution de gypse identifié lors des reconnaissances géotechniques. Ce dernier aurait pu conduire à des pertes de boues et des éboulements lors de l'excavation de la paroi moulée.

La paroi moulée a été réalisée entre mai et septembre 2018 (figure 11). Les terrains en tête (jusqu'à l'horizon des Marnes Infragypseuses) ont été excavés à la benne hydraulique KS, et les horizons suivants à l'Hydrofraise compacte.

Les cages d'armatures ont été fabriquées en usine en y intégrant des coupleurs de liaisons avec les futures dalles et le radier de l'ouvrage. Le bétonnage des panneaux (volume unitaire de l'ordre de 320 m³) a été mené avec un béton d'une rhéologie de 6 heures. Un recépage par aspiration a été réalisé directement après le bétonnage, afin de réduire les nuisances sonores lors des phases suivantes de génie civil, en particulier d'éviter l'utilisation du BRH à proximité directe des riverains de la résidence voisine. L'ensemble des équipements de réalisation de la paroi moulée a été recouvert de bâches acoustiques, y compris la centrale de traitement des boues afin de réduire le bruit généré.

La paroi moulée de Vitry-Centre fait l'objet d'un projet de recherche nécessitant l'équipement en instrumentation complémentaire de certains panneaux : fibres optiques horizontales et verticales, et capteurs de pressions totales dans les cages d'armatures.

TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL BUTONNAGE

Les travaux de génie civil ont pris le relais à la suite des opérations de travaux spéciaux. Après la descente de la gare réalisée par les équipes de terrassement, la mise en place des butons de soutènement est réalisée dès libération des zones. Quatre lits composent ce soutènement provisoire (figure 1).

- Le premier est constitué de 39 butons métalliques cylindriques et de 2 liernes en profilés métalliques pour un poids total de 263 t ;
- Le deuxième est constitué de 39 butons métalliques cylindriques et de 2 liernes en profilés métalliques pour un poids total de 287 t ;



11 © CEDRIC HELSY

- Le troisième est constitué de 39 butons métalliques cylindriques et de 18 liernes en profilés métalliques pour un poids total de 601 t ;
- Le quatrième est constitué de 37 butons métalliques cylindriques et de 20 liernes en profilés métalliques pour un poids total de 529 t.

11- Exécution des parois moulées de Vitry-Centre.

11- Execution of the Vitry-Centre diaphragm walls.

Les butons ont été en partie assemblés en surface avant leur descente à la grue.

Une fois le montage complété, le buton est fixé à la paroi. Le serrage des boulons est vérifié ensuite, ainsi que le matage des platines de contact avec la paroi. Des dalles de béton situées dans



© HORIZON
12

12- Vue des longrines et massifs.

12- View of longitudinal members and foundation blocks.

les angles rentrants de la boîte gare viennent compléter le dispositif.

Au fur et à mesure de l'avancement des travaux de remontée de gare, les lits 4, 2 et 1 peuvent être démontés, les structures GC reprenant les efforts. Le 3^e lit, quant à lui, reste en place. Il sera démonté en sous-cœuvre dès lors que la dalle de mezzanine sera complètement terminée. Cette dalle étant en interface avec l'emprise du tunnelier, sa partie centrale ne peut être réalisée tant que Aby est dans la gare.

TRAVAUX PRÉPARATOIRES AU TBM

En vue de l'arrivée du tunnelier Aby dans la gare de Vitry-Centre, des travaux préparatoires s'inscrivent dans le planning GC de remontée de gare ont eu lieu.

PRINCIPALES QUANTITÉS

PAROI MOULÉE

LINÉAIRE DE PAROI : 285 m

PROFONDEUR DE LA PAROI : 45,46 m

SURFACE EXCAVÉE : 12 957 m²

BÉTON : 13 565 m³

ARMATURES : 1 239 t d'acier et 17 t de fibre de verre

BUTONS ET GÉNIE CIVIL

BUTONNAGE : le soutènement est constitué de 196 butons et liernes répartis sur 4 lits, pour un tonnage total de 1 681 t

BÉTON : 22 000 m³

ARMATURES : 4 500 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Société du Grand Paris (SGP)

MAÎTRE D'ŒUVRE : Systra

ASSISTANT MAÎTRISE D'OUVRAGE : Artemis (groupement Arcadis ESG, Artelia)

CONTRÔLE TECHNIQUE (OCTA) : groupement Bureau Veritas / Apave

GROUPEMENT : Horizon Grand Paris (Bouygues Travaux Public, Soletanche Bachy France, Bessac, Soletanche Bachy Tunnels)

Les premières opérations ont consisté à réaliser deux ouvrages de tympans côté Sud et côté Nord.

Côté Sud, le tunnelier entre en gare : le tympan est un ouvrage de confortement de la paroi moulée permettant un débouchage en sécurité. Sa géométrie est un cadre de 30 cm d'épaisseur laissant en son centre un cercle de 10,17 m de diamètre.

Côté Nord, le tunnelier entre en terre pour continuer sa progression vers sa destination finale qu'est la gare de Villejuif Louis Aragon. Ce tympan, à la différence du Sud, est constitué d'une paroi béton équipée d'un joint métallique de 1,80 m d'épaisseur assurant l'étanchéité lors de la pénétration du bouclier dans le terrain.

Deux longrines de "ripape" 2 x 102 m, sont également réalisées pour permettre la traversée de gare du tunnelier (figure 12). Ces longrines ont été faites par plots de 12 m, et armées à 273 kg/m³.

Des massifs béton sont également réalisés afin de permettre d'accueillir le bâti métallique de réaction servant à reprendre les efforts de poussée du tunnelier lors de la reprise de creusement.

CONCLUSION

La gare de Vitry-Centre est un ouvrage majeur du projet T2A de la Ligne 15 Sud du Grand Paris Express. Une fois achevé le ripape du tunnelier Aby, les travaux de génie civil de finition de la gare seront réalisés avant de replier le chantier fin 2021. L'achèvement prochain de cet ouvrage est une belle réussite du groupement Horizon, d'une part en termes de sécurité, de réalisation technique, mais d'autre part aussi de respect des délais. □

ABSTRACT

VITRY-CENTRE, A NEW STATION ON LINE 15 SOUTH RIGHT IN THE HEART OF VITRY-SUR-SEINE

NICOLE BENZ-COLLANGE, SOLETANCHE BACHY FRANCE - PAULINE CANTO, SOLETANCHE BACHY FRANCE - MARION LE BATARD, SOLETANCHE BACHY FRANCE - GILLES PIAN, BOUYGUES CONSTRUCTION FRANCE

Since 2017, the Horizon consortium has been active on the site of work section T2A of Line 15 South of the 'Grand Paris Express' metro project.

The Vitry-Centre Station, located near the town hall of Vitry-sur-Seine, will ultimately be merged with Coteaux park. It will connect Line 15 with the future tramway T9. The works must allow for the proximity of the Nelson Mandela Library, a building classified as sensitive to movements, and must take care to limit nuisances in a dense urban environment. The station consists of an enclosure in diaphragm walls retained in the temporary phase by 4 layers of struts for civil engineering work on the structure to enable the Aby TBM to pass through it. □

VITRY-CENTRE, UNA NUEVA ESTACIÓN DE LA LÍNEA 15 SUR EN PLENO CENTRO DE VITRY-SUR-SEINE

NICOLE BENZ-COLLANGE, SOLETANCHE BACHY FRANCE - PAULINE CANTO, SOLETANCHE BACHY FRANCE - MARION LE BATARD, SOLETANCHE BACHY FRANCE - GILLES PIAN, BOUYGUES CONSTRUCTION FRANCE

Desde 2017, el consorcio Horizon trabaja en la obra del lote T2A de la línea 15 Sur del Grand Paris Express.

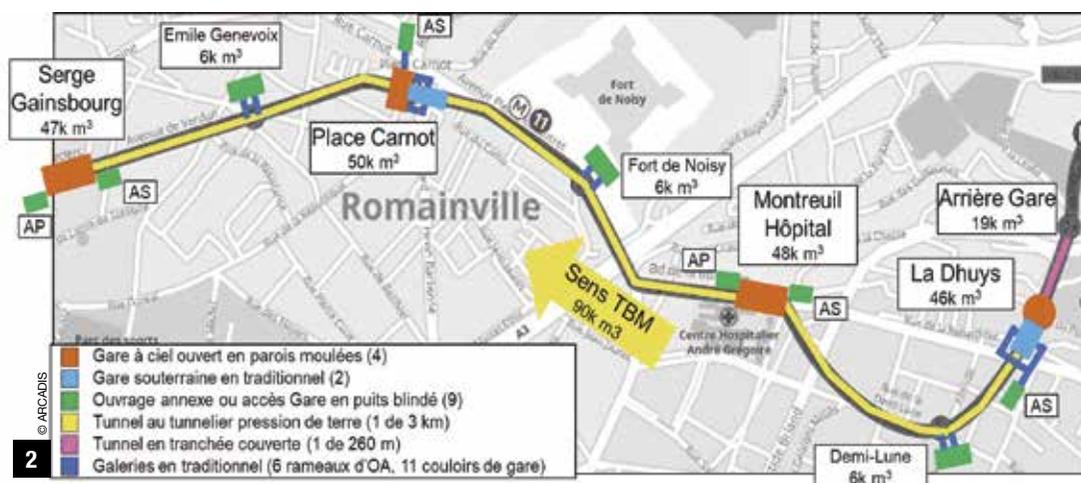
La estación de Vitry-Centre, situada cerca del ayuntamiento de Vitry-sur-Seine, acabará fundiéndose con el parque de los Coteaux y conectará la línea 15 con el futuro tranvía T9. Las obras deberán tener en cuenta la proximidad de la biblioteca Nelson Mandela, edificio clasificado como sensible a los desplazamientos, y minimizar las molestias en un contexto urbano denso. La estación está formada por un recinto de pantallas de hormigón, sostenido en fase provisional por cuatro lechos de butones para las obras de ingeniería civil de la construcción que permitirán que la atraviese la tuneladora Aby. □



PROLONGEMENT À L'EST DE LA LIGNE 11 À PARIS : STATION LA-DHUYIS

AUTEURS : GUILLAUME CHAMPAGNE DE LABRIOLLE, RESPONSABLE DES ÉTUDES REVÊTEMENT, ARCADIS - OUMAIMA SEDRATI, INGÉNIEUR MODÉLISATION & SOUTÈNEMENT, ARCADIS - FRÉDÉRIQUE GOUY, DIRECTRICE DE PROJET, NGE GC - PHILIPPE JUILLIEN, DIRECTEUR D'EXPLOITATION, DEMATHIEU-BARD - ELVIS THÉLIOU, DIRECTEUR TECHNIQUE, NGE GC

SITUÉE AU CŒUR D'UN VERSANT SUR UNE EMPRISE TRÈS CONTRAINTÉ, LA STATION LA-DHUYIS DU PROLONGEMENT DE LA LIGNE 11 CONSTITUE UN DÉFI TECHNIQUE PARTICULIER. EN EFFET, C'EST À PARTIR DE CET OUVRAGE COMPLEXE QUI COMPREND UN PUIS CIRCULAIRE DE 35 m DE DIAMÈTRE ET SURTOUT UNE PARTIE SOUTERRAINE RÉALISÉE EN MÉTHODE CONVENTIONNELLE DE SECTION SUPÉRIEURE À 200 m², AVEC UNE COUVERTURE ÉGALE À SA HAUTEUR, QUE LE TUNNELIER VA LANCER SA COURSE DE 3 km.



CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Lors des campagnes géotechniques, de nombreuses anomalies géotechniques ont été décelées sans pouvoir nécessairement en caractériser l'origine. Ceci n'était néanmoins pas surprenant car les zones de versant sont naturellement plus sujettes à des phénomènes d'altération et de comportement hétérogènes par rapport aux autres ouvrages du GC01 situés sur le plateau.

Le contexte géologique est caractérisé schématiquement par la succession suivante (de haut en bas sur la figure 4) :

→ **Remblais** : les remblais ont été observés au droit de la station de La-Dhuyis. La nature et la composition de cette couche sont hétérogènes. Leur épaisseur est de l'ordre de 1 à 3 m environ.

→ **Colluvions** : les Colluvions sont présentes sur tout le versant jusqu'à sa base. Elles sont issues du fluage et du remaniement des horizons existants (Argiles Vertes, Marnes de Pantin et Marnes d'Argenteuil). Elles sont essentiellement de nature argileuse avec des passages d'argile sablo-limoneuse et des blocs marneux. Leur épaisseur est très variable selon leur position sur le versant.

→ **Argiles Vertes** : les Argiles Vertes sont une formation quasi-homogène constituée d'argiles de couleur vert-kaki à vert foncé. Elles sont situées immédiatement sous les formations superficielles (colluvions). ▷

Le lot GC01 (figure 2) comprend les ouvrages suivants :

- 4 gares en parois moulées de 30 à 40 m de long environ, dont 2 partiellement en souterrain de plus de 200 m² de section excavée, réalisées en méthode conventionnelle en section divisée ;
- 11 couloirs d'accès aux gares réalisés en méthode conventionnelle de 30 à 55 m² de section excavée, pour certains réalisés en section divisée ;
- 1 tunnel au tunnelier à pression de terre de 65 m² de section excavée ;
- 9 ouvrages annexes ou accès de gares en puits blindés parfois composés également de pieux jointifs ;
- 6 rameaux de connexion entre tunnel au tunnelier et ouvrages annexes réalisés en méthode conventionnelle ;

- 1- Culée supérieure et inférieure.
- 2- Prolongement de la Ligne 11 - lot GC01.

- 1- Upper and lower abutments.
- 2- Extension of Line 11 - work section GC01.

- 1 tunnel d'arrière gare en tranchée couverte de 40 m de longueur ;
- 1 tranchée couverte de 135 m de longueur.

La station La-Dhuyis (figure 3) se situe sur la bordure Est du plateau de Romainville, en tête du versant "La Boissière". Cette station est composée des ouvrages suivants :

- 1- Puits de 35 m de diamètre d'intrados, 26 m de profondeur, parois moulées de 1,20 m d'épaisseur.
- 2- Corps Principal de 212 m² de section excavée et 51 m de long - hauteur excavée de 13,10 m, largeur excavée de 16,25 m.
- 3- 6 couloirs souterrains et leurs inter-sections :
 - Couloir d'accès secondaire,
 - Galerie transversale,
 - 2 galeries latérales,
 - 2 galeries d'amorce.
- 4- Accès Secondaire en puits blindé.
- 5- Arrière-gare en tranchée couverte.
- 6- Tunnel en tranchée couverte.

3- Station La Dhuy.

4- Coupe géologique.

3- La-Dhuy Station.

4- Geological cross section.

Leur épaisseur varie selon leur position sur le versant et elles ont un caractère particulièrement gonflant.

→ **Marnes de Pantin** : Les Marnes de Pantin sont constituées d'horizons de marnes et de passages calcaires, pouvant contenir localement des cailloutis et blocs calcaires. Cette formation disparaît en arrière-gare au niveau du versant.

→ **Marnes d'Argenteuil** : les Marnes d'Argenteuil sont composées de marnes argileuses généralement de couleur bleuâtre entrecoupées de bancs de marnes plus calcaires, grisâtres à verdâtres en partie haute. Elles apparaissent plutôt hétérogènes. Cet aspect a pu être confirmé par la galerie d'essai réalisée au sein de cette formation. Des passages décomprimés ont été observés en partie supérieure, sur 8 m d'épaisseur environ, probablement en relation avec la présence du versant. Cette formation disparaît en arrière-gare au niveau du versant.

→ **Masses et Marnes du Gypse** : au droit de la station, les Masses et Marnes du Gypse sont différenciées entre les Masses et Marnes du Gypse altérées avec dissolution et les Masses et Marnes du Gypse saines. Elles sont hétérogènes, comprenant des passages avec du gypse saccharoïde, des passages marneux, des passages décomprimés et des passages avec des vides décimétriques à métriques. La nature décomprimée des Masses et Marnes du Gypse est probablement due aux écoulements hydrauliques induits par la présence du versant. Les Masses et Marnes du Gypse saines sont très compactes.

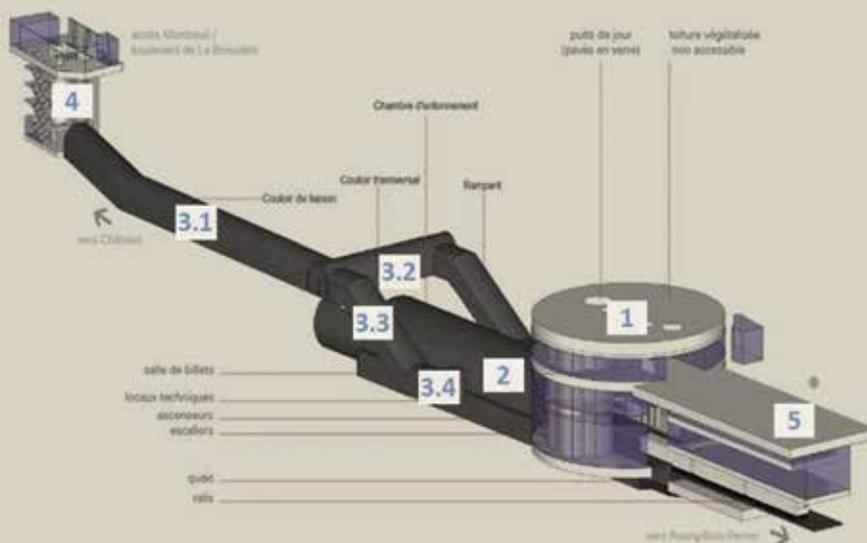
Les paramètres géotechniques retenus pour les études d'exécution sont données en figure 5.

CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

On distingue les formations aquifères suivantes sur le plateau :

→ Nappe du Calcaire de Brie et colluvions limitée à sa base par les Argiles Vertes ;

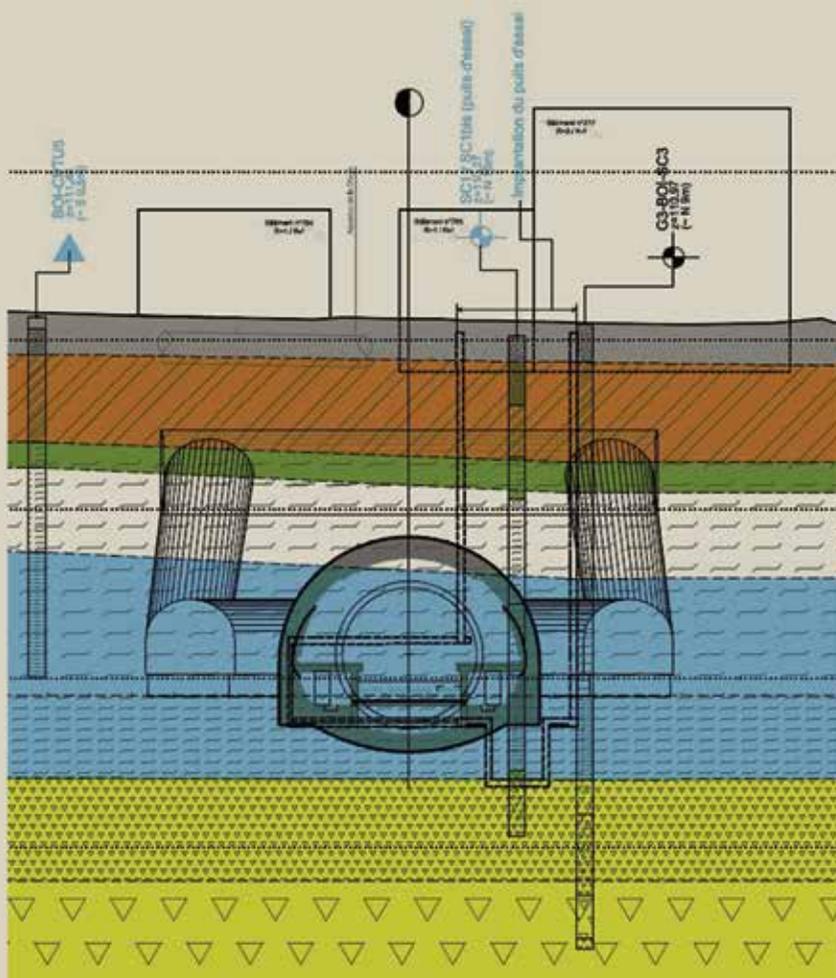
STATION LA DHUYS



3

© SYSTRA

COUPE GÉOLOGIQUE



4

© ARCADIS

PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES

Sol	Cote toit mNGF	γ kN/m ³	E_s MPa	μ_s MPa	c_u kPa	c' kPa	φ' °	K_0	α	E_{lim} kPa	σ_{lim} kPa	E_{lim} MPa	q_u kPa
Remblais	111.8	19	7	0.3	-	0	30	0.5	0.5	0	30	30	-
Colluvions	110.5	19.5	11	0.7	45	5	22	0.5	1	45	0	22	-
Argiles Vertes	106.0	19	14	0.9	100	25	17	0.95	1	100	0	28	260
Marnes de Pantin	102.5	19	27	1.8	160	20	30	0.6	0.66	160	0	120	-
Marnes d'Argenteuil supérieures	96.5	19	44	2.4	170	20	23	0.8	0.66	170	0	150	180
Marnes d'Argenteuil inférieures	89.5	18.5	37	2.3	210	40	20	0.7	0.66	210	0	150	180
Masses et Marnes de Gypse altérées et/ou avec dissolution	85.0	21	40	2.5	-	0	30	0.6	0.66	0	30	120	-
Masses et Marnes du Gypse saines	78.0	23	200	8.0	-	60	35	0.5	0.5	60	35	1200	-

© ARCADIS

5

5- Paramètres géotechniques. 6- Environnement de la station La Dhuys.

5- Geotechnical parameters. 6- Environment of La-Dhuys Station.

- Nappe des Marnes de Pantin limitée à sa base par les Marnes d'Argenteuil ;
- Nappe des Masses et Marnes du Gypse.

Ainsi, on a considéré, pour les profils de pression hydrostatique, que la pression redevient nulle en base des Argiles Vertes et des Marnes d'Argenteuil.

AVOISINANTS ET EMPRISES CHANTIER

La figure 6 illustre la position des avoisinants et les importantes contraintes sur les emprises de chantier, de taille limitée et étagées sur plusieurs niveaux afin de s'adapter à la topographie.

CONCEPTION DE LA STATION SOUTERRAINE

Tout en respectant les coûts et délais, la conception de la station souterraine est guidée par 2 axes majeurs :

- Garantir la sécurité des opérateurs ;
- Respecter les seuils de tassement.

La section courante de la station souterraine de La-Dhuys est excavée en méthode conventionnelle en sections divisées à partir du puits d'accès de



6
© RATP

35 m de diamètre. Cette méthode, associée à des pré-soutènements adéquats, permet d'assurer la sécurité des opérateurs et de maîtriser les tassements des avoisinants. Il a été nécessaire d'intercaler des phases de creusement/soutènement avec des phases de mise en œuvre de l'étanchéité, ainsi que des phases de revêtement définitif en béton armé afin d'apporter toute la rigidité nécessaire à l'ouvrage en cours de réalisation et garantir la stabilité générale. Ce type de phasage est néanmoins très contraignant. C'est pourquoi la géométrie du revêtement selon la conception du marché (figure 7) a été modifiée afin de faciliter la succession des tâches réalisées par des corps d'état différents. Plusieurs pistes ont été abordées lors des études d'exécution :

- Forme, largeur et hauteur des culées ;
 - Effet et prise en compte d'un pré-soutènement sous forme de voûte-parapluie et de boulons divergents ;
 - Nature du soutènement provisoire (cintres réticulés ou rigide), conception du boulonnage radial (type, densité et longueur) ;
 - Phasage de réalisation des différentes sections divisées, phasage de mise en place du soutènement provisoire et du bétonnage ;
 - Traitement des MMG altérées.
- L'objectif recherché était de réduire les tassements générés par un choix judicieux du phasage, du type de soutènement provisoire et de la géométrie des parties excavées. La solution retenue comprend les modifications suivantes (phasage visible figure 8) :

- Pour les galeries de culée supérieures (figure 9) :
 - Une réduction des dimensions des galeries, afin de diminuer le déconfinement des terrains et le tassement généré par ces excavations,
 - Une réhausse de ces galeries, afin de réduire l'ouverture de la voûte,
 - La réalisation de ces galeries en ogive pour limiter les tassements,
 - La mise en œuvre du boulonnage radial lors de la pose du soutènement,
 - La réduction de la longueur des boulons radiaux (8 m au lieu de 15 m),
 - Le maintien du soutènement de ces galeries lors de l'excavation de la voûte,
 - La mise en place de cintres lourds (HEB180 associés à des HEM160 dans les zones les plus sollicitées) au lieu de cintres réticulés.

7- Coupe type figurant dans le marché.

8- Phasage de réalisation.

7- Typical section appearing in the contract.

8- Work sequencing.

→ Pour les galeries de culées inférieures (figure 1) :

- La mise en place de boulons radiaux sub-horizontaux lors de l'excavation de ces galeries. Lors de l'excavation de la voûte, l'ensemble des boulons radiaux permet de former une auréole de terrain armé permettant d'aider à gommer les hétérogénéités locales.

→ La pose de l'étanchéité de la station souterraine est adaptée spécifiquement au phasage de réalisation, afin de permettre aux cintres de voûte de s'appuyer sur les piédroits sans poinçonner le dispositif d'étanchéité.

→ Pour la voûte (figure 10) :

- Le maintien du soutènement des galeries de culées supérieures lors de l'excavation de la voûte,

- Le soutènement de la voûte (HEB200 à 220 associé à un Bullflex de confinement et à du béton projeté) prend appui sur le revêtement des piédroits réalisé auparavant,

- La mise en œuvre d'un boulonnage radial lors de la pose du soutènement,

- Le bétonnage du revêtement de la voûte à l'avancement (découssé maximum de 6,4 m et bétonnage par plots de 2,4 m).

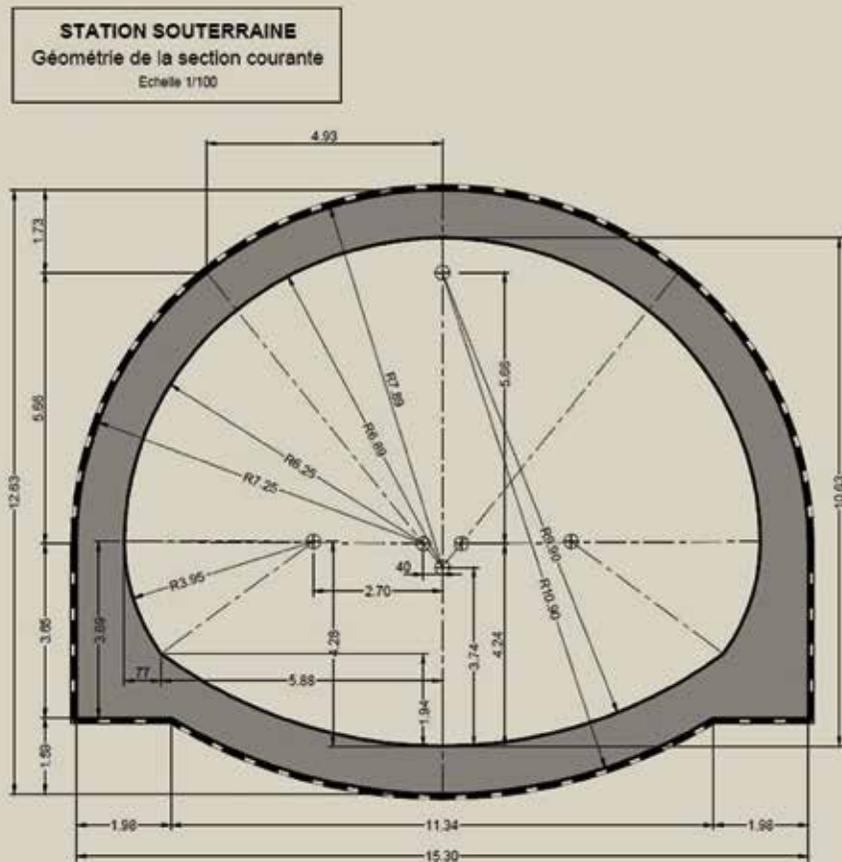
→ Pour le présoutènement :

- Le principe de boulonnage du front de taille avec au minimum 7 à 15 m de recouvrement selon la phase, associé à un béton projeté de sécurité minimal a été appliqué,
- Un boulonnage divergent de grande longueur a été installé au démarrage de l'excavation en méthode conventionnelle, ainsi qu'une voûte-parapluie pour sécuriser le démarrage du tunnelier.

→ Pour le revêtement définitif (figure 11) :

- Meilleure prise en compte du démarrage du tunnelier avec augmentation de l'épaisseur du radier à 1,50 m (reprise des efforts du bâti de poussée) et ajout d'une fosse pour l'étanchéité au démarrage,

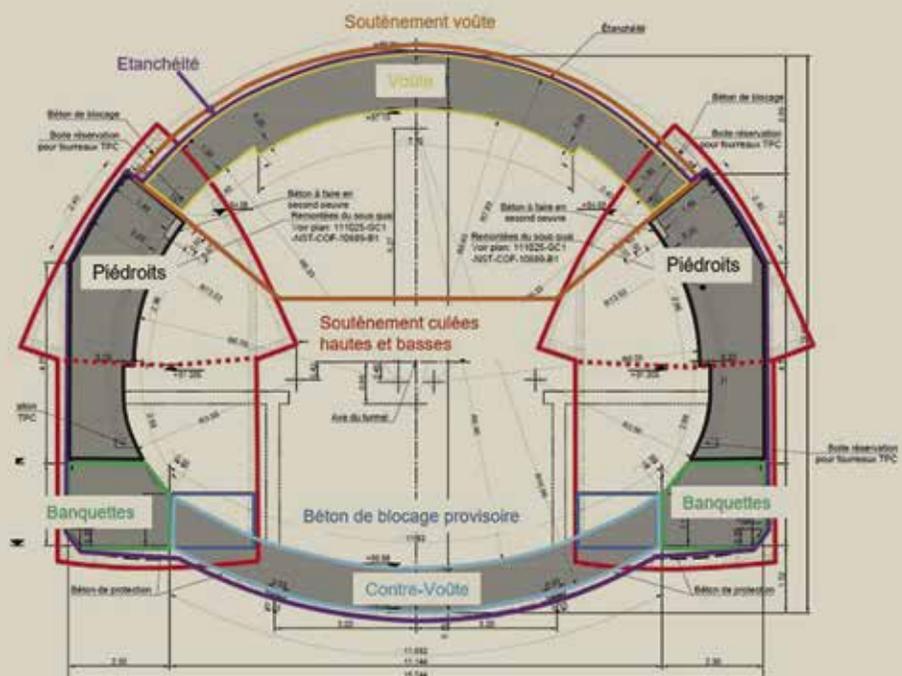
COUPE TYPE FIGURANT DANS LE MARCHÉ



7

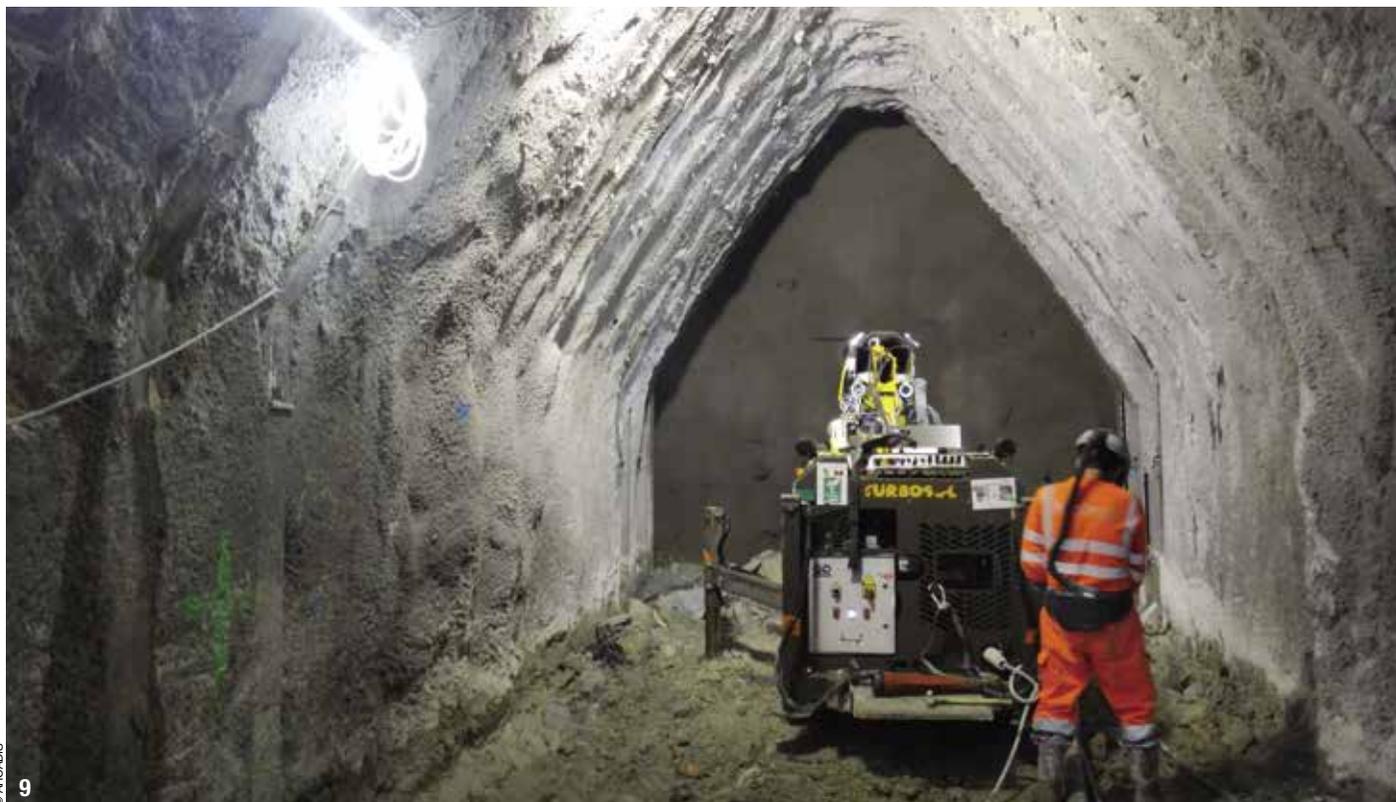
© SYSTRA

PHASAGE DE RÉALISATION



8

© ARCADIS



© ARCADIS
9

- Épaississement conséquent au-dessus des intersections avec les couloirs d'accès.

Après la réalisation de la station souterraine (appelée aussi corps principal), le tunnelier a été monté au fond du puits (figure 12) puis ripé contre le tympan (figure 13). Le montage de la virole porte-joint, du bâti de poussée et des premières remorques a permis au tunnelier de démarrer au mois de janvier 2020.

9- Culée supérieure.

10- Station après finalisation de la voûte.

9- Upper abutment.

10-Station after finalisation of the roof.

MODÉLISATION 3D ET ÉTUDE DE TASSEMENTS

La conception retenue est difficilement approchable par une modélisation 2D.

Outre la complexité évidente d'une modélisation en 2D d'un processus séquencé, s'ajoute la difficulté de traduire en 2D les différents croisements des galeries entre elles et avec le corps principal, l'interaction possible avec le phasage de réalisation des puits de

montage/démontage du tunnelier et la position relative des différents avoisinants avec les différentes parties de l'ouvrage.

Des modèles 3D en éléments finis ont été réalisés.

Les structures modélisées présentent une géométrie au plus proche des états existants et sont projetées en tenant compte des différents renforcements de terrains afin de reproduire un comportement le plus réaliste possible du massif au voisinage des bâtiments à la suite des travaux de la Ligne 11.

La modélisation effectuée comprend plusieurs types d'ouvrage de géométrie complexe et des phasages d'excavation complexes.

La réalisation d'un modèle unique pour modéliser l'ensemble du phasage décrit ci-dessus apparaît difficile du fait des problèmes liés à la taille du modèle, à la finesse du maillage, à la modélisation des pas d'excavation, ...

Il a été retenu de réaliser deux modélisations 3D qui s'imbriquent afin de faciliter l'étude :

→ Modélisation du corps principal de la station selon le phasage d'excavation en section divisée (ouvrages 1 et 2 présentés sur la figure 8) : cette modélisation a pour objectif d'étudier les déplacements et déformations liés à l'excavation du corps principal en section divisée. ▷



© RATP
10

→ Modélisation de l'ensemble des ouvrages (figure 14) avec un modèle simplifié pour le corps principal de la partie souterraine : la seconde modélisation a pour objectif d'étudier les déplacements et déformations induits par l'excavation des galeries, réalisées après le corps principal de la partie souterraine de la station.

Ces modélisations ont permis de justifier d'un point de vue théorique le respect des seuils de tassement et de définir des taux de déconfinement qui ont permis ensuite d'utiliser des modèles numériques 2D pour le dimensionnement de l'ensemble des soutènements, dans chacune des zones où la géométrie variait de manière significative.

11- Coupe longitudinale et vue en plan du revêtement.

12- Montage du tunnelier dans les puits.

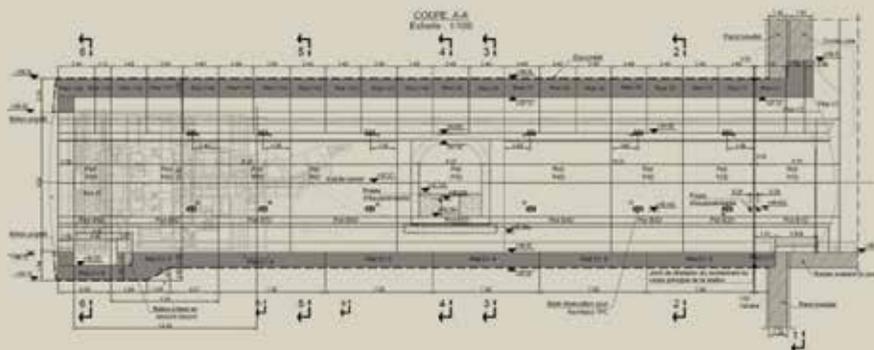
13- Tunnelier ripé au fond de la station souterraine.

11- Longitudinal section and plan view of the lining.

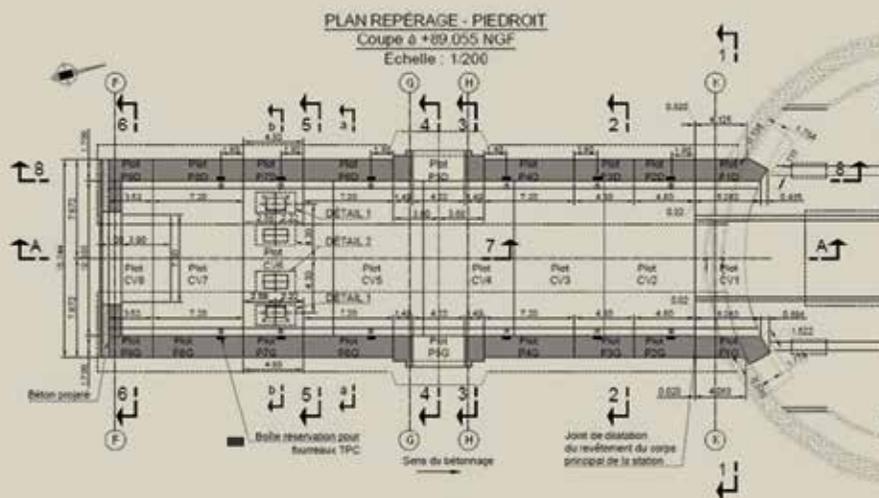
12- TBM assembly in the shaft.

13- TBM skidded to the bottom of the underground station.

COUPE LONGITUDINALE DU REVÊTEMENT



VUE EN PLAN DU REVÊTEMENT



11

© ARCADIS



12

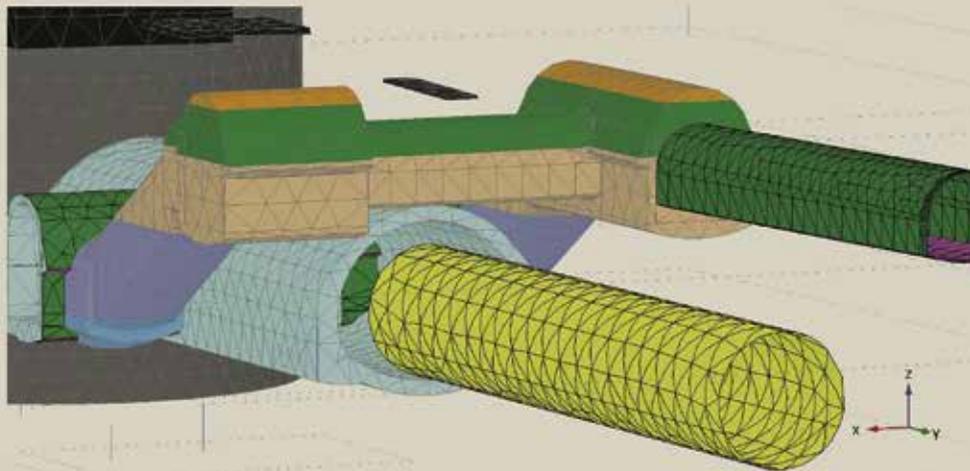
© ARCADIS



13

© ARCADIS

SECOND MODÈLE 3D MIS AU POINT



Connectivity plot			
Project description	Date	Project reference	Client name
L11_glob_Ri0.1_radierdis_0 ...	11/05/2017	70	ARCADIS ESG

- Démarrage du tunnelier en phase chantier,
- Cohabitation de multiples réservations pour les réseaux,
- Nombreuses reprises de bétonnage.

Les premiers travaux de la station Place-Carnot ont montré que sur le plateau de Romainville, contrairement au versant dans lequel est située la station La-Dhuys, la grande homogénéité de la stratigraphie permet un comportement bien plus favorable du massif. □

QUELQUES CHIFFRES

LONGUEUR : 51 m
VOLUME EXCAVÉ : 10 798 m³
CINTRES : 334 t
BOULONS ACIER : 3 582 m
BOULONS FDV : 5 753 m
BÉTON PROJETÉ : 1 700 m³ environ
ARMATURES ACIER : 442 t
BÉTON COULÉ : 3 172 m³
COÛT DES TRAVAUX : 270 M€ (ensemble du GC01)
DURÉE DES TRAVAUX : 80 mois

© ARCADIS

14

RETOUR D'EXPÉRIENCE

Le retour d'expérience a permis de préparer la réalisation de la seconde station souterraine du projet : la station Place-Carnot. Les travaux de la station La-Dhuys ont illustré :

- L'étonnante variabilité de la stratigraphie dans l'éboulis de pente du versant dont l'orientation et les niveaux ont sans cesse varié sur la longueur du corps principal (50 m), et d'une culée à l'autre, écartées de seulement quelques mètres.
- L'importance des pré-soutènements dans ce type de terrain afin de limiter le délitement de surface des diverses marnes.

- L'importance de la fermeture au plus tôt du soutènement en radier pour former une coque rigide s'opposant de manière globale aux déformations du terrain.
- La bonne adaptation de la géométrie des culées à la circulation des engins.
- La difficulté de concilier de manière simple l'ensemble des contraintes majeures appliquées au revêtement :
 - Aspect définitif à soigner dès le coulage pour le rendu dans la station,
 - Imbrication des phases de soutènement et d'étanchéité,

14- Second modèle 3D mis au point.

14- Second 3D model developed.

PRINCIPAUX INTERVENANTS SUR LE CORPS PRINCIPAL DE LA-DHUYS

MAÎTRE D'OUVRAGE : RATP
MAÎTRE D'ŒUVRE : Systra
ENTREPRISES : Groupement Alliance : Nge, Demathieu Bard, Implenla, Pizzarotti
ÉTUDES D'EXÉCUTION : Arcadis

ABSTRACT

EASTERN EXTENSION OF LINE 11 IN PARIS: LA-DHUYS STATION

GUILLAUME CHAMPAGNE DE LABRIOLLE, ARCADIS - OUMAIMA SEDRATI, ARCADIS - FRÉDÉRIQUE GOUY, NGE GC - PHILIPPE JUILLIEN, DEMATHIEU-BARD - ELVIS THÉLIOU, NGE GC

From Mairie-des-Lilas to Rosny-Bois-Perrier, the extension of line 11, for the contracting authority RATP, extends over 6 km. To make the Romainville plateau more accessible, it will therefore double its existing length. Work section GC01 comprises 4 stations, 3 accessory structures and a 3-km tunnel dug by TBM. The TBM is launched from La-Dhuys Station, which is peculiar in that it includes an underground part with a cross section of more than 200 m², executed by a conventional method in an extremely constrained environment, positioned on a slope with an overburden equal to its height. □

PROLONGACIÓN AL ESTE DE LA LÍNEA 11 EN PARÍS: ESTACIÓN DE LA-DHUYS

GUILLAUME CHAMPAGNE DE LABRIOLLE, ARCADIS - OUMAIMA SEDRATI, ARCADIS - FRÉDÉRIQUE GOUY, NGE GC - PHILIPPE JUILLIEN, DEMATHIEU-BARD - ELVIS THÉLIOU, NGE GC

Desde Mairie-des-Lilas hasta Rosny-Bois-Perrier, la prolongación de la línea 11, cuyo contratista es RATP, se extiende a lo largo de 6 km. Permitirá integrar la meseta de Romainville, duplicando así su trazado existente. El lote GC01 consta de 4 estaciones, 3 construcciones anexas y un túnel de 3 km realizado con perforadora. Este último se inicia desde la estación de La-Dhuys, que presenta la particularidad de disponer de una parte subterránea de sección superior a 200 m², realizada por el método convencional en un entorno extremadamente restrictivo, situada en una vertiente con una cobertura equivalente a su altura. □



1
© STÉPHANE CORDIER

LA GARE IGR À LA CROISÉE DES TUNNELIERS

AUTEURS : JEAN-CHRISTOPHE BOBINET, DIRECTEUR DE SITE, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - VINCENT LEFEVRE, RESPONSABLE TRAVAUX, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL - JEAN-FRANÇOIS OREFICI, DIRECTEUR TECHNIQUE, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - VINCENT RIGOUX, DIRECTEUR ADJOINT DE PROJET, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - ANTOINE RODRIGUEZ, COORDINATEUR ÉTUDES TRAVAUX, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

LA GARE DE VILLEJUIF-INSTITUT-GUSTAVE-ROUSSY, SITUÉE AU PIED DE L'HÔPITAL DU MÊME NOM, ACCUEILLERA EN 2025 L'INTERCONNEXION DE LA FUTURE LIGNE 15 SUD DU RÉSEAU DU GRAND PARIS EXPRESS (LOT T3C SOUS MAÎTRISE D'OUVRAGE SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS) ET LE PROLONGEMENT DE LA LIGNE 14 (LOT GC2 SOUS MAÎTRISE D'OUVRAGE RATP) MISE EN SERVICE POUR LES JO 2024. LA CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE A NÉCESSITÉ PLUSIEURS OPÉRATIONS COMME LE CREUSEMENT EN TRADITIONNEL DE 4 AMORCES, LA TRAVERSÉE DE 2 TUNNELIERS AU CŒUR DE LA GARE DONT L'UN SUR UN PONT-CADRE SITUÉ À 13 m AU-DESSUS DU RADIER ET LA RÉALISATION DE 10 NIVEAUX DE PLANCHERS.

Un article paru dans Travaux, numéro 949 de mars 2019, précise les premières phases de réalisation du fût de la gare : parois tirantées et pré-terrassement sur 8 à 10 m, parois moulées circulaires de 51 m de profondeur, terrassements, réalisation du contre-voile et coulage du radier. Ce nouvel article décrit les phases qui y succèdent.

CREUSEMENT DES AMORCES

Afin d'accueillir la totalité de la longueur des quais (110 m pour la Ligne 15 et 122 m pour la Ligne 14), les 63 m de diamètre du fût s'avéraient trop réduits. Des galeries de grande section ont donc été creusées en méthode traditionnelle depuis l'intérieur de la gare : amorces Est et Ouest depuis le fond de

fût pour la Ligne 15, et amorces Nord et Sud à 13 m au-dessus du fond pour la Ligne 14 (figure 2).

**1 - L'ensemble
du site vu du ciel.**

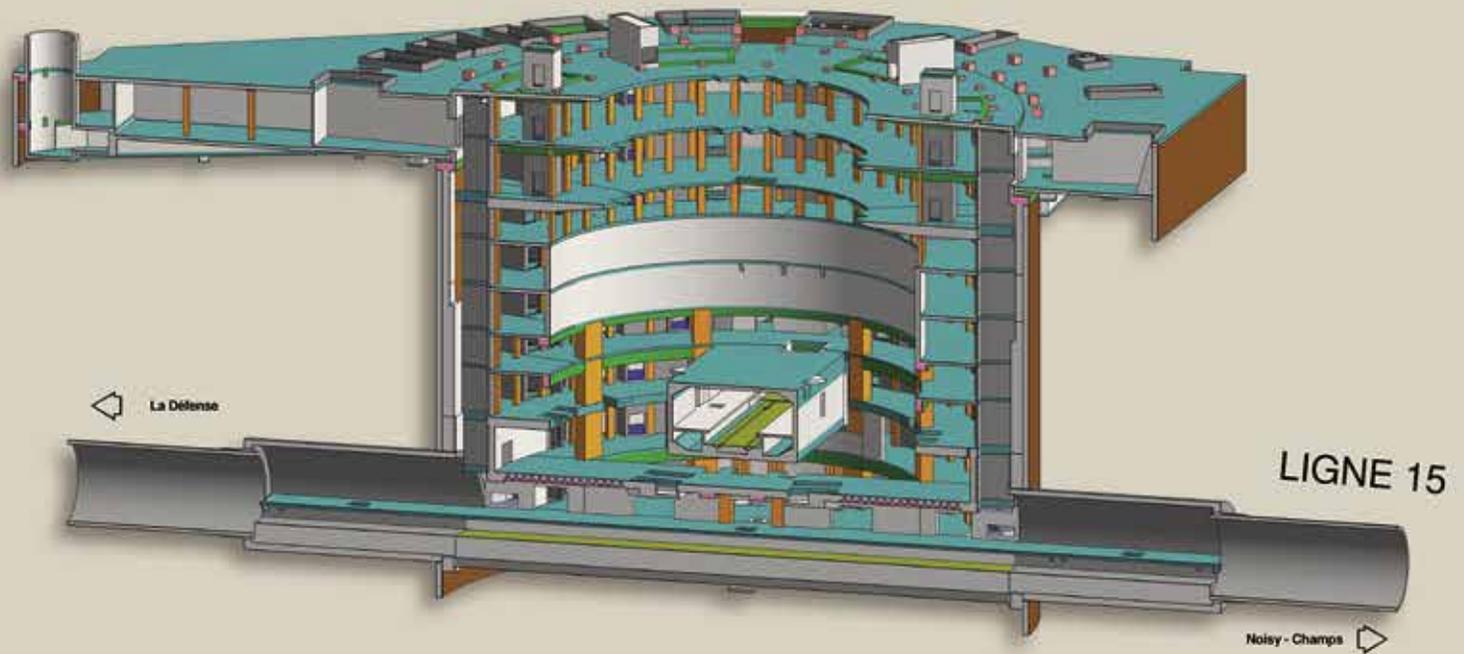
**1- Aerial view of
the whole site.**

Ces amorces ont été réalisées de janvier à octobre 2019 en feu continu, avec 5 équipes de spécialistes.

AMORCES L14

L'excavation et le soutènement des amorces L14 (section 170 m², longueur 29 m) ont été réalisés en demi-sections depuis des plateformes de travail, soit métalliques soit en remblai, car ces

VUE D'ENSEMBLE DE LA GARE



2

© GROUPEMENT CAP

travaux sont situés à 13 m au-dessus du radier de la gare. Ces plateformes métalliques (environ 400 t) avaient donc 2 niveaux de travail : l'un pour la demi-section supérieure et l'autre pour la demi-section inférieure.

L'excavation était faite à la pelle tunnel de 30 t équipée d'une fraise. Les déblais étaient déversés en fond de puits dans une goulotte métallique puis repris à la pelle à câble en tête

2- Vue d'ensemble de la gare.
3- Découpage du creusement des amorces L14.

2- Overall view of the station.
3- Breakdown of the excavation of L14 starts of face.

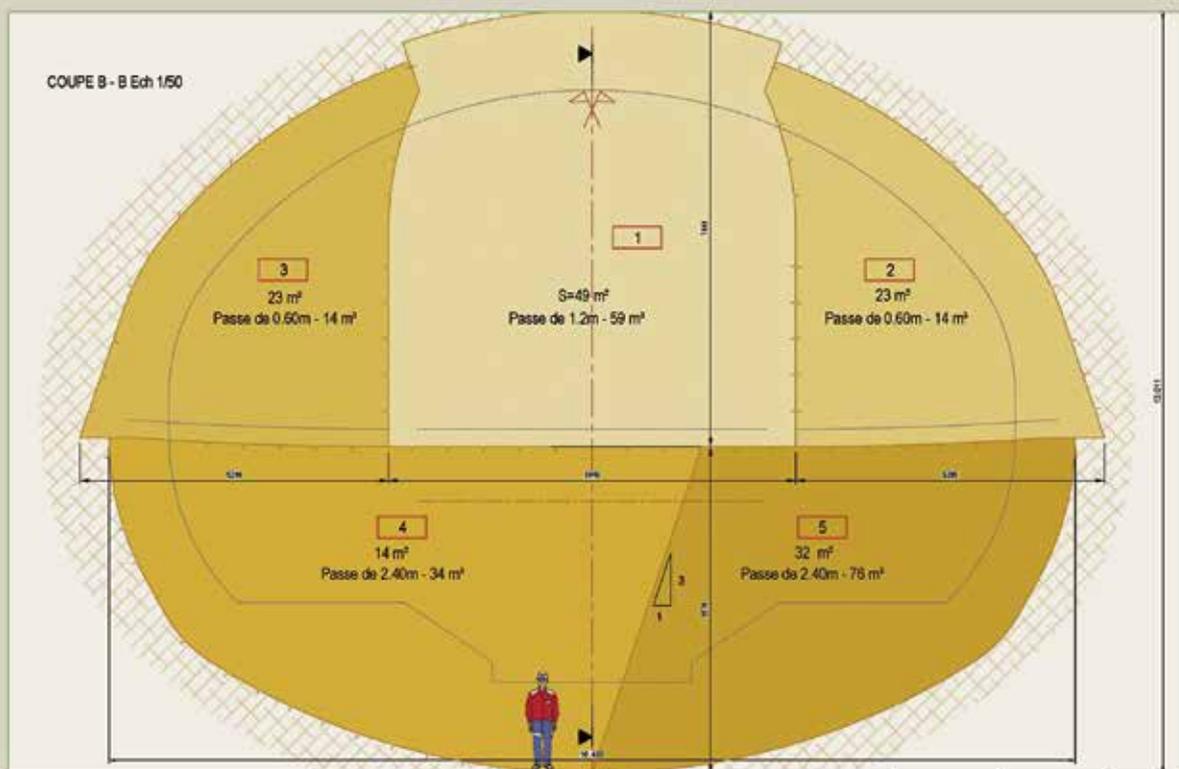
de puits et évacués en semi-remorques. La géologie des terrains rencontrés était constituée d'argiles vertes, de marnes de Pantin et de marnes d'Argenteuil. Le soutènement de la demi-section supérieure a été réalisé en 3 phases (four central et 2 calottes latérales) par passes de 1,2 m (figure 3). Il est constitué de cintres réticulés, de boulons scellés à la résine et de béton fibré projeté. Des boulons de front en fibre

de verre ont préalablement été réalisés par passes sur 14 m. En extrémité de galerie, une voûte parapluie a été développée au-dessus du tympan de redémarrage du tunnelier.

AMORCES L15

Les amorces L15 (section 185 m², longueur 25 m), situées en fond de puits, traversent les marnes supra-gypseuses et des masses & marnes de gypse. ▷

DÉCOUPAGE DU CREUSEMENT DES AMORCES L14



© GROUPEMENT CAP

3

La demi-section supérieure a été terrassée en 2 phases (calottes droite et gauche) sur des passes de 2 m à partir de plateformes en remblai sur les radiers de la gare.

Le soutènement est en béton fibré projeté et boulons scellés à la résine (figure 4). Les tympans d'arrivée et départ du tunnelier sont équipés de boulons en fibre de verre.

AUSCULTATIONS

Le creusement des amorces a été piloté par un dispositif d'auscultation sous théodolites automatisés afin d'en déterminer la convergence en continu dans le temps ainsi que les déformations résiduelles en surface. Ces mesures sont complétées par des extensomètres et des inclinomètres afin de corréliser les déplacements en tunnel et en surface. En fonction des valeurs recueillies, le système de soutènement était adapté. Toute cette opération a été réalisée suivant la méthode observationnelle en prévoyant l'intervention en urgence si nécessaire d'un soutènement lourd (cintres HEM300 sur des micro-pieux) afin de pallier toute déformation excessive du soutènement provisoire.

REVÊTEMENT DES AMORCES

Les travaux de revêtement ont duré d'août à décembre 2019 avec des équipes en 3 postes et 5 jours sur 7. L'étanchéité en radier, voûte et piédroits est constituée d'une géomembrane (DEG) sur géotextile complétée d'une protection sur les zones ferraiillées (radiers, piédroits et certains plots de voûte - contre-tympans et zones d'ancrage). Les radiers de 1 m d'épaisseur intègrent les banquettes de sous-quai



© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS - DAVID DELAPORTE - 3E

et les longrines de ripage des 2 tunneliers. Les voûtes (600 et 700 mm d'épaisseur) et piédroits ont été coulés en une fois à l'aide d'un coffrage métallique sur rails, par passes de 5 m, en béton C60 autoplaçant. Le coffrage était conçu pour adapter les piédroits aux 2 sections (figure 5).

LE PONT PROVISOIRE "DÉFINITIF"

Dans la gare IGR, la Ligne 14 circule au-dessus de la Ligne 15 à l'intérieur d'un pont-cadre. Le marché prévoyait de faire traverser le tunnelier L14 sur un pont métallique provisoire puis de réaliser le pont-cadre à son niveau définitif, 1,73 m plus haut que le niveau de ripage du tunnelier tout en maintenant l'ensemble des servitudes de tunnelier

4- Pose de boulons dans les amorces L15.

5- Coffrage métallique pour les voûtes des amorces.

6- Hourdis inférieur du pont-cadre.

4- Placing bolts in the L15 starts of face.

5- Steel formwork for the roofs of the starts of face.

6- Lower slab of the frame bridge.

en phase de creusement. Il aurait donc fallu couler l'ouvrage par demi-sections alternées en basculant 2 fois les servitudes du tunnelier.

Pour sécuriser à la fois le planning et les interfaces entre les deux chantiers L14 et L15, une solution a été choisie qui consiste à utiliser le hourdis inférieur béton du pont-cadre comme pont de transfert du tunnelier L14 puis à vérifier l'ensemble du pont-cadre à son niveau définitif.

Le hourdis inférieur a été coulé sur étaie et palées provisoires au niveau de transfert du tunnelier en ajoutant une passe charretière au droit de la L15 pour ne pas bloquer la circulation Est-Ouest en fond de puits (figure 6). En effet, les travaux de terrassement des amorces sont simultanés. Pour



© PHOTOTHÈQUE CAP



© ANNE-CLAUDE BARBIER



7

© ALEXANDRE SORIA

cette raison, les deux travées d'accès situées à l'entrée des amorces L14 sont entièrement en charpente provisoire métallique.

LE PASSAGE DES 2 TUNNELIERS

En décembre 2019, le tunnelier Allison (L14) perçait le tympan au fond de l'amorce Sud puis la machine de 800 t a été ripée sur le pont-cadre (figure 7). Pour limiter les interfaces et les opérations de démontage, les longrines de ripage, souvent métalliques, ont été intégrées en définitif dans le hourdis du pont-cadre. La machine se pousse elle-même à l'aide de ses vérins contre des demi-anneaux provisoires posés à l'avancement jusqu'au tympan de redémarrage. Le transfert d'un tunnelier sur

7- Ripage du tunnelier L14 sur le pont-cadre.

8- Ripage du tunnelier L15 sous le pont-cadre.

7- Skidding TBM L14 over the frame bridge.

8- Skidding TBM L15 under the frame bridge.

une dalle de 60 cm d'épaisseur à 13 m de haut n'étant pas habituel, une étude fine a été conjointement menée par les groupements L14 et L15, afin de mieux appréhender la répartition des charges :

- Les charges verticales le long du tunnelier : les charges globales sont plus faibles qu'attendues, mais avec de fortes concentrations au droit du bouclier et de l'articulation.
- Les efforts transversaux (environ 10%) lors du ripage sont repris par 9 files de 2 ou 4 piles métalliques élancées (Ø 740 mm) contreventées en sous-face du hourdis.
- Les efforts longitudinaux (environ 30%) sont repris par un système d'attelage par barres de précontraintes entre le pont-cadre et les amorces.

Pour le redémarrage du tunnelier, un bâti de poussée est nécessaire dans l'amorce Nord. La machine Allison étant située à 13 m de haut, il a fallu faire transiter ces efforts depuis le radier de l'amorce Nord en passant par le hourdis inférieur du pont-cadre jusqu'au radier de l'amorce Sud et enfin le terrain en place derrière l'amorce Sud via des butons préchargés à 1 500 t.

En juin 2020, le tunnelier Amandine (L15) est lui aussi entré en gare et l'a traversée par ripage en passant sous le pont-cadre avant de poursuivre son creusement en direction de la gare de Villejuif-Louis-Aragon (figure 8).

La principale contrainte était de ne pas pouvoir riper les deux tunneliers en même temps dans la gare. Une ligne de piles métalliques était nécessaire dans le gabarit L15 pour reprendre spécifiquement les charges du tunnelier L14 et ses remorques. Après passage de ce dernier, elles ont pu être démontées, laissant uniquement des charges d'exploitation du creusement (trains sur pneus, convoyeur, fluides).

LE VÉRINAGE DU PONT-CADRE

Une fois le tunnelier L14 passé et le pont-cadre complété, ce dernier, d'un poids de 3 200 t, pouvait être vériné sur 1,73 m de hauteur à sa position définitive. La durée du vérinage devait être la plus courte possible et s'inscrire lors d'un arrêt programmé du tunnelier L14. Pour cette opération, le creusement est donc arrêté et la circulation de trains sur pneus est suspendue. L'ouvrage étant à véliner de 1,73 m, les servitudes doivent être redescendues d'autant (tapis convoyeur, fluides, vent-tube) et les travées d'accès provisoires métalliques libérées pour couler les planchers au niveau définitif.

Pendant ce temps, les palées de vérinage sont montées en dehors du cadre, sous grue, puis ripées sous l'ouvrage. Leur système de tiroir automatisé permet de monter des sous-hausses de 50 cm par le bas sans intervention de personnel en hauteur, nacelles ou échafaudages (figure 9). Les sous-hausses sont approvisionnées dans chaque tiroir à la grue à tour et boulonnées entre elles au fur et à mesure. Une fois l'ouvrage en charge à la hauteur voulue, 2 cm au-dessus du théorique, les palées sont calées sur les consoles latérales et les vérins rétractés. L'opération de vérinage a duré environ 3h. Le cadre va rester calé sur palées le temps de réaliser les travaux connexes (5 semaines).

À noter que les palées sont conçues pour reprendre des efforts horizontaux de l'ordre de 5% supplémentaires de la charge totale à véliner.



8

© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS - DAVID DELAPORTE - 3E

En parallèle et indépendamment du vérinage, une fois l'emprise centrale libérée de chaque côté du cadre, la charpente provisoire sous la L14 est déposée et les dalles des travées d'accès sont coulées sur étaie-ment. Ensuite, dès que la chaîne logistique est raccordée, le creusement au tunnelier peut reprendre indépendamment des travaux sous le pont-cadre.

Les chevêtres courbes supports du pont-cadre (4 m x 1,2 m x 15 m) sont réalisés sur étaie-ment avec des ferrallages particulièrement denses (320 kg/m³) du fait de la torsion et des manutentions spécifiques aux travaux en sous-œuvre (figure 10).

Les abouts du hourdis supérieur sont coulés également sur étaie-ment et profilés au-dessus du gabarit de servitude L14.

Après relevé topographique, les appa-reils d'appuis sont scellés dans les bossages coulés en micro-béton avant d'effectuer la mise sur appuis définitive. En résumé, cette technique de vé-rinage est rapide (3h) et sûre, elle se prépare en temps masqué du creuse-ment, et s'inscrit dans 2 à 3 semaines d'arrêt du tunnelier, le plus long étant de modifier et reconfigurer la chaîne logistique du tunnelier. Côté génie civil, la contrainte majeure est de devoir réaliser les chevêtres et bossages en sous-œuvre en un minimum de temps pour limiter l'immobilisation des palées. Tant que les ripages de tunne-liers et la mise à niveau du pont-cadre définitif ne sont pas faits, les bouclages de planchers périphériques ne sont pas possibles aux quatre axes de la gare. Les méthodes de réalisation de travaux ont été adaptées afin de ne pas retar-der d'autant la remontée du génie civil.

LA REMONTÉE DU GÉNIE CIVIL

Comme les planchers Nord-Sud sur la L14, les planchers Est-Ouest s'ap-puient sur la couverture du cadre L15. La partie centrale (30 m) a été coulée en place sur une passe charretière lourde. Les parties latérales ont pu être réalisées sur des poutres préfabriquées en T inversé.

La gare comporte 10 niveaux de plan-chers constitués de secteurs courbes entre 1500 et 2000 m² chacun, d'épaisseur et de hauteur variables sur appuis et en console. Aussi, la totalité des planchers sont coffrés sur étaie-ment, poutrelles et contreplaqué depuis le radier. Les seuls recours à la pré-fabrication concernent certains voiles non porteurs en pré-murs, les volées d'es-



© GROUPEMENT CAP



© GROUPEMENT CAP



© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS - DAVID DELAPORTE - 3E

9- Système de tiroir automatisé pour le vérinage du pont-cadre.

10- Chevêtres du pont-cadre.

11- Réalisation des voiles courbes à la remontée.

9- Automated drawer system for frame-bridge jacking.

10-Frame-bridge crossbeams.

11- Execution of curved shear walls by hoisting.

calier droit et les poutres en T inversé au-dessus de la Ligne 15.

Les six premiers niveaux de dalle sont d'abord réalisés par huitième dans les zones libres en dehors des axes L14 et L15 avant de pouvoir travailler par sixième sur les niveaux suivants. Pour les élévations, le chantier s'est doté d'outils coffrants spécifiques adaptés aux calepinages, hauteurs et parements requis ainsi que des plateformes de travail circulaires en encorbellement sur mesure pour sécuriser le coffrage et le ferrailage des grands voiles courbes (figure 11).



Les trois derniers niveaux de dalle incluent 36 poutres radiales avec 6 m de porte-à-faux vers l'intérieur du puits, non répétitives, d'inertie variable et des planchers d'épaisseur variant de 50 cm à 1,20 m. Des châssis métalliques H600 en porte-à-faux brêlés sur le plancher inférieur (figure 12) sont

utilisés, sur lesquels sont étagés les coffrages de poutres ou les planchers. Les coffrages auront des fonds de moules réglables et des joues réhausables. Un ensemble de 5 châssis permet de couler un sixième de plancher. Un palonnier spécifique permet de manutentionner les châssis en

12- Réalisation des 3 derniers niveaux en porte-à-faux.

12- Execution of the last 3 levels as cantilevers.

sécurité sous les planchers réalisés. Enfin les plots Nord et Sud contiendront les inserts pour la future charpente tubulaire suspendue qui supportera les escaliers mécaniques monumentaux entre le cadre L14 et le N-2.

Au terme d'une réalisation complexe, la gare de Villejuif-Institut-Gustave-Roussy commencera alors à ressembler à un puits inondé de lumière où les voyageurs se croiseront dans un entrelac d'escaliers suspendus pour rejoindre les quais du métro.

La gare de Villejuif IGR était déjà, par sa conception, l'une des gares emblématiques du Grand Paris mais elle est aussi unique par ses études, ses méthodes d'exécution et surtout pendant deux ans, de mi-2018 à mi-2020, par l'extraordinaire enchevêtrement de métiers spécifiques simultanés (fondations, terrassement, génie civil, tunnel, charpente, vérinage). Cette coactivité, imposée par le planning L14 qui est prioritaire pour les JO 2024, a été rendue possible par un dialogue permanent entre tous les acteurs du projet qui ont su par leur engagement et leur confiance proposer, valider et mettre en œuvre des variantes et des adaptations ambitieuses en accord avec un projet de cette envergure (figure 1). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

EMPRISE DU SITE : 20 000 m²

DURÉE DE LA PHASE GÉNIE-CIVIL : 5 ans

DIMENSIONS DU FÛT : 63 m de diamètre x 45 m de profondeur
LONGUEUR DES QUAIS : 110 m pour la Ligne 15 et 122 m pour la Ligne 14

BÉTON DE STRUCTURE MIS EN ŒUVRE (hors parois moulées et béton projeté) : 45 000 m³

FERRAILLAGE : 6 000 t

DÉBLAIS ÉVACUÉS : 600 000 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Société du Grand Paris

MOE : groupe Setec (mandataire) - Ingerop

ARCHITECTE : Dominique Perrault Architecture

ENTREPRISES : groupe Cap (Vinci Construction Grands Projets, Vinci Construction France, Dodin Campenon Bernard, Spie Batignolles Génie civil, Spie Batignolles Fondations, Botte Fondations)

AMO : Artemis

ABSTRACT

THE IGR STATION AT THE CROSSROADS OF THE TBMS

J.-C. BOBINET, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - V. LEFEVRE, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL - J.-F. OREFICI, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - V. RIGOUX, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - A. RODRIGUEZ, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

The Villejuif-Institut-Gustave-Roussy Station is the interconnection of the future lines 15 South and 14 South on the Grand Paris Express network. In 2019 and 2020 the project underwent a series of work phases which required the coordination of numerous trades and interfaces with, as a priority, maintaining the tunnel driving activity of the two TBMs passing through the station. Four starts of face of large cross section were executed conventionally, including two at a height of 13m from steel platforms. A frame bridge was built to skid tunnel boring machine L14 above L15 and was then jacked into its final position. After the passage of the two TBMs, civil engineering work was able to continue for construction of the 10 floor levels. □

LA ESTACIÓN IGR, INTERSECCIÓN DE LAS TUNELADORAS

J.-C. BOBINET, CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION - V. LEFEVRE, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL - J.-F. OREFICI, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - V. RIGOUX, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - A. RODRIGUEZ, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

La estación de Villejuif-Institut-Gustave-Roussy es la interconexión de las futuras líneas 15 Sur y 14 Sur de la red del Grand Paris Express. En 2019 y 2020 se han sucedido fases de la obra que han precisado la coordinación de numerosas actividades e interfaces con el objetivo prioritario de mantener la actividad de perforación de las dos tuneladoras que cruzan la estación. Se han realizado cuatro entradas de gran sección por el método tradicional, dos de ellas a 13 m de altura desde las plataformas metálicas. Se ha construido un puente de armadura para ripar la tuneladora L14 sobre la L15, que seguidamente se ha colocado en su posición definitiva mediante cilindros hidráulicos. Tras el paso de las dos tuneladoras, han proseguido las obras de ingeniería civil para la realización de los 10 niveles de planta. □



1

© EGIS

LES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES DU PEM LYON PART-DIEU : TVM ET SBS

AUTEURS : VINCENT FAGOT, CHEF DE PROJET, EGIS - JAMES DUPONT, DIRECTEUR DE PROJET, EGIS

LE QUARTIER DE LA PART-DIEU, À LYON, EST ACTUELLEMENT ENGAGÉ DANS UN VASTE PROGRAMME DE TRANSFORMATION URBAINE AVEC, AU CŒUR DU PROJET, LE PÔLE D'ÉCHANGES MULTIMODAL (PEM) DE LA GARE. CE PLAN DE RÉAMÉNAGEMENT COMPREND LA CRÉATION ET LA RÉNOVATION D'INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES DE TRANSPORT ROUTIER POUR DESSERVIR LE PEM, DONT LES PRINCIPALES SONT LE TUNNEL VIVIER-MERLE ET LA SORTIE BROTTÉAUX-SERVIENT. CE PROJET IMPLIQUE POUR LES DEUX OUVRAGES DES TRAVAUX DANS UN ENVIRONNEMENT TRÈS CONTRAINT.

LE PROJET DU PEM PART-DIEU

Depuis sa création dans les années 60, le quartier de la Part-Dieu, situé dans le 3^e arrondissement de Lyon, n'a cessé de se développer pour devenir le principal quartier tertiaire de l'agglomération lyonnaise, moteur essentiel de son développement économique, vers lequel convergent de nombreuses infrastructures de mobilités : TGV, TER, métros, tramways, bus et cars interurbains. Ce quartier atteint aujourd'hui des limites en termes de fonctionnement, de qualité urbaine, de capacité

d'accueil d'entreprises, et doit se réinventer pour renouveler son attractivité sur des bases contemporaines et durables.

Dans ce contexte la Société Publique Locale (SPL) Lyon Part-Dieu, outil opérationnel de la Métropole de Lyon et de la Ville de Lyon pour l'aménagement de la ZAC Part-Dieu, est chargée de mettre en œuvre jusqu'en 2029 un projet global de transformation urbaine du quartier, (figure 2), portant sur :

→ Les espaces publics de surface, avec notamment le réaménagement : de la place de Francfort, de la place

1- Vue de l'allongement Sud du TVM.

1- View of the South extension of TVM.

Béraudier, de l'esplanade Mandela, du boulevard Vivier-Merle entre le cours Lafayette et la rue Paul-Bert, de l'avenue Pompidou, des rues Servient, Bouchut et Desaix ;
→ La création d'un complexe souterrain comprenant un Parking et une

Place Basse (PPB) sous la place Béraudier à l'ouest de la gare SNCF de la Part-Dieu ;

→ Les infrastructures souterraines de transport routier, avec notamment :
- La mise aux normes et l'allongement du tunnel Vivier-Merle (TVM) ;
- La création de 2 sorties routières au PPB sous la place Béraudier : la Sortie Bonnel (SBO) vers la rue Bonnel et la Sortie Brotteaux-Servient (SBS) débouchant dans la rampe de sortie du tunnel Brotteaux-Servient (TBS).



Le projet du Pôle d'Echanges Multimodal (PEM) Part-Dieu comprend également la création :

- D'une 12^e voie en gare de la Part-Dieu (projet voie L) par SNCF Réseau ;
- D'accès directs aux quais de la Gare Part-Dieu depuis l'avenue Pompidou par SNCF Réseau ;
- D'un nouveau bâtiment voyageur pour la Gare Part-Dieu côté place Béraudier en remplacement de l'existant par SNCF Gares et Connexions ;
- D'un ensemble immobilier au sud de la place Béraudier comprenant un hôtel et une tour de bureaux (projet To Lyon) par la SCCV To Lyon (Vinci Immobilier).

LES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES DU PEM

La maîtrise d'ouvrage du projet des infrastructures souterraines TVM, SBS et SBO est assurée par la SPL Lyon Part-Dieu.

2- Les opérations du PEM Part-Dieu. 3- Vue en plan de l'allongement Sud du TVM.

2- Operations of the Part-Dieu multimodal transport hub. 3- Plan view of the South extension of TVM.

La maîtrise d'œuvre du projet des infrastructures souterraines (MOEI) est réalisée par le groupement d'entreprises Setec Als (mandataire)/Egis Structures et Environnement/Sud Architectes/Sud Groupe.

La complexité de ce projet tient à :

- Un secteur fortement urbanisé avec d'importants flux piétons, vélos, transports en commun à maintenir au maximum pendant et après les travaux ;

- L'interface directe avec les réseaux de métros et de tramways ;
- La présence de très nombreux réseaux enterrés, dont certains non déplaçables ;
- Le travail dans des terrains alluvionnaires avec la nappe d'accompagnement du Rhône présente à faible profondeur ;
- Une forte imbrication des projets : Immeuble de Grande Hauteur, Gare SNCF, Parking souterrain, Infrastructures souterraines, Aménagements des Espaces Publics, Rénovation du Centre Commercial.

LE TUNNEL VIVIER MERLE LE PROJET

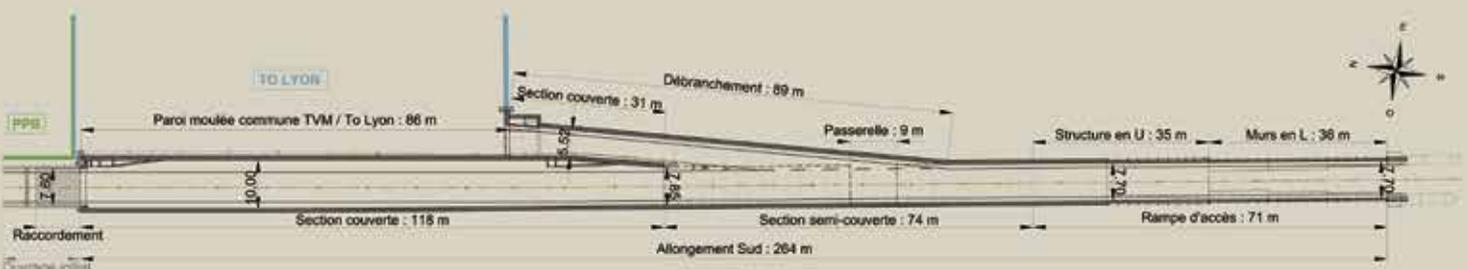
Avant la réalisation des travaux, le TVM situé sous le boulevard Vivier-Merle était un ouvrage de 500 m de long dont 344 m couverts, allant de l'avenue Pompidou au sud, au cours Lafayette au nord avec une sortie secondaire sur la rue Bonnel.

Cet ouvrage, unidirectionnel à deux voies de circulation, permettait au trafic routier du boulevard Vivier-Merle d'aller du sud vers le nord et l'est en évitant le plateau de surface en commun (bus, trolleybus et tramway) ainsi que de très nombreux flux de piétons et de cycles. Cet ouvrage a été construit en 1975, puis allongé une première fois au nord et au sud en 2001.

Le projet du PEM Part-Dieu prévoyait de :

- Reporter l'entrée du TVM plus au Sud en la déplaçant de l'avenue Pompidou à la rue Paul Bert afin de mieux valoriser la place Béraudier, et de créer un nouveau pôle bus en surface au sud de celle-ci ;
- Desservir directement en entrée depuis le TVM, le PPB, ainsi que les zones de livraison et de dépose des taxis par un débranchement spécifique. ▶

VUE EN PLAN DE L'ALLONGEMENT SUD DU TVM





Le programme de l'opération projetait aussi la remise aux normes complète de la partie existante du TVM suivant les dernières réglementations "Tunnel" en cohérence avec l'allongement Sud de l'ouvrage.

Le gabarit de 4,1 m de haut dans l'ouvrage initial a été conservé dans l'allongement Sud.

Avec l'allongement Sud, la longueur du TVM a été portée à 686 m dont 462 m couverts.

Le projet du TVM comprenait :

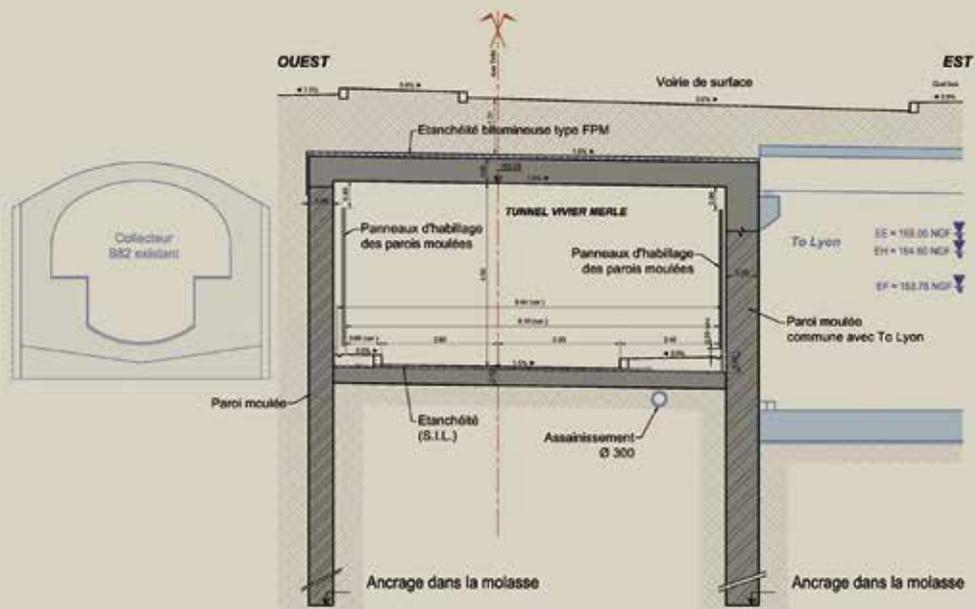
→ La mise aux normes du tunnel existant avec notamment :

- La création d'une issue de secours intermédiaire débouchant provisoirement en surface, et à terme dans la Place Basse située sous la place Béraudier après la fin des travaux de celle-ci.
- La création d'un local technique pour les équipements de gestion et de surveillance du tunnel.
- La réduction de la largeur de la rampe de sortie Nord sur le cours Lafayette par la réalisation de caissons béton armé sur le délaissé Est de la chaussée afin d'améliorer l'insertion des espaces publics en surface.
- La pose de plaques de protection contre les incendies en intrados de dalle et en piédroits.
- La reprise localisée de l'étanchéité du radier.
- La réfection intégrale des réseaux, des trottoirs, et de la chaussée.
- La reprise des niches incendie et de sécurité.
- La reprise intégrale des équipements de sécurité et de surveillance du tunnel : ventilation, réseau incendie, capteurs, caméra, communication, etc. et leur raccordement au système de supervision des tunnels de la Métropole.

→ La création d'un allongement de 264 m au sud du tunnel (figure 3) avec notamment :

- La démolition de la rampe d'entrée Sud existante.
- Le raccordement à la section couverte du tunnel existant avec l'abaissement du radier du plot d'extrémité Sud pour assurer la continuité du nouveau profil en long.
- Une tranchée couverte de 118 m de long constituée par des parois moulées ancrées dans le substratum molassique étanche, des dalles de radier et de couverture

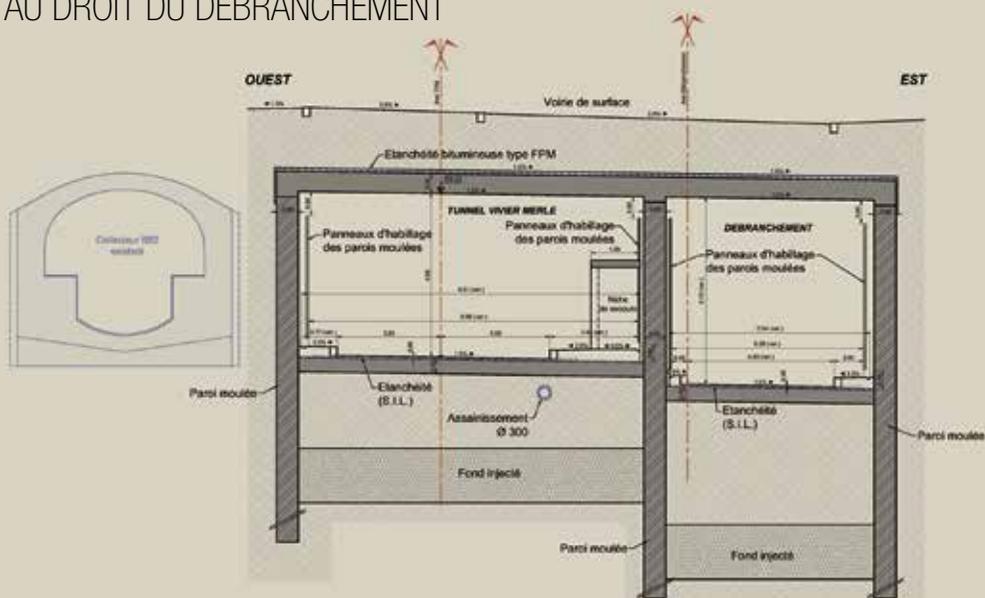
COUPE TRANSVERSALE DE L'ALLONGEMENT SUD DU TVM AU DROIT DE LA PAROI MOULÉE COMMUNE TVM / TO LYON



4

© EGIS

COUPE TRANSVERSALE DE L'ALLONGEMENT SUD DU TVM AU DROIT DU DÉBRANCHEMENT



5

© EGIS

en béton armé encastrées dans les parois moulées. La paroi moulée Est de cette section du TVM est commune avec le projet To Lyon.

- Un débranchement de 89 m de long, dont 31 m couverts, pour accéder au PPB. Son principe de réalisation est identique à celui de la tranchée couverte principale de l'allongement.
- Une section semi-couverte de 74 m de long à l'amorce du débranchement constituée par des parois moulées non-ancrées dans le substratum molassique, une dalle en radier et des poutres butons rectangulaires en tête en béton armé encastrées dans les parois moulées.

4- Coupe transversale de l'allongement Sud du TVM au droit de la paroi moulée commune TVM / To Lyon.

5- Coupe transversale de l'allongement Sud du TVM au droit du débranchement.

4- Cross section of the South extension of TVM at the level of the joint TVM/To Lyon diaphragm wall.

5- Cross section of the South extension of TVM at the marshalling level.

- Une passerelle piétonne de 9 m de large, au droit de la section semi-couverte, pour la traversée en surface de la rampe par les piétons, constituée d'une dalle en béton armé encastrée en tête des parois moulées.

- Une rampe d'accès de 71 m de long constituée par une structure en U puis des murs en L en béton armé.

Une solution en paroi moulée a été retenue pour la réalisation de l'allongement Sud plutôt qu'une solution par palplanches comme pour l'ouvrage initial afin de limiter les vibrations transmises aux ouvrages avoisinants (collecteur B82 et bâtiments) et de réduire les nuisances sonores du chantier pour les riverains.

LES TRAVAUX DE L'ALLONGEMENT SUD

Les travaux de génie civil du TVM ont été réalisés entre mi-2018 et fin 2019 par le groupement d'entreprises : Eiffage Génie Civil (mandataire)/ Soletanche Bachy/Eiffage Fondations. Le radier de l'allongement Sud du TVM est intégralement situé sous le niveau de la nappe phréatique d'accompagnement du Rhône dans des alluvions modernes et anciennes présentant de fortes perméabilités. Afin de réaliser les travaux de démolition, de terrassement et de génie civil hors d'eau, les solutions suivantes ont été mises en œuvre par l'entreprise (figures 4 et 5) :

- Sur les 86 premiers mètres côté Nord de l'allongement : les parois moulées ont été descendues jusqu'au substratum molassique étanche. Un rideau d'injections en extrémité Nord et une paroi moulée au coulis de ciment en extrémité Sud ont été réalisés afin de former une boîte étanche. Ce volume a ensuite été asséché par pompage avant de démarrer les démolitions et terrassements.
- Sur le reste de l'allongement, les parois moulées n'ont pas été descendues jusqu'au substratum molassique. L'étanchéité du fond de fouille a été obtenue avec un traitement préalable des terrains par injections afin de limiter les venues d'eau en réduisant la perméabilité des alluvions.



6- Vue au droit du débranchement.

7- Localisation de la SBS dans le quartier de la Part-Dieu à Lyon.

6- View of the marshalling yard.

7- Location of SBS in the Part-Dieu district in Lyon.

Sur leur hauteur vue, les parois moulées ont été habillées par des panneaux de parement en aluminium laqué. Dans la rampe de sortie ces

panneaux ont été remplis avec de la laine de roche afin d'atténuer le niveau du bruit.

L'étanchéité de la dalle de couverture sous remblai de l'allongement Sud a été réalisée en extrados par une feuille bitumineuse de type FPM (Feuille Préfabriquée Monocouche) protégée par une chape de béton de 5 cm d'épaisseur.

L'étanchéité du radier a été réalisée en intrados entre la dalle béton et la chaussée en béton bitumineux par un SIL (Système d'Imperméabilisation Liquide).

Le TVM allongé et rénové a été rouvert à la circulation le 28 février 2020 après deux ans de travaux (figures 1 et 6).

LA SORTIE BROTTTEAUX-SERVIENT

LE PROJET

La future SBS est un tunnel passant sous le boulevard Vivier-Merle, à l'ouest de la gare de La Part-Dieu. Ce tunnel sera l'une des deux sorties du PPB situé sous la place Béraudier avec la SBO. Il reliera le PPB au TBS situé plus à l'ouest. La SBS servira de sortie aux véhicules légers stationnés dans le parking souterrain et aux taxis desservant la gare SNCF.

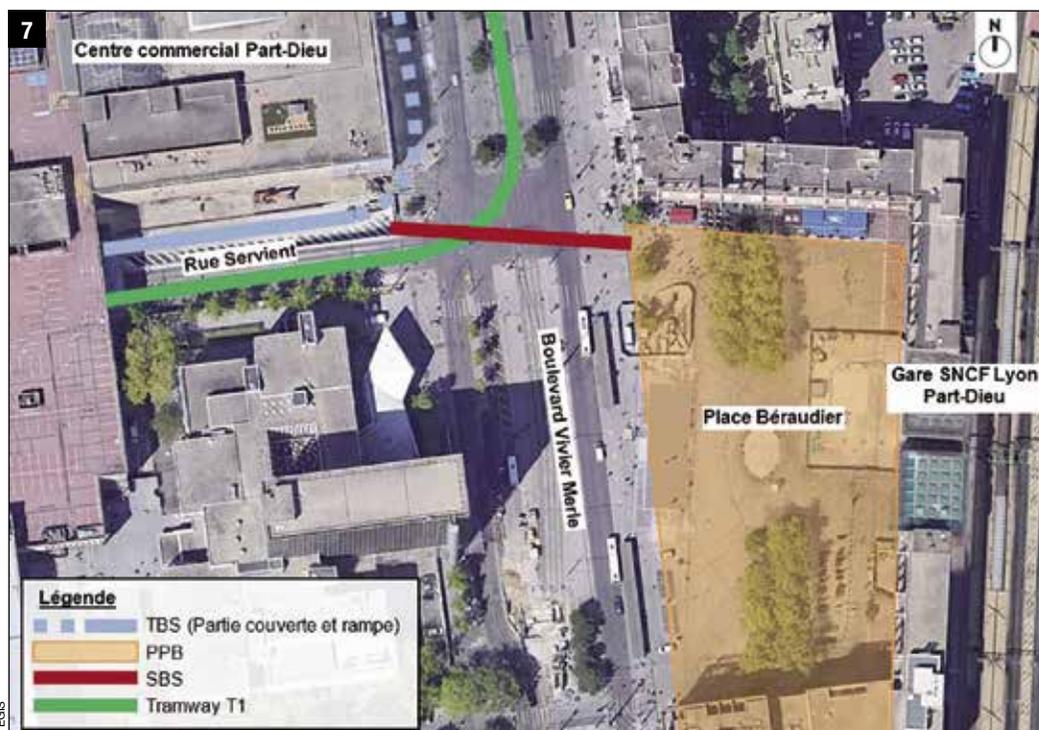
La SBS démarre à l'est au niveau -2 du parking souterrain du PPB, passe successivement d'est en ouest sous le boulevard Vivier-Merle, le tunnel Vivier-Merle (TVM), la ligne de tramway T1, le collecteur d'assainissement B82, puis débouche à l'ouest dans la rampe de sortie Sud du TBS (figure 7).

La SBS est un tunnel routier unidirectionnel d'environ 60 m de long, à une voie de circulation de 2,8 m de large, avec un gabarit limité à 2,1 m en hauteur.

Longitudinalement, la SBS est constituée de deux ouvrages successifs (figures 8 et 9) :

- À l'est, un tunnel, d'une longueur de 47 m, réalisé par creusement en souterrain ;
- À l'ouest, un ouvrage de raccordement à la rampe existante du TBS, d'une longueur de 13 m, réalisé depuis la surface.

La hauteur de couverture de terrain de la section creusée est comprise entre 5 et 7,5 m par rapport au niveau du boulevard Vivier-Merle.



LES TRAVAUX

Les travaux de génie civil de l'ouvrage SBS sont réalisés entre mi-2020 et mi-2023 par le groupement d'entreprises : Spie Batignolles Génie Civil (mandataire)/Spie Batignolles Fondations/Deluermoz/Gantelet-Galaberthier.

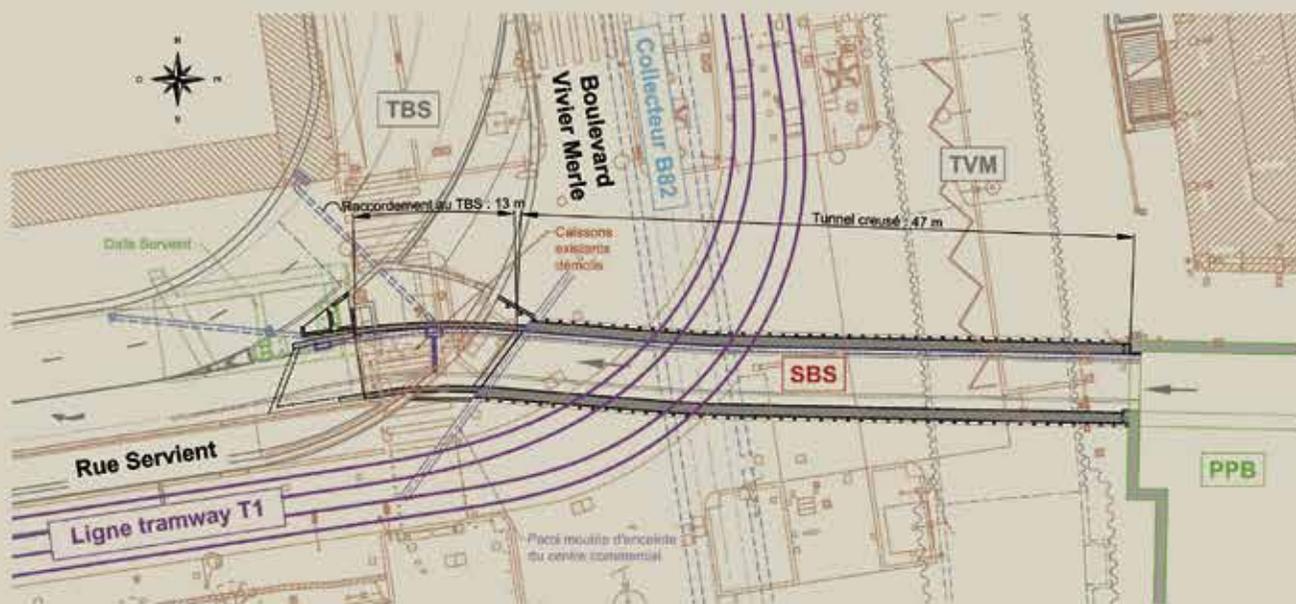
Généralités

Le tunnel SBS est intégralement situé sous le niveau de la nappe phréatique d'accompagnement du Rhône dans des alluvions modernes et anciennes présentant de fortes perméabilités.

Un traitement par injections des terrains traversés avant de creuser l'ouvrage est donc nécessaire. Ce traitement préalable des terrains doit permettre pendant le creusement de la SBS de limiter les venues d'eau en réduisant la perméabilité des alluvions et d'améliorer la tenue des sols en place en augmentant leur résistance à la compression.

Le phasage général des travaux de la SBS est le suivant :

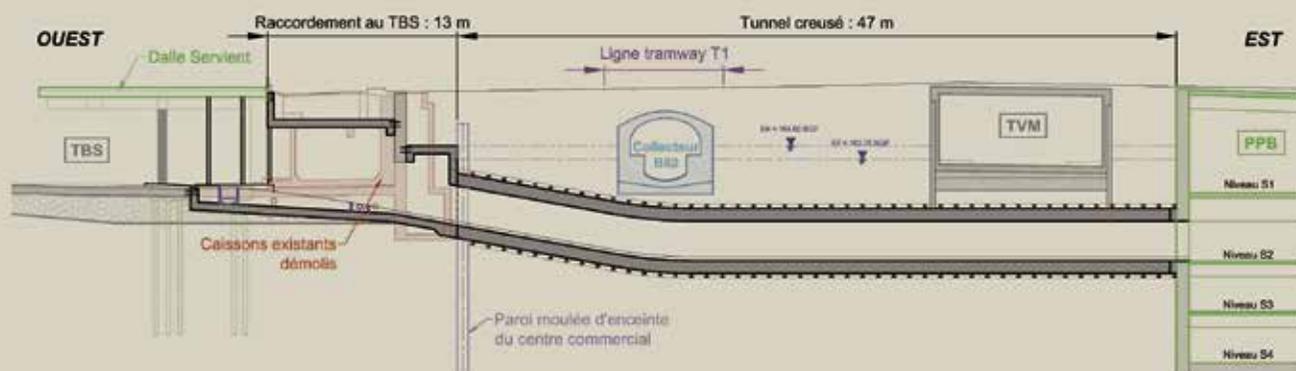
VUE EN PLAN DE LA SBS



8

© EGIS

COUPE LONGITUDINALE DE LA SBS



9

© EGIS

- Pré-injections de collage autour du collecteur B82 ;
- Soutènement et excavation de deux puits blindés, et traitement des terrains par injections avant la phase d'excavation depuis ces puits ;
- Démolition des structures existantes côté Ouest dans la rampe de sortie du TBS et réalisation de l'ouvrage de raccordement de la SBS au TBS ;
- Excavation, soutènement provisoire, étanchéité, et revêtement définitif de la partie creusée de la SBS ;
- Réalisation de l'ouvrage de connexion de la SBS au PPB ;

→ Réalisation des équipements et superstructures dans la SBS.

Pré-injections de collage autour du collecteur B82

Les travaux de la SBS débutent par la réalisation de pré-injections de collage autour du collecteur B82 afin de limiter les désordres sur la structure et l'entrée de coulis dans le collecteur lors de la réalisation des injections principales. Ces pré-injections sont réalisées depuis l'intérieur du collecteur B82 après carottage du radier et des piédroits.

Traitement des terrains par injections

Un traitement des terrains en place par

8- Vue en plan de la SBS.

9- Coupe longitudinale de la SBS.

8- Plan view of SBS.

9- Longitudinal section of SBS.

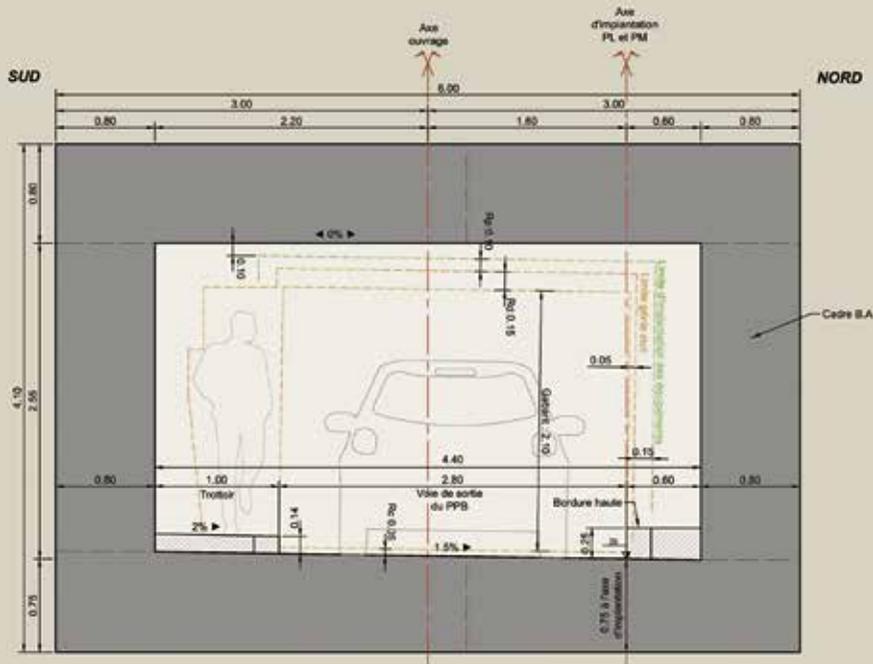
injections de coulis de ciment au cœur et en périphérie de la section d'excavation (jusqu'à 3 m de surépaisseur au-delà de la ligne d'excavation) est réalisé afin de limiter les venues d'eau

et d'améliorer les caractéristiques mécaniques des sols en place lors du creusement de la SBS.

Un plot d'essai du traitement des terrains est réalisé avant le démarrage de tous les travaux d'injections afin de valider les paramètres de calcul pris en compte dans les études d'exécution ainsi que la méthodologie de réalisation. Après le forage, l'injection du terrain est réalisée en deux temps :

- Dans un premier temps, avec un coulis de ciment pour le remplissage des pores du sol les plus gros sans perte excessive de coulis dans le terrain ;

COUPE TRANSVERSALE FONCTIONNELLE DE LA SBS



© EGIS 10

→ Dans un second temps, avec un coulis de gel de silice ou un micro-ciment pour réduire la perméabilité à l'objectif visé et imprégner également les passées sableuses moins perméables.

Les injections sont de type Répétitive et Sélective (IRS) afin de garantir un traitement efficace et homogène des terrains.

Les zones d'injection depuis le boulevard Vivier-Merle sont définies au regard du phasage général des travaux et des contraintes du site : notamment pas d'injection au travers de la

10- Coupe transversale fonctionnelle de la SBS.
11- Localisation des 4 zones d'injection et des 2 puits blindés.

10- Functional cross section of SBS.

11- Location of the 4 grouting zones and 2 reinforced shafts.

plateforme et de la multitubulaire du Tramway en surface, et présence d'ouvrages enterrés (TVM, collecteur B82 et réseaux concessionnaires à conserver). Depuis le boulevard Vivier-Merle, le traitement des terrains par injections verticales ou inclinées est réalisé à partir de trois zones distinctes : à l'est (zone 1), au centre (zone 2) et à l'ouest (zone 3). Une quatrième zone d'injections (zone 4) est réalisée dans la rampe de sortie du TBS (figure 11). Les injections des zones Centre et Ouest sont effectuées à partir de deux puits blindés afin d'atteindre les terrains

situés sous les ouvrages et réseaux existants (figure 12).

Les puits blindés sont réalisés avec un soutènement mis en place à l'avancement en alternant les phases de terrassement et de soutènement. À chaque passe de terrassement du puits, un blindage des parois périphériques est mis en œuvre.

Les injections des zones 2 et 3 depuis l'intérieur des puits sont réalisées en deux phases :

- 1^{re} phase : injections à partir d'un niveau de plateforme située au-dessus du niveau de la nappe ;
- 2^e phase : injections réalisées au-dessous du niveau de la nappe, sous sas, en approfondissant par passes verticales successives les puits afin de compléter les injections de la première phase sous le TVM et le collecteur B82.

Ouvrage de raccordement de la SBS à la rampe de sortie du TBS

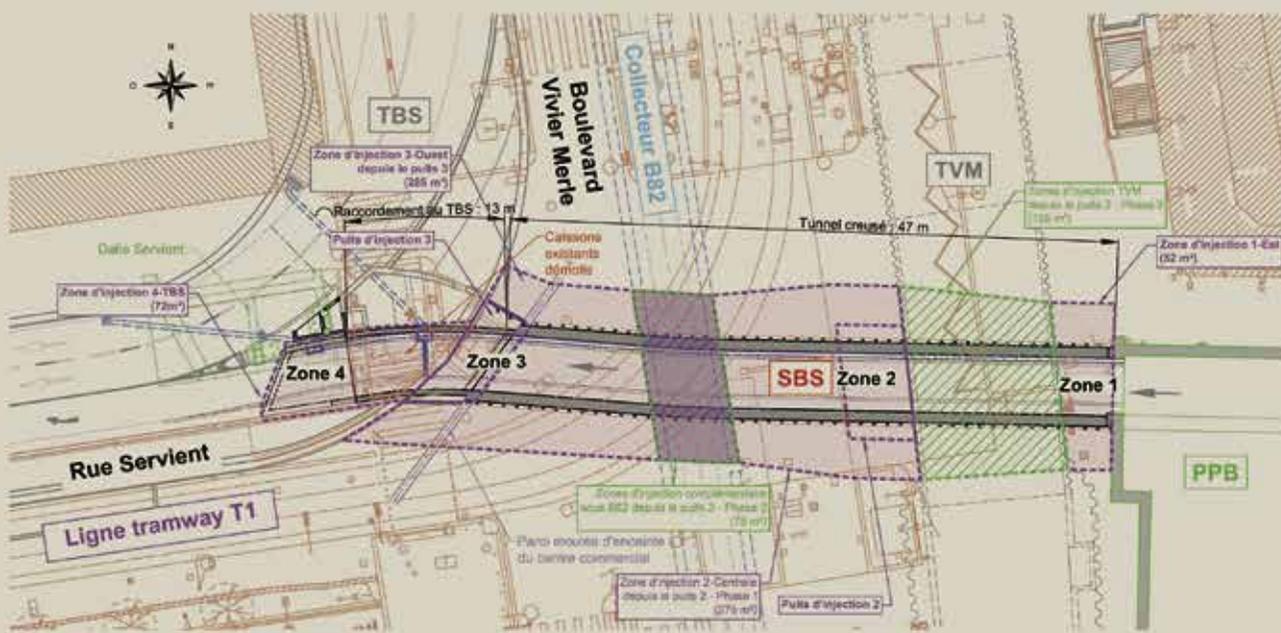
L'ouvrage de raccordement est constitué par un cadre en béton armé.

Le radier et la dalle de couverture du cadre ont une épaisseur de 0,5 m.

Les piédroits du cadre ont une épaisseur de 0,4 m.

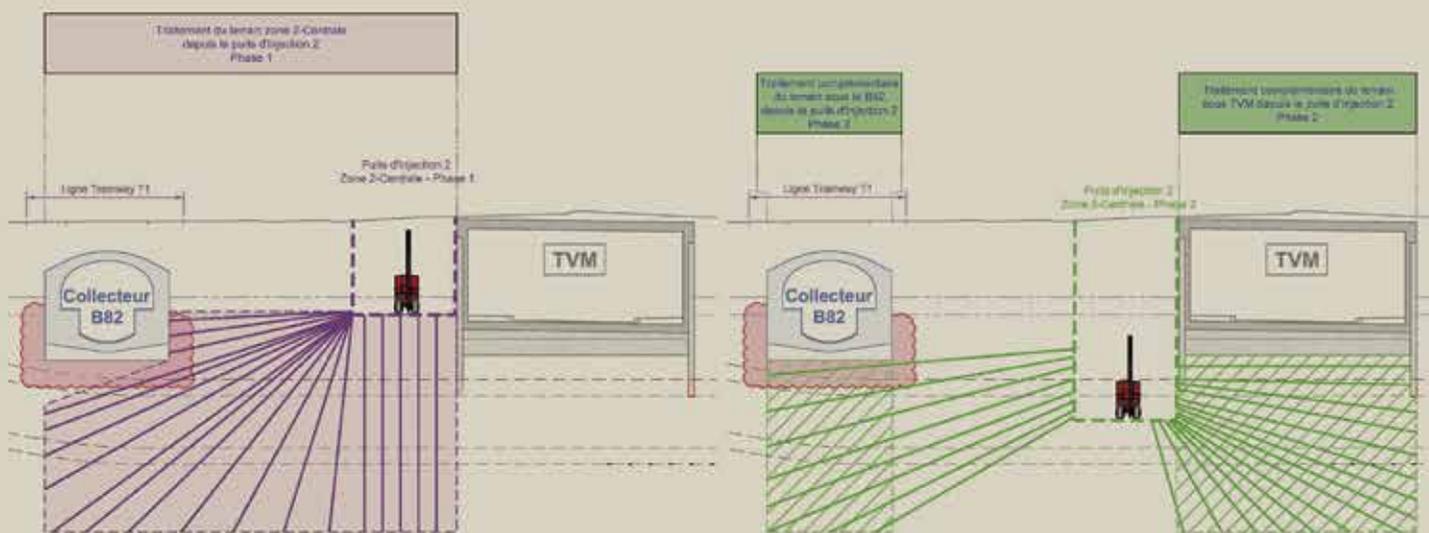
Les dalles de couverture et le radier sont ancrés dans les structures existantes de la rampe de sortie du TBS par des armatures de béton armé scellées dans celles-ci. ▷

LOCALISATION DES 4 ZONES D'INJECTION ET DES 2 PUIITS BLINDÉS



© EGIS 11

COUPE DU TRAITEMENT DES TERRAINS DE LA ZONE 2, PHASE 1 ET PHASE 2



12
© EGIS

12- Coupe du traitement des terrains de la zone 2, phase 1 et phase 2.

13- Coupe transversale structurelle de la SBS : soutènement provisoire et revêtement définitif.

12- Cross section of ground treatment in zone 2, phases 1 and 2.

13- Structural cross section of SBS: temporary retaining structure and final lining.

L'étanchéité de la dalle de couverture sous remblai est réalisée par une feuille bitumineuse de type FPM (Feuille Préfabriquée Monocouche) protégée par une chape de béton de 5 cm d'épaisseur. L'étanchéité des piédroits et du radier est réalisée en extrados par un DEG (Dispositif d'Étanchéité par Géomembrane).

Partie en tunnel creusé

La SBS est réalisée suivant une technique conventionnelle de creusement/soutènement (figure 13).

L'excavation et le soutènement provisoire de la SBS sont réalisés suivant un phasage transversal à deux demi-galeries successives afin de limiter les

déplacements en surface, sous la plateforme du tramway, le collecteur B82 et le TVM.

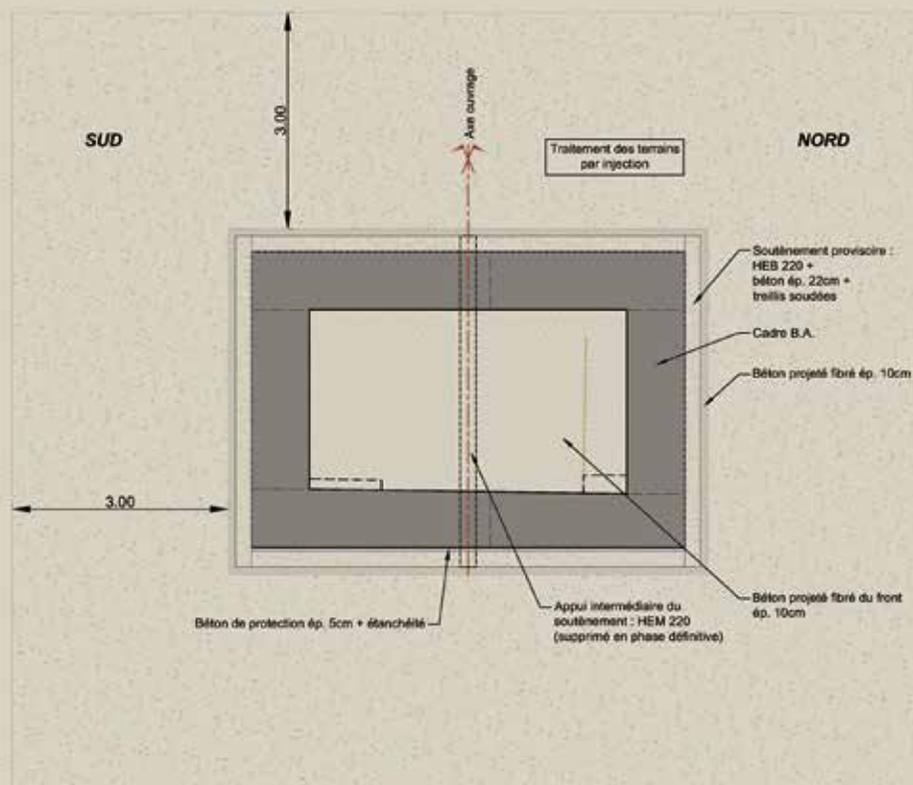
Chaque cycle de creusement/soutènement provisoire comprend pour une demi-galerie :

- L'excavation en pleine section ;
- La mise en place d'un béton projeté fibré de confinement de 10 cm d'épaisseur latéralement et au front. Ce béton projeté est réalisé juste après la purge des terrains

excavés. Il est destiné à mettre le poste de travail en sécurité pour la pose du soutènement provisoire immédiat ;

- La mise en place d'un soutènement provisoire composé de cintres en

COUPE TRANSVERSALE STRUCTURELLE DE LA SBS : SOUTÈNEMENT PROVISOIRE ET REVÊTEMENT DÉFINITIF



13
© EGIS

profilés métalliques HEB 220 espacés de 1 m, associés à un béton de blocage derrière le blindage et un béton projeté de 22 cm d'épaisseur armé par un treillis soudé ;

→ D'appuis intermédiaires des cintres en profilés métalliques HEB 220 tous les mètres.

L'avancement de l'excavation et du soutènement provisoire est réalisé par pas de 1 m intégralement depuis le TBS.

L'étanchéité de la section excavée de la SBS est réalisée en extrados entre le soutènement provisoire et le revêtement définitif par un DEG (Dispositif d'Étanchéité par Géomembrane).

Le revêtement définitif de la section excavée de la SBS est constitué par un cadre rectangulaire en béton armé. Le radier du cadre a une épaisseur de 0,75 m. Les piédroits et la dalle de couverture du cadre ont une épaisseur de 0,8 m.

CONCLUSION

Le tunnel Vivier-Merle et la sortie Brotteaux-Servient sont réalisés dans un environnement urbain complexe et contraint en constante évolution. Les acteurs de ce projet ont su développer des solutions innovantes pour que la réalisation de ces ouvrages essentiels au quartier de la Part-Dieu et au fonctionnement du PEM soit une réussite.

Ces ouvrages vont permettre de sécuriser le trafic de transit, apaiser la circulation et redonner de l'espace aux modes doux en surface.

En cela ils participent à l'amélioration du cadre de vie des riverains et au renforcement de l'attractivité du quartier. □

Références :

1- Programme du Marché de Maîtrise d'œuvre des infrastructures du secteur gare ouverte du quartier de la Part-Dieu à Lyon 3^e - Métropole de Lyon - Septembre 2014.

2- Projet - Mémoire technique génie civil, Allongement et mise aux normes du Tunnel Vivier Merle - Maîtrise d'œuvre des infrastructures (Setec/Egis/Sud) - Octobre 2017.

3- Projet - Mémoire technique génie civil, Sortie Brotteaux Servient - Maîtrise d'œuvre des infrastructures (Setec/Egis/Sud) - Février 2019.

Acronymes :

MOEI : Maître d'Œuvre des Infrastructures.
PEM : Pôle d'Echanges Multimodal de la Part-Dieu.
PPB : Parking et Place Basse.
SBO : Sortie Bonnel.
SBS : Sortie Brotteaux-Servient.
TBS : Tunnel Brotteaux-Servient.
TVM : Tunnel Vivier-Merle.

PRINCIPALES QUANTITÉS

TVM

- 8000 m² de parois moulées
- 22000 m³ de déblais
- 2200 m² de dalle de couverture
- 3500 m³ de béton hors parois moulées
- 580 t d'armatures passives hors parois moulées
- 7200 m² de plaques de protection thermique sur les piédroits et dalles du tunnel initial

SBS

- 540 m² de soutènement pour les puits blindés
- 7900 m³ de terrain traité par injections
- 1600 m³ de déblais
- 830 m³ de béton pour le revêtement définitif
- 170 t d'armatures passives

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRES D'OUVRAGE :

- **SPL Lyon Part-Dieu pour l'aménagement des espaces publics et pour les infrastructures du PEM**
- **SNCF Gares et Connexions pour les galeries Béraudier et Vilette de la gare**
- **SNCF Réseau pour la voie L, la galerie Pompidou de la gare et les accès aux quais**
- **Vinci Immobilier pour le PPB et le projet To Lyon**

MAÎTRES D'ŒUVRE :

- **Groupement mené par l'Auc et Egis pour les espaces publics**
- **Groupement Setec/Egis/Sud architectes pour les infrastructures du PEM et PPB**
- **Arep pour la gare**
- **Groupement mené par Dominique Perrault Architecte pour le projet To Lyon**

ASSISTANTS AUX MAÎTRES D'OUVRAGE :

- **Archi-conseil : groupement mené par l'Auc**
- **OPC général de l'ensemble des opérations du PEM Part-Dieu : Ingérop jusqu'en avril 2020 puis Artélia**
- **OPC des chantiers urbains de la Part-Dieu sous MOA de la SPL : Planitec Btp**
- **Project Manager To Lyon : Egis**
- **Contrôle technique et CSPS pour les infrastructures du PEM : Qualiconsult**
- **Mission G4 TVM et SBS : Lombardi**

ENTREPRISES :

- **Groupement Eiffage Génie Civil / Soletanche Bachy / Eiffage Fondations pour TVM**
- **Groupement Spie Batignolles Génie Civil / Spie Batignolles Fondations / Deluermoz / Gantelet-Galaberthier pour SBS**
- **Vinci construction France pour les projets PPB et To Lyon**

MÉTROPOLE DE LYON :

- **Service Voies Rapides et Tunnels**
- **Direction de l'Eau**

RÉSEAU DE TRANSPORTS EN COMMUN :

- **Sytral**
- **Kéolis**

ABSTRACT

UNDERGROUND INFRASTRUCTURE OF LYON PART-DIEU MULTIMODAL TRANSPORT HUB: TVM AND SBS

VINCENT FAGOT, EGIS - JAMES DUPONT, EGIS

The Lyon Part-Dieu district is undergoing a large-scale redevelopment project. This multimodal hub is reaching saturation point, and new above-ground and underground infrastructure is needed to connect trains, metros, tramways, buses, taxis, cars, bikes and pedestrians in optimum conditions, while protecting the life of the district. This infrastructure must be built while limiting impacts on the operation of the station, and in a sensitive hydrogeological and geological environment bathed by the aquifer of the Rhône. Egis performs project management for the two key structures of this project: the extension of the existing Vivier-Merle tunnel (TVM) dating from 1975 over a length of 118 metres, and the creation of the Brotteaux-Servient exit (SBS) from the Place-Basse car park. Delivery is expected in 2023. □

LAS INFRAESTRUCTURAS SUBTERRÁNEAS DEL POLO DE INTERCAMBIOS MULTIMODAL LYON PART-DIEU: TVM Y SBS

VINCENT FAGOT, EGIS - JAMES DUPONT, EGIS

El distrito Lyon Part-Dieu está siendo objeto de un proyecto de ordenación de gran amplitud. Este eje multimodal está llegando a la saturación y precisa de nuevas infraestructuras aéreas y subterráneas para optimizar la conexión de trenes, metros, tranvías, autobuses, taxis, coches, bicicletas y peatones, preservando el funcionamiento del barrio. Dichas infraestructuras deben ser construidas limitando sus impactos sobre el funcionamiento de la estación y en un contexto hidrogeológico y geológico delicado, bañado por la capa freática del Ródano. Los equipos de Egis se encargan de dirigir la realización de dos obras claves de este proyecto: la prolongación del túnel de Vivier-Merle existente, que data de 1975, sobre una longitud de 118 m y la creación de la salida de Brotteaux-Servient desde el parking Place-Basse. Entrega prevista en 2023. □



1
© BOUYGUES TPRF

LES GARES DU TELEO - TOULOUSE

AUTEURS : MAXIME BOCOURT, INGÉNIEUR STRUCTURES MÉTALLIQUES, SYSTRA - CHARLES CAYATTE, CHEF DE PROJET, SYSTRA - JEAN-FRANÇOIS FANET, INGÉNIEUR SYSTÈME, POMA - ALEXANDRE MARTINEZ, CHEF DE PROJET AMO, INGEROP - ADRIEN ROUSSEL, CHEF DE GROUPE MÉTHODES, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE

TELEO EST LE NOUVEAU NOM DU TÉLÉPHÉRIQUE TOULOUSAIN (ANCIENNEMENT TÉLÉPHÉRIQUE URBAIN SUD - "TUS"). CE PROJET EST LE FRUIT DE DIAGNOSTICS ET DE CONCERTATIONS MENÉS AVEC L'ENSEMBLE DES PARTENAIRES DE LA MÉTROPOLE DEPUIS 2006, QUI ONT ABOUTI AU PROJET DÉFINITIF PRÉFIGURÉ PAR LES TRAVAUX DÉMARRÉS DURANT L'ÉTÉ 2019. CE TÉLÉPHÉRIQUE, INSCRIT AU PROJET MOBILITÉ 2020-2025-2030 DE LA MÉTROPOLE, PERMETTRA DE RELIER LES SITES DE L'ONCOPOLE, DU CHU RANGUEIL, ET DE L'UNIVERSITÉ PAUL SABATIER EN SEULEMENT 10 MINUTES.

INTRODUCTION

Le téléphérique sera connecté à l'ouest au réseau de transport en commun (LINEO 5), et, à l'est, au métro Ligne B (station Université-Paul-Sabatier). Favorisant la mobilité douce et maillon fort de l'intermodalité, Tisséo Collectivités a accompagné le projet de TELEO par la construction d'un parking de 500 places à proximité de la station

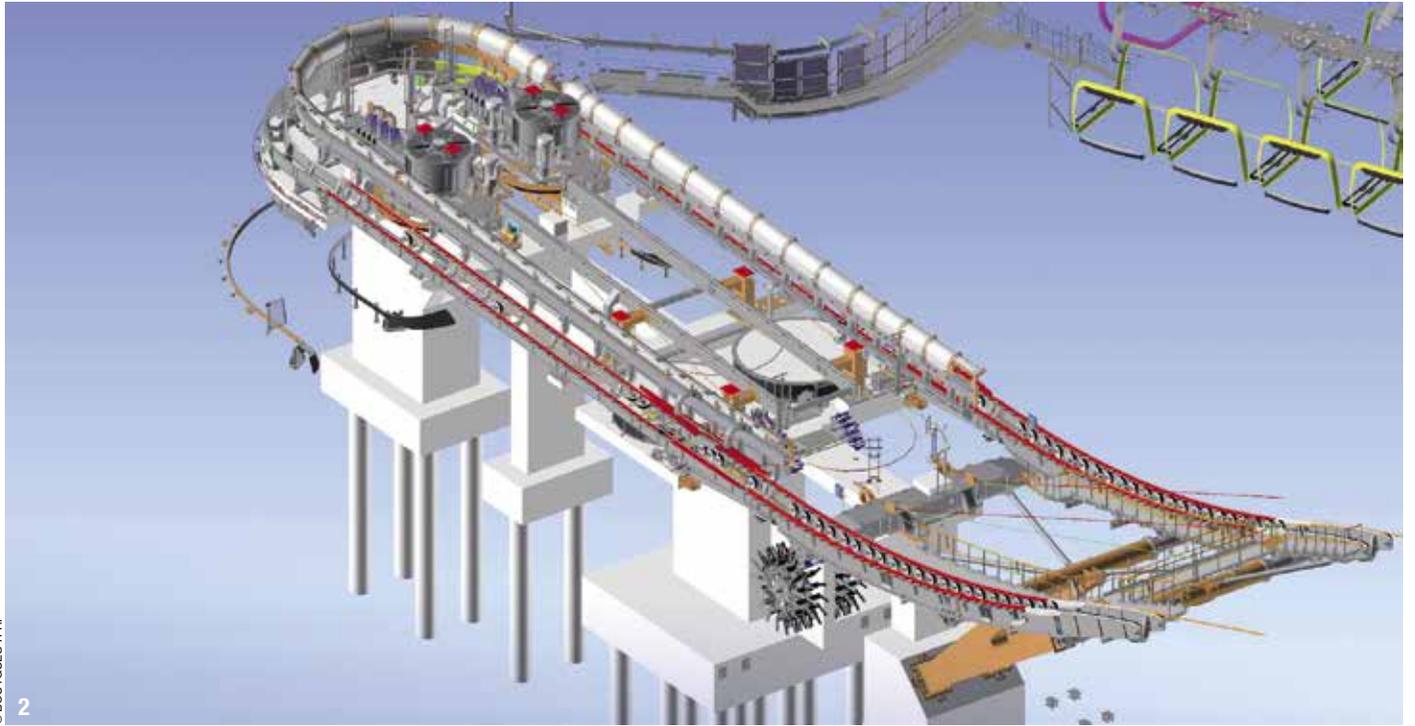
Oncopole. Il inaugurera ainsi le premier maillon de la "Ceinture Sud" définie au Projet Mobilités. Il répondra à un besoin croissant de mobilité sur le secteur Sud toulousain et permettra une desserte efficace du CHU Rangueil pour les patients, mais également pour les étudiants de l'Institut Universitaire du Cancer de Toulouse et de l'Université Paul Sabatier.

1- Les quatre piles et chevêtres BA d'UPS.

1- The four reinforced concrete piers and cross-beams of UPS.

CHOIX DU TÉLÉPHÉRIQUE DÉBRAYABLE 3S

Le choix d'un transport par câble de 3 km s'est rapidement imposé pour permettre le franchissement des éléments naturels et de la topographie du site (100 m de dénivelé) : les ballastières, la Garonne, les coteaux de Pech-David. Il s'agit toutefois d'un choix innovant, peu de transports par câble ayant



© BOUYGUES TP&F
2

vu le jour en milieu urbain en Europe. Le choix entre un monocâble et la technologie 3S s'est opéré pendant la phase d'appel d'offres selon une procédure négociée. Le maître d'ouvrage a finalement opté pour la technologie 3S au regard des avantages majeurs par rapport à une technologie monocâble (usuellement appelée "Télécabine"). En effet, le Téléphérique Débrayable 3S est une technologie de transport par câble qui marie les caractéristiques d'un téléphérique multicâble à celles des appareils débrayables.

2- Le système 3S sur ses chevêtres en gare UPS.
3- Les sabots d'entrée de gare UPS.

2- The 3S system on its crossbeams in UPS station.
3- The drag shoes on entering UPS station.

Le 3S est composé de 3 câbles ("Seile" en allemand, d'où 3S) : 2 câbles porteurs assurent le supportage des véhicules tandis que le câble tracteur disposé en boucle assure leur mouvement sur la ligne. L'ensemble des véhicules (au nombre de 15 sur Téléo) circulent sur les câbles porteurs dans un mouvement unidirectionnel continu. À leur arrivée en station, les véhicules ralentissent jusqu'à la zone de quai après découplage du câble tracteur sans ralentissement de ce dernier.

Il permet le franchissement de grandes distances avec un nombre de pylônes réduit. Là où cinq pylônes suffisent à assurer le tracé d'environ 3 km de Téléo, une solution de type monocâble aurait nécessité une vingtaine d'ouvrages de ligne. Comparé au monocâble, le téléphérique 3S offre une stabilité accrue au vent. Les vitesses atteintes sont également supérieures aux vitesses admises actuellement sur un appareil monocâble, avec, à la clef, une réduction des temps de trajets. On note aussi une réduction des nuisances sonores sur ces appareils. Enfin, il offre des cabines spacieuses pour le transport de ses passagers (34 places sur Téléo à comparer aux 10 places habituelles des "Télécabines"). Une fois en gare les cabines circulent à très faible vitesse, jusqu'à un arrêt complet, propice à un débarquement et à un embarquement confortables, et offrant aussi une accessibilité PMR optimale.

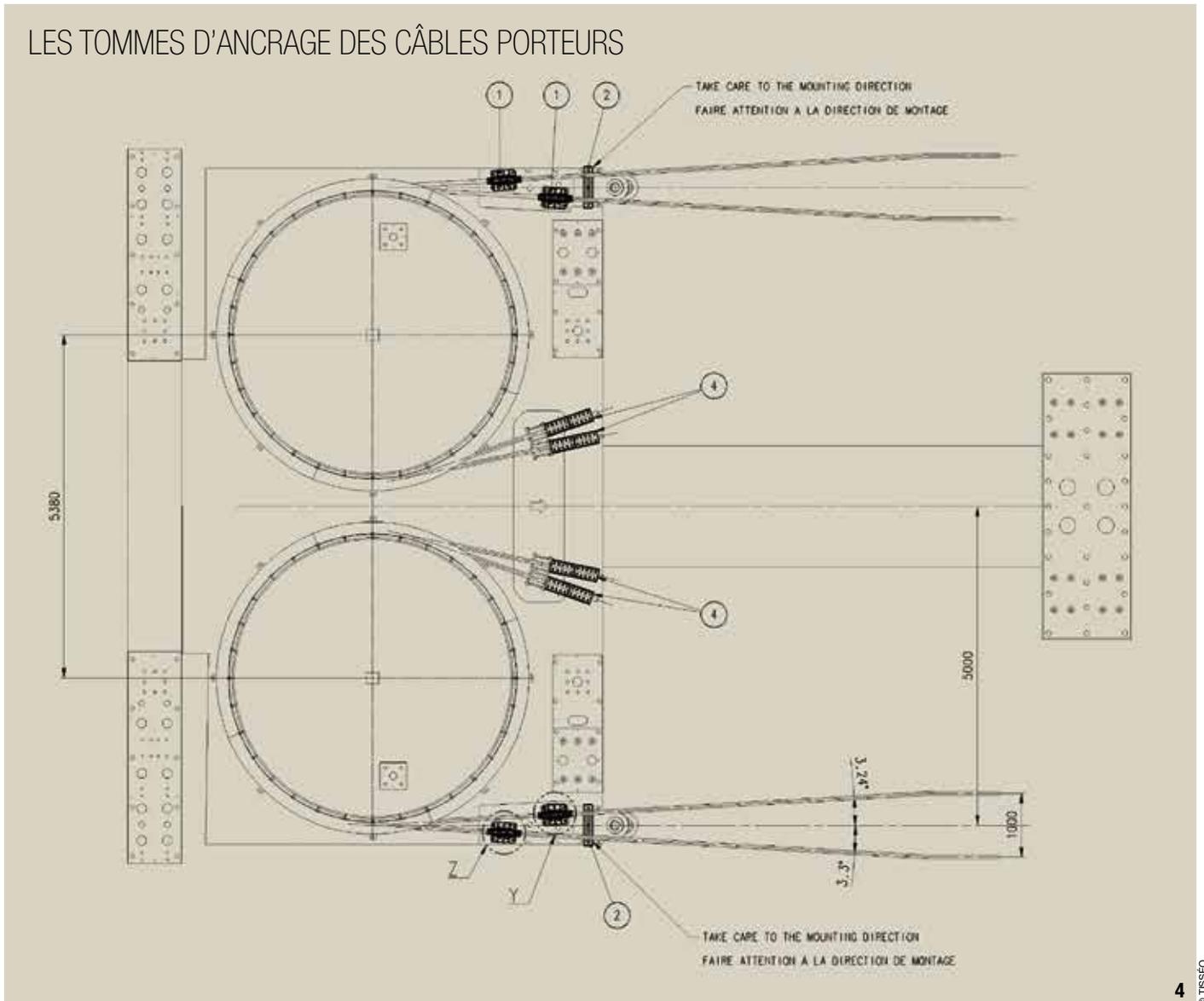
LES CONTRAINTES LIÉES AUX SITES

Situées en lit majeur rive gauche de La Garonne, les infrastructures d'Oncopole ont été conçues dans le but de minimiser les perturbations d'écoulement en période de crue. L'ensemble des quais de la station et des bâtiments techniques ont ainsi été positionnés sur pilotis, au-dessus de la cote de la crue de référence (1875).



© BOUYGUES TP&F
3

LES TOMMES D'ANCRAGE DES CÂBLES PORTEURS



4

4- Les tommes d'ancrage des câbles porteurs.
5- La gare Oncopole, clos-couvert en court de finition.

4- The anchor discs of the suspension cables.
5- Oncopole Station, enclosed and roofed, undergoing finishing.

Une rampe PMR a été aménagée pour permettre aux voyageurs d'accéder directement aux quais d'embarquement des cabines.

La gare Hôpital-Ranguel - Louis-Lareng (CHU) s'inscrit dans un site contraint en termes d'espace disponible et de topographie, au contact des accès aux



5

© TISSÉO

© BOUYGUES TPPE



© BOUYGUES TPRF

6

parkings visiteurs et au bâtiment d'accueil de l'hôpital. Son design compact a dû tenir compte des conditions de stabilité du talus existant à assurer, tout en préservant l'intégrité des constructions voisines. La gare d'extrémité, située sur le campus de l'Université Paul Sabatier, est implantée en partie au-dessus du tunnel du métro Ligne B reliant les stations Université-Paul-Sabatier et Ramonville. La conception de la gare Université-Paul-Sabatier (UPS) et du Garage-Atelier (GAT) attenant devaient donc prendre en compte la présence du métro sous, et à proximité, des ouvrages. Des relevés avant et après travaux ont été réalisés à l'intérieur du tunnel du métro afin de relever les éventuelles fissures et désordres existants et en assurer une surveillance régulière.

6- La gare UPS à droite et le Garage-Atelier à gauche.

7- La gare CHU.

8- Le chantier de CHU en novembre 2020.

9- Les sabots de sortie Ouest de CHU.

6- UPS Station on the right and the equipment depot on the left.

7- CHU Station.

8- The CHU construction site in November 2020.

9- The drag shoes at the western exit from CHU.

LA CONCEPTION DES GARES LES GARES D'EXTRÉMITÉ (ONCOPOLE ET UPS)

Les stations du projet sont structurellement proches des stations réalisées précédemment par Poma sur le système 3S. Elles sont constituées de quatre piles en béton armé, PI à PIV, depuis l'avant de la gare, jusqu'à l'autre extrémité où se situent les quais et points d'arrêt des cabines. Ces appuis sont de section rectangulaire de dimensions variables et portent des chevêtres sur lesquels le système 3S est ancré (figures 1 et 2) :

→ L'appui PI d'entrée de gare est surmonté d'un chevêtre en caisson métallique (appelé "potence") sur lequel s'ancrent les sabots d'entrée et de sortie de gare (figure 3).

→ L'appui PII porte une large table en béton armé de 11 m par 8 m, surmonté des deux tommes d'ancrages, cylindres verticaux de 4,5 m de diamètre. Les 3,5 tours réalisés par chaque câble porteur autour de ces tommes permettent de répartir leur tension sur l'ouvrage et d'obtenir une tension résiduelle minimale au terme de cet enroulement. La tension résiduelle, d'environ 10 % de la tension d'entrée, est reprise par un ensemble compact de brides ou "mordaches" qui sont redondées (figure 4).

→ L'appui PIII est surmonté d'un chevêtre portant les châssis des motorisations du système en gare UPS.

→ Enfin, l'appui PIV, trapézoïdale en élévation porte une large table en béton armé semi-cylindrique, sur laquelle s'ancrent les appuis arrière des châssis système décrits sur l'appui PIII de la station UPS, ou les appuis du châssis de la poulie retour en station Oncopole (figures 1 et 2).

En outre, les appuis PII et PIII de la station UPS supportent deux longerons principaux sur lesquels se positionne le lorry de tension. ▷

© BOUYGUES TPRF



7

© TISSÉO



8



9

© BOUYGUES TPRF



10

© BOUYGUES TPRF

Cet équipement qui translate sur les longerons permet d'ajuster la position de la poulie de renvoi, et ainsi d'adapter la tension de la boucle du câble tracteur.

L'ensemble des chevêtres décrits ci-dessus portent les "poutres à pneu" sur lesquelles roulent les véhicules en gare. Les poutres à pneu longitudinales s'interfacent sur les chevêtres en béton par l'intermédiaire de paliers souples (appuis néoprènes) pour que la dilatation du système ne soit pas bridée par les structures. Un coulisement des poutres à pneu longitudinales par rapport à la zone contour est permis par un système de recouvrement des rails qui assurent la continuité du roulement du véhicule.

À noter que le chevêtre en béton armé de l'appui PII est traversé par une série de barres précontraintes horizontales longitudinales qui permettent la mise en place d'un ancrage dédié à la maintenance. Grâce à cet ancrage, une reprise de tension des câbles porteurs peut être réalisée en extrémité des sabots d'entrée de gare. Dans ce cas de maintenance, les tirants métalliques situés entre les sabots portés par l'appui PI et la table en béton armé de l'appui PII transmettent l'effort de tension des câbles porteurs sur l'avant du chevêtre de l'appui PII. Ces barres précontraintes permettent de maintenir comprimé le relativement fin chevêtre de PII en phase de maintenance. Le système est recouvert d'une char-

10- Le treillis spatial de CHU et les mégots supportant le système.

11- Plan du treillis portant le système et clos-couvert à CHU.

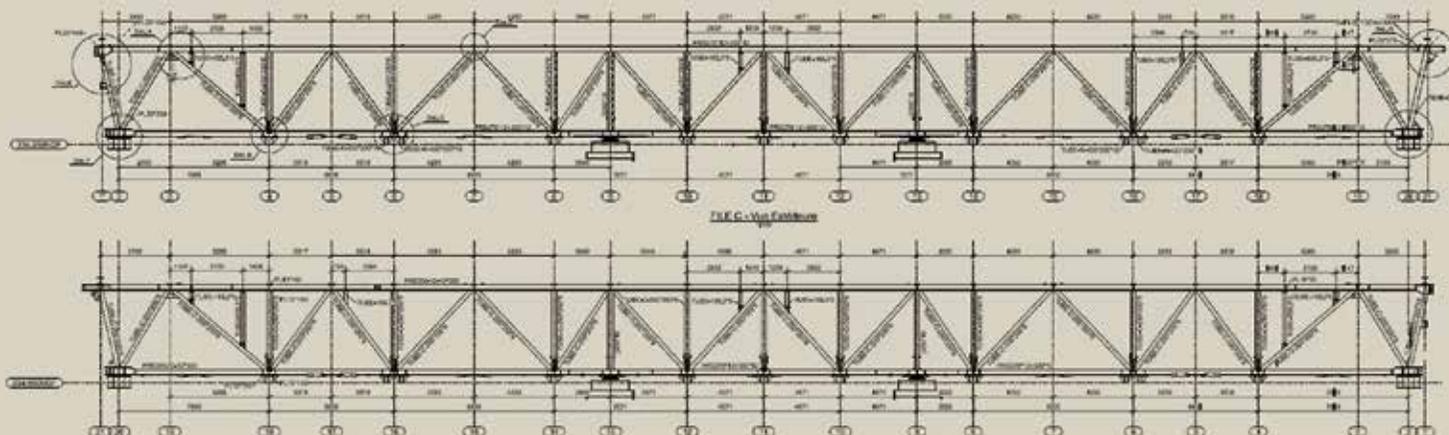
10- The CHU space lattice and cantilevers supporting the system.

11- Drawing of the lattice carrying the system and fencing and roofing at CHU.

penne légère, faite d'un maillage de poutres-treillis longitudinales et transversales portés par quelques poteaux descendant aux rares emplacements laissés libres par le système sur les appuis PI à PIV.

En gare UPS, le GAT, en charpente métallique légère (figure 6), est situé en parti au-dessus de la Ligne B du métro. Pour éviter de transmettre des efforts au cadre en béton armé du métro, un ouvrage pont en béton armé a été réalisé, porté par deux files de pieux doublement tubés ne transmettant aucune charge horizontale. Cet ouvrage porte les premières files de poteaux de charpente du GAT, ainsi que la dalle béton armé sur laquelle circuleront les camions de livraison.

PLAN DU TREILLIS PORTANT LE SYSTÈME ET CLOS-COUVERT À CHU



11

© BOUYGUES TPRF

LA GARE INTERMÉDIAIRE (CHU DE RANGUEIL)

La station CHU (figures 7, 8 et 9) constitue la gare intermédiaire du projet, elle comporte deux quais indépendants (Nord et Sud). L'ensemble des câbles transite dans cette station sans discontinuité. À l'opposé des stations d'extrémités, une conception spécifique a dû être adoptée pour cette station. La partie supérieure de la structure permet de supporter le système et ses plateformes de maintenance, abrités ensemble par le clos-couvert. Elle est constituée de deux poutres-treillis jumelles de 74 m de long (figures 10 et 11), composées de membrures principales hautes et basses, de montants et diagonales en V, le tout en profilés du commerce, si ce n'est quelques éléments transversaux en PRS.

La structure treillis met à disposition "24 mégots métalliques", en tubes carrés ou caissons PRS, sur lesquels sont ramenés les éléments du système. Dans une logique industrielle, les mégots sont distribués selon les appuis standard des poutres à pneus définis par ailleurs sur les autres stations.

La géométrie de la poutre-treillis est ainsi ajustée selon la distribution de ces mégots. Les mégots étant fixés à une altitude unique, les points d'interfaces de la poutre à pneu sont ajustés par des rehausses intermédiaires.

Les câbles porteurs traversent la station de bout en bout et sont maintenus par une distribution de petits sabots, repris en face inférieure des mégots. Grâce à cette continuité, les efforts amenés par les câbles porteurs sont limités aux réactions et frottements exercés au



12
© BOUYGUES TPRF

12- Charpente portant le quai Sud et la passerelle d'accès à l'ascenseur Sud de CHU.

13- Modèle BIM de CHU - coupe longitudinale.

12- Framework carrying the South platform and the foot bridge for access to the CHU South lift.

13- BIM model of CHU - longitudinal section.

niveau de ces sabots. Dans le même esprit, la trajectoire du câble tracteur se veut la plus rectiligne possible afin de diminuer les efforts sur la structure, tout en respectant les contraintes géométriques fondamentales requises par les phases de débrayage/embrayage des véhicules.

L'intégration des charges du système dans le modèle de calcul a demandé la définition de cas de charges enveloppes et de scénarios de chargement afin de traiter les 74 cas par point de chargement. Cette superstructure repose sur 6 appuis (figure 7). Deux poteaux

centraux en béton armé constituent les "points fixes" pour la charpente et permettent également de supporter certaines poutres du quai. Ils sont conçus comme des piles de pont. Les appuis sont constitués de grains cylindriques. Les quatre autres appuis sont constitués de poteaux, ou palées, bi-articulés, composés de deux tubes carrés reliés par une structure treillis. Les liaisons aux extrémités sont réalisées avec des axes de 80 mm de diamètre.

La forte déclivité du terrain a complexifié l'implantation des quais voyageurs et a imposé la réalisation d'un quai en PRS métalliques, ancrés d'un côté à une longrine en béton armé et, de l'autre, en porte-à-faux sur 11,2 m par rapport aux poteaux en béton armé (figure 12). La géométrie des PRS est elle-même fortement dictée par le gabarit dynamique des cabines. Le dimensionnement du quai a fait l'objet d'une évaluation de son comportement vibratoire sous charges piétonnes. Le calcul a été mené selon le guide du Setra pour un niveau de confort "moyen". Plusieurs itérations ont été nécessaires afin d'adapter le schéma statique et la géométrie des éléments afin de respecter les critères d'accélération limite. Les déformations relatives entre le système et le nez de quai sont limités à 5 mm.

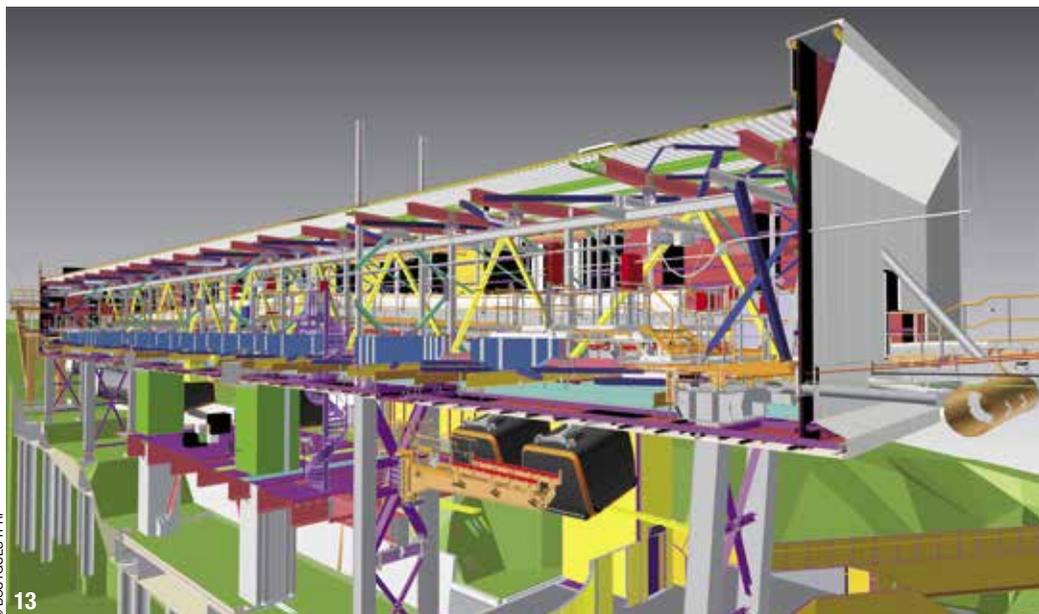
LES FONDATIONS DES GARES

On retrouve le long du tracé le schéma géologique "classique" de Toulouse consistant en un modèle bicouche comportant des formations superficielles (alluvions, colluvions et remblais) reposant sur un substratum épais constitué par les molasses toulousaines.

Tous les appuis du système, sur l'ensemble des gares, sont fondés sur des semelles sur groupes de pieux, allant par exemple jusqu'à 9 pieux de 1,2 m de diamètres et 15 à 20 m de profondeur pour les appuis PII d'ancrage des câbles porteurs en gares d'extrémité. Sont aussi fondées sur pieux les passerelles d'accès aux gares CHU et UPS et la file centrale des poteaux de charpente du GAT, tandis que les locaux techniques des différentes gares, les locaux de vie à UPS et la passerelle d'accès à Oncopole, sont sur fondations superficielles.

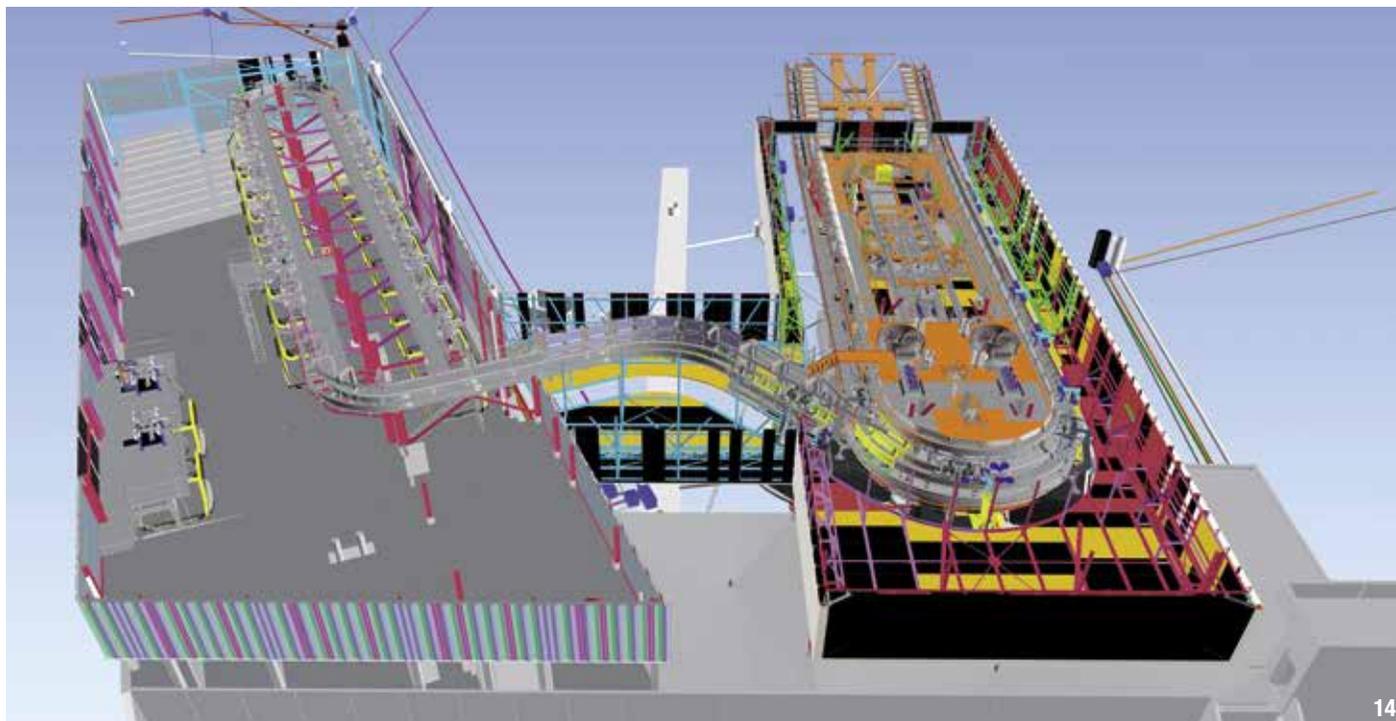
L'EXÉCUTION DES GARES PRIVILÉGER LA PRÉFABRICATION

Les études d'exécution des ouvrages de génie civil sont guidées par un principe de préfabrication pour des raisons architecturales et de méthodologie constructive.



© BOUYGUES TPRF

13



14

© BOUYGUES TP&F

Le projet se différencie d'un téléphérique classique par l'intégration du système dans un contexte d'ouvrage à fortes contraintes architecturales. L'ensemble des parements béton est destiné à rester apparent, avec une finition très soignée. La préfabrication fiabilise la qualité des parements. Ce mode constructif présente également des avantages lors de la construction : optimisation du planning et réduction des ouvrages provisoires. La contrepartie est un temps d'étude augmenté pour prendre en compte le dimensionnement des clavages et des phases provisoires de levage.

Sur l'ensemble des 3 stations, plus de 350 éléments sont préfabriqués, de quelques centaines de kilogrammes à une trentaine de tonnes. On pourra citer les ouvrages suivants : passerelle piétonne d'Oncopole, quais de gare à CHU, cages d'ascenseurs, voiles du garage atelier à UPS, habillage architectural des locaux techniques.

LES TERRASSEMENTS À CHU

Un autre axe de travail a été le terrassement de la station CHU. Elle se situe dans un environnement fortement contraint, implantée sur un talus à proximité directe du centre hospitalier. Le terrassement a été optimisé pour limiter les mouvements de terre et ainsi limiter l'impact sur les flux de circulation du public, des professionnels de santé et des ambulances. Le soutènement de type paroi clouée initialement provisoire est ainsi devenu définitif sur certaines parties. La modélisation du terrain existant, des phases provisoires et définitive a permis la prise en compte

de l'intégration architecturale de la station (figure 7).

L'UTILISATION INTENSIVE DU BIM

En phase d'exécution, les constructeurs (Bouygues Travaux Publics Régions France et Poma) ont choisi de mettre en place une maquette numérique (BIM). L'objectif initial était d'optimiser la gestion des conflits afin de réduire les aléas chantier. La recherche de conflits est automatisée, les équipes techniques

14- Modèle BIM de UPS et du GAT.

15- La gare Oncopole en novembre 2020 et à terme.

14- BIM model of UPS and the equipment depot.

15- Oncopole Station in November 2020 and in future state.

pouvant se concentrer sur leur résolution (figures 13 et 14). À ce jour, le chantier n'a rencontré aucun conflit d'assemblage sur site. C'était pourtant un risque identifié au démarrage de la phase d'exécution au vu de l'imbrication du système et de la charpente de la station CHU. Depuis, l'ensemble des intervenants a investi le processus. La maquette trouve alors de nouvelles utilisations. Les études d'exécution s'appuient sur la maquette (sous-sys-



15

© BOUYGUES TP&F



© BOUYGUES TP&F

16

PRINCIPALES QUANTITÉS

BÉTON : 7 800 m³
CHARPENTE MÉTALLIQUE DES STATIONS : 550 t
DÉBLAIS : 12 000 m³
REMBLAIS : 7 000 m³

tèmes du téléphérique, charpentes, second œuvre, réseaux, équipements). Les bureaux d'étude ont une vision d'ensemble, facilitant la compréhension des données d'entrée et des contraintes s'appliquant à leur sous-système. Les nomenclatures du système téléphérique sont disponibles sur ce modèle unique. C'est un outil particulièrement efficace pour l'identification des composants. Les plans de synthèse sont des sorties de la maquette. La fiabilité est significativement augmentée. Autre bénéfice, la sortie d'illustrations de niveau global améliore la documentation technique de l'appareil.

16- La gare CHU en novembre 2020 et à terme.

16- CHU Station in November 2020 and in future state.

Enfin, une numérisation du chantier est mise en place. À l'aide de vues réalistes, phasages 3D, réalité virtuelle, les équipes appréhendent rapidement les ouvrages et l'environnement (figures 15 et 16).

La mise en place d'une cabine numérique offre aux équipes l'accès aux maquettes au plus près de leur zone d'intervention et les renvoie aux documents nécessaires à la réalisation des ouvrages, mis à jour en temps réel. À fin janvier 2021, sur ces stations, l'ensemble du gros-œuvre et des travaux de clos-couverts sera terminé et les travaux de second-œuvre et lots techniques engagés.

Au niveau du système, le tirage des câbles, démarré en novembre 2020, est en passe d'être terminé. Les équipements du système ayant été montés dans la continuité du gros-œuvre, l'installation des cabines sera une des étapes importantes restant avant les premiers essais du TELEO. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Tisseo Collectivités

MAÎTRISE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉE : Tisseo Ingénierie

EXPLOITANT : Tisseo Voyageurs

AMO TECHNIQUE : Groupement Ingerop / Cabinet E.R.I.C. / Cabinet Cabanes & Neveu

GROUPEMENT DE CONCEPTION / RÉALISATION/MAINTENANCE : Poma / Bouygues Travaux Publics Régions France / Systra / Seti / Sequences / Altiservices

OCTA : Bureau Veritas

COORDONNATEUR SPS : Elyfec

CONTRÔLE EXTÉRIEUR GÉOTECHNIQUE : Alios

CONTRÔLE EXTÉRIEUR STRUCTURES MÉTAL : Institut de Soudure

ABSTRACT

THE TELEO STATIONS - TOULOUSE

MAXIME BOCOURT, SYSTRA - CHARLES CAYATTE, SYSTRA - JEAN-FRANÇOIS FANET, POMA - ALEXANDRE MARTINEZ, INGEROP - ADRIEN ROUSSEL, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE

The Toulouse cableway Teleo will be able to connect the sites of the Oncopole, CHU Rangueil hospital and Paul Sabatier University (UPS) in only 10 minutes. This 3S disengageable cableway, a large-capacity cable transport system, will be the longest urban cableway of this type in the world. The 3 cableway stations have been under construction since the summer of 2019. At the two terminal stations, the system is supported by complex reinforced concrete structures, which are covered with light steel structures. The mid-way station, located on a slope, is unique of its kind. It consists of a metal lattice almost 100 metres long, resting on four bi-articulated bents and two concrete piers carrying the system and the cantilevered platforms. This structure is more like an engineering structure than a station of a conventional transport system. □

LAS ESTACIONES DEL TELEO - TOULOUSE

MAXIME BOCOURT, SYSTRA - CHARLES CAYATTE, SYSTRA - JEAN-FRANÇOIS FANET, POMA - ALEXANDRE MARTINEZ, INGEROP - ADRIEN ROUSSEL, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS FRANCE

El teleférico tolosano Teleo permitirá unir el Oncopole, el Centro Hospitalario Universitario de Rangueil y la Universidad Paul Sabatier en tan solo 10 minutos. Este teleférico desembragable 3S, sistema de transporte por cable de gran capacidad, será el teleférico urbano de este tipo más largo del mundo. Sus 3 estaciones se están construyendo desde el verano de 2019. En las dos estaciones finales, unas complejas estructuras de hormigón armado soportan el sistema, recubiertas por estructuras metálicas ligeras. La estación intermedia, situada en un talud, es única en su género. Está formada por una celosía metálica de unos 100 m de longitud, sustentada sobre cuatro pilares biarticulados y dos pilotes de hormigón que soportan el sistema y los andenes en voladizo. Esta estructura se parece más a una obra de fábrica que a una estación de sistema de transporte clásica. □



© GROUPEMENT EGIS TRACTEBEL

RÉALISATION DE LA GARE DE SEVRAN-LIVRY SUR LA LIGNE 16 DU GRAND PARIS EXPRESS

AUTEURS : OMAR QMICHOU, DIRECTEUR POLE EXÉCUTION ADJOINT, TRACTEBEL ENGIE - JEAN QUERE, INGÉNIEUR GÉNIE CIVIL, TRACTEBEL ENGIE - MARIANNE SENECHAL, DIRECTEUR DE PROJET, EGIS RAIL

LA SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS FAIT RENAÎTRE LE PÔLE INTERMODAL AU NIVEAU DE LA GARE DE SEVRAN-LIVRY. LA FUTURE GARE DE LA LIGNE 16 CONCENTRERA DES FLUX IMPORTANTS DE VOYAGEURS ET MOBILISE À ELLE SEULE UN BUDGET D'ENVIRON 40 MILLIONS D'EUROS POUR LA RÉALISATION DU GROS ŒUVRE. APRÈS LA RÉALISATION DES PAROIS MOULÉES EN 2020, L'AVANCEMENT DES TRAVAUX EST SUR UNE BONNE LANCÉE AVEC UN DÉBUT DES TERRASSEMENTS PRÉVU COURANT DE L'ANNÉE 2021.

INTRODUCTION

Située au sud de Sevrans et à proximité immédiate de Livry-Gargan, la nouvelle gare de Sevrans-Livry accueillera la Ligne 16 du Grand Paris Express (figure 2) ; celle-ci se révèle un moteur au développement de l'est de la métropole, la ligne irriguera en effet la Seine-

Saint-Denis jusqu'aux frontières de la Seine-et-Marne en desservant les gares Chelles et Noisy-Champs. En correspondance avec le RER B et les nombreuses lignes de bus qui desservent la place de la Gare, elle renforce l'accessibilité et la mobilité d'un quartier en plein renouvellement urbain.

1- Réalisation des derniers panneaux de paroi moulée.

1- Completion of the last diaphragm wall panels.

La Société du Grand Paris a estimé que cette gare serait utilisée par 30 000 voyageurs, dont quelque 15 000 personnes résidant dans un rayon d'un kilomètre de la gare. Ce pôle intermodal, proche du centre-ville, s'intègre dans un cadre naturel, entre le parc forestier de la Poudre-



© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS / GROUPEMENT EGIS TRACTEBEL

2

2- Tracé de la Ligne 16 du Grand Paris.
3- Tablier du pont de la gare Sevrans Livry.

2- Alignment of Line 16 of the Grand Paris Express.
3- Deck of the bridge for Sevrans-Livry Station.

rie et le canal de l'Ourcq. Le projet de construction de cette gare de la Ligne 16 est implanté entre le bâtiment Voyageurs de la gare actuelle du RER B de Sevrans-Livry et le canal de l'Ourcq.

L'architecture de la gare a vocation à s'intégrer naturellement dans son environnement végétal direct.

Au-dessus du canal de l'Ourcq, la Société du Grand Paris construit un nouveau pont. Il servira dans un premier temps d'accès au chantier jusqu'à la livraison de la gare. Ensuite, il sera réservé aux piétons, aux bus et aux cyclistes (figure 3).

La gare est conçue par l'architecte Jean-Marie Duthilleul, sa réalisation est pilotée par le groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail/Tractebel-Engie pour le compte du maître d'ouvrage la Société du Grand Paris.



3 © GROUPEMENT EGIS TRACTEBEL

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE - CONTEXTE

Pour permettre la réalisation de cette vaste opération d'aménagement, le projet a obtenu la mention de cause d'utilité publique, à l'issue de l'enquête publique terminée en 2015. Les travaux préparatoires ont par

la suite été confiés au groupement d'entreprises Colas Idf et Bouygues Energies&Services. Ces travaux ont pour objet de préparer et aménager les emprises avant l'arrivée du marché de génie civil, notamment par le dévoiement de réseaux pouvant interférer sur les travaux futurs.

La gare de Sevrans-Livry est implantée entre le bâtiment Voyageurs de la gare du RER B de Sevrans-Livry et le canal de l'Ourcq (figure 4). Le niveau du radier au droit de la gare est compris entre 36,87 NGF et 30,46 NGF. Le niveau du terrain naturel près de la gare SNCF se trouve à environ 56,3 NGF. Ainsi, avec quatre coupes transparentes et des matériaux clairs comme le bois ou la pierre, la lumière naturelle est amenée aux deux niveaux intermédiaires et jusqu'aux quais, à 20 m de profondeur. Les voyageurs et visiteurs profiteront également d'une vue directe sur les arbres du bord du canal de l'Ourcq et du parc de la Poudrerie.

Le premier niveau comprend les deux excroissances superficielles de la boîte souterraine. L'excroissance Ouest contient essentiellement des locaux techniques, alors que l'excroissance Est comprend également des locaux de sécurité, commerciaux et techniques. À ce niveau se situe la correspondance vers les quais de la gare existante du RER B. La jonction entre les gares de la Ligne 16 et du RER B fait l'objet d'une collaboration entre SNCF Réseau et la Société du Grand Paris.

APPLICATION DES TECHNIQUES DES TRAVAUX SOUTERRAINS

La phase de conception, menée en amont de la notification du marché GC, a retenu les dispositions techniques et constructives suivantes : paroi moulée - jupe injectée - injections de compensation - terrassement à ciel ouvert et en taube pour les excroissances. Le projet est conditionné par son environnement, son contexte géotechnique, sa proximité par rapport aux ouvrages SNCF et au canal de l'Ourcq :

→ Au préalable des travaux de soutènement, des injections gravitaires ont été réalisées. Les forages sont injectés gravitairement avec un coulis de ciment. Le but est d'éviter toute perte de boue brutale et d'assurer la stabilité de la tranchée des parois moulées. Ces forages sont réalisés de part et d'autre de la future paroi moulée.

→ Le soutènement de la gare est réalisé avec une paroi moulée de 1,50 m d'épaisseur, ancrée dans les Marnes et Caillasses à 38 m de profondeur (figure 5).

→ Le dispositif d'étanchéité permettant le terrassement de cet ouvrage est la technique de la jupe injectée représentant la fiche hydraulique, ancrée à 59 m de profondeur. ▷

4- Vue d'ensemble du chantier de la gare.

5- Forage d'un panneau de paroi moulée à l'aide d'un cutter.

4- General view of the station construction site.

5- Drilling a diaphragm wall panel with a cutter.

→ L'injection de compensation est prévue pour permettre de corriger les tassements induits par le passage du tunnelier sous la gare actuelle du RER B.

Le projet comprend également la construction d'un nouveau pont au-dessus du canal de l'Ourcq. Ce pont accueillera, en phase exploitation, une voie en sens unique vers le nord utilisée par les bus et autres véhicules autorisés pour accéder au pôle multimodal, ainsi qu'une bande cyclable et une voie piétonne en encorbellement. En phase travaux, il est utilisé pour l'accès au chantier afin de limiter le trafic chantier sur le pont existant. Ce pont est de type pont à poutrelles enrobées, fondé sur pieux (figure 6).

PRISE EN COMPTE DES AVOISINANTS

Avant le démarrage des travaux et lors de la réalisation de l'ouvrage une auscultation en temps réel des avoisinants est mise en place lors du terrassement, les parois moulées et les butons sont notamment auscultés. En cas de dépassement des seuils d'alerte une surveillance accrue des déformations est mise en place et, si nécessaire, un renforcement du soutènement par la mise en place de butons ou tirants supplémentaires est envisagé.

GARE ACTUELLE EN FONCTIONNEMENT DU RER B Bâtiment Voyageurs SNCF

Le projet de la gare de Sevrans est réalisé à proximité du bâtiment Voyageurs de la gare actuelle (figure 7). Egis Rail/ Tractebel a conçu la réalisation de travaux de confortement sous cet ouvrage existant. Ces travaux consistent en des injections de compensation réalisées depuis l'excroissance de la gare. Les injections permettront de traiter le bâtiment Voyageurs sur un linéaire total d'environ 34 m et



4

© GROUPEMENT EGIS TRACTEBEL

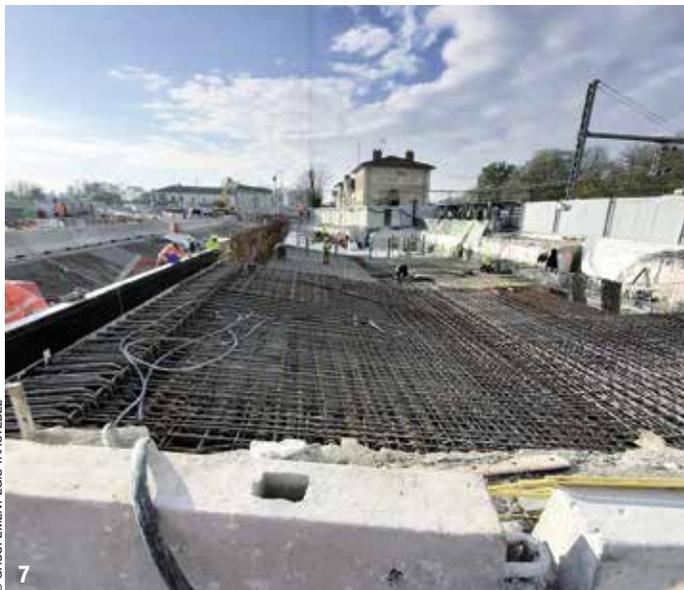


5

© GROUPEMENT EGIS TRACTEBEL



© GROUPEMENT EGIS TRACTEBEL
6



© GROUPEMENT EGIS TRACTEBEL
7

sur l'ensemble de sa largeur (environ 9 m).

Le traitement du sol est réalisé dès la réalisation du radier de l'excroissance et préalablement au passage du tunnelier. Les injections de compensation sont à réaliser lors du passage du tunnelier sous l'ouvrage, voire durant les terrassements de la gare en cas de dépassement des seuils.

Rails RER B en circulation

La proximité immédiate de l'exploitation ferroviaire a impliqué de potentiels

impacts sur les infrastructures de celle-ci. La Société du Grand Paris et son maître d'œuvre ont sollicité auprès de la SNCF, avec 3 années d'anticipation, des créneaux de limitation de vitesse de la circulation sur le RER.

CANAL DE L'OURCQ

La construction du pont sur le canal de l'Ourcq va perturber l'exploitation du canal et de la piste cyclable. Le projet a pour objectif de maintenir la circulation le long de celui-ci.

6- Vue d'ensemble de la réalisation du coffrage du tablier.

7- Ferrailage de la dalle de couverture côté gare existante (RER B).

6- General view of execution of the deck form-work.

7- Reinforcing bars for the cover slab on the existing station side (RER B).

LES TRAVAUX DE RÉALISATION DE LA GARE

Les travaux sont conduits par Egis Rail/Tractebel-Engie, dans son rôle de maître d'œuvre auprès de la Société du Grand Paris (figure 8).

CONSTRUCTION DE LA BOÎTE DE LA GARE SELON L'APPLICATION DES TECHNIQUES DES TRAVAUX SOUTERRAINS

La gare de Sevran-Livry est composée de plusieurs parties. La boîte souterraine : il s'agit de la boîte gare principale profonde de 38 m et des excroissances Est et Ouest superficielles de 12 m de profondeur. La boîte principale souterraine a une forme polygonale et une surface de 1878 m² environ. Ses longspans ont une dimension à l'intrados du soutènement de 55,1 m. Ses tympans Nord et Sud ont respectivement une dimension à l'intrados du soutènement de 23,05 m et 27,87 m. Sa profondeur varie de 25,8 m à 19,4 m (en considérant un terrain naturel à la cote 56,3 NGF) (figure 1). Le site de la gare de Sevran-Livry se situe au droit de zones décomprimées d'importance limitée dans l'horizon des Marnes et Caillasses, avec une présence de gypse massif ou diffus. Ainsi, avant forage des parois moulées, des sondages destructifs systématiques avec enregistrement des paramètres sont réalisés. ▷

8- Vue d'ensemble du chantier de la gare.

9- Réalisation de la dalle de couverture de l'excroissance.

8- General view of the station construction site.

9- Execution of the excrescence cover slab.

Ces travaux permettent d'identifier les éventuelles zones décomprimées et d'adapter la composition de la boue de forage en fonction des paramètres géotechniques et/ou, si nécessaire, traiter la zone par injection.

Ces travaux de fondation et terrassement impliquent des flux de circulation importants. En amont du projet une étude de flux est réalisée pour le réseau routier existant afin d'effectuer des simulations pour chaque phase de travaux et mesurer l'impact du chantier sur le trafic. En tenant compte de facteurs comme les flux, la visibilité, la présence de piste cyclable, de passage piétons, d'arrêts de bus, de carrefours, des itinéraires sont définis et validés avec les autorités.



8

© GROUPEMENT EGIS TRACTEBEL

CREUSEMENT DE LA GARE ET LA RÉALISATION DES STRUCTURES INTERNES.

La partie Sud de la gare (y compris culée Nord du pont) doit être réalisée pendant une coupure temporaire du réseau GRTgaz DN300. La stabilité et le supportage de ces éléments structurels en phase ultérieure des travaux et en phase de service sont assurés par des préfondés provisoires.

La dalle de couverture Nord de la boîte profonde assure la tenue du tympan Nord comme une lierne, elle est réalisée en amont des excavations de la boîte profonde (figure 9). La partie centrale de la dalle basse du niveau S1 de la boîte profonde est prévue être réalisée avant terrassement de la boîte profonde sous son niveau.

La tenue verticale des niveaux est assurée par des préfondés provisoires. Le radier de l'excroissance Est, ainsi que la partie surélevée du radier de l'excroissance Ouest sont réalisés avant le terrassement de la boîte profonde. Ces éléments de l'ouvrage travaillent en tant que liernes



9

© GROUPEMENT EGIS TRACTEBEL



dans l'enceinte de la gare. Cette translation est l'occasion pour réviser certaines installations du tunnelier, changer et contrôler des éléments de la roue de coupe.

CONCLUSION

Le ripage constitue l'échéance majeure avant de permettre de finaliser les derniers éléments de structure interne pour basculer la gare de Sevrans-Livry aux lots de second œuvre et systèmes. Une fois ces lots terminés, les essais dynamiques permettront de programmer la mise en service de la Ligne 16 à l'horizon 2025 (figure 10). □

Références bibliographiques :

- 1- CCTP- marché N° 2016PNO19L02, Livret 0 et livret 1.
- 2- CCAP- marché N° 2016PNO19L02.
- 3- Plaquette Gare Sevrans Livry - Entre ville et forêt, une liaison naturelle. <https://www.societedugrandparis.fr>

extradosés des longs-pans et transfèrent les efforts de poussée d'une paroi à l'autre par l'intermédiaire de la dalle basse centrale du niveau S1, par le tympan Nord et la poutre-voile transversale Sud. La sous-pression hydraulique sollicitant les radiers des excroissances est reprise à l'aide des parois moulées périphériques et des barrettes travaillant en traction.

Pour assurer la stabilité de l'excroissance Est en phase de service, un voile en béton armé, orienté suivant l'axe longitudinal de la gare, doit être réalisé au niveau correspondance (N-1) avant la remontée du niveau de la nappe phréatique qui sera géré par un pompage permanent jusqu'à la réalisation du radier.

La dalle de couverture comportant des retombées de poutres est étanchée à l'aide d'une étanchéité bitumineuse à base de feuille préfabriquée mono-couche (FPM), par une protection anti-racinaire et d'une chape de protection en béton. Cette étanchéité est remontée

10- Perspective extérieure de la gare Sevrans-Livry.

10- Exterior perspective view of Sevrans-Livry Station.

au droit des trémies, pieds de mur, fondations de la pergola et édicules. Le radier en béton armé est étanché par un Dispositif d'Étanchéité par géomembrane (DEG) de type PVC, qui repose sur un béton de propreté de 0,10 m d'épaisseur minimum.

PASSAGE DU TUNNELIER EN DIRECTION DE L'OUVRAGE DE LA MARE AU CHANVRE DANS L'ESPACE DE LA GARE

La gare de Sevrans-Livry, dans un second temps, accueille le tunnelier. Un ripage de ce dernier sera réalisé

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 29 km de ligne en souterrain
- Un investissement de 5,5 milliards d'euros
- 9 gares dont 7 en correspondance avec le Transilien, le RER, ou le tramway
- 1 Centre d'exploitation et maintenance (CEM) à Aulnay
- 4 ouvrages d'entonnement
- 33 ouvrages annexes (puits de secours et de ventilation)
- 9 tunneliers, 36 km de tunnel
- 775 000 habitants concernés
- 200 000 voyageurs par jour
- Sont desservis 3 départements, 4 établissements publics territoriaux, 1 communauté d'agglomération, 16 communes

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE :** Société du Grand Paris
ASSISTANT MAÎTRISE D'OUVRAGE : Artemis
MAÎTRE D'ŒUVRE : Groupement Egis / Tractebel (ingénierie) et Jean Marie Duthilleul (architecte)
ENTREPRISE : Groupement Salini / Nge Webuild / Nge Génie Civil

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF SEVRAN-LIVRY STATION ON LINE 16 OF THE 'GRAND PARIS EXPRESS' PROJECT

OMAR QMICHOU, TRACTEBEL ENGIE - JEAN QUERE, TRACTEBEL ENGIE - MARIANNE SENECHAL, EGIS RAIL

Société du Grand Paris revives the intermodal hub at the level of Sevrans-Livry Station. The future station on Line 16 will handle substantial passenger flows. By itself it involves a budget of about €40 million for execution of the structural work. After completing the diaphragm walls in 2020, work is progressing well, and earthworks are planned to start in 2021. □

REALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE SEVRAN-LIVRY EN LA LÍNEA 16 DEL GRAND PARIS EXPRESS

OMAR QMICHOU, TRACTEBEL ENGIE - JEAN QUERE, TRACTEBEL ENGIE - MARIANNE SENECHAL, EGIS RAIL

La empresa Société du Grand Paris recupera el polo intermodal a nivel de la estación de Sevrans-Livry. La futura estación de la línea 16 concentrará flujos importantes de viajeros y moviliza por sí sola un presupuesto cercano a los 40 millones de euros para la realización de la obra mayor. Tras la realización de las pantallas de hormigón en 2020, las obras avanzan a buen ritmo, con un inicio de los movimientos de tierras previsto a lo largo de 2021. □



1
© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

PASSAGE SOUTERRAIN DE LA GARE SNCF DE SAINT-DENIS (93)

AUTEURS : DAVID LAVIALLE, CONDUCTEUR TRAVAUX PRINCIPAL, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - MAXIME VILLANI, RESPONSABLE STRUCTURE, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - CÉLINE LEFÈVRE, INGÉNIEUR PRINCIPALE, GEOS INGÉNIEURS-CONSEILS - THOMAS NAUDIN, INGÉNIEUR GÉOTECHNICIEN, GEOS INGÉNIEURS-CONSEILS - KHANH LÉ TRAN, SNCF RÉSEAU, DGII-OA, DIVISION SEP1 (STRUCTURES EXPERTISES PATRIMOINES)

L'ENTREPRISE DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION, ACCOMPAGNÉE PAR GEOS INGÉNIEURS CONSEILS POUR LES ASPECTS GÉOTECHNIQUES, RÉALISE LES TRAVAUX DE MISE AUX NORMES DE LA GARE SNCF DE SAINT-DENIS ÎLE-SAINT-DENIS, DANS LE CADRE DU PROJET SDA (SCHÉMA DIRECTEUR D'ACCESSIBILITÉ). L'OBJECTIF EST D'AMÉLIORER LE FLUX DE VOYAGEURS AINSI QUE L'ACCESSIBILITÉ POUR LES PERSONNES À MOBILITÉ RÉDUITE (PMR), DANS LE CONTEXTE D'UNE GARE MAINTENUE EN SERVICE. OUTRE LA CONSTRUCTION ET LE RIPAGE DES CADRES PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON, LES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL COMPRENNENT DE NOMBREUX OUVRAGES PROVISOIRES, DONT NOTAMMENT TROIS PAROIS CLOUÉES, LA MISE EN PLACE DE TABLIERS SOUS CINQ QUAIS ET HUIT VOIES FERRÉES EN SERVICE ET DIVERS OUVRAGES DE SOUTÈNEMENTS. LE MARCHÉ COMPREND AUSSI L'ENSEMBLE DES TRAVAUX DE SECOND ŒUVRE, DE CFO ET CFA, DE REHAUSSEMENT DE QUAIS, AINSI QUE LA MISE EN PLACE D'ABRIS FILANTS.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le SDA s'inscrit au sein du projet urbain Confluence porté par Plaine Commune, visant à regrouper les quartiers "Seine" et "Canal" autour de l'actuelle gare de Saint-Denis, et à réaménager le pôle multimodal.

La liaison entre les parties Est et Ouest de la gare de Saint-Denis est actuellement assurée par trois petits passages souterrains. Ces ouvrages, de 2 à 4 m de largeur seulement, ne permettent pas une circulation satisfaisante compte-tenu du nombre de voyageurs actuel.

**1- Vue drone
du chantier.**

**1- Drone view
of the site.**

Le projet prévoit donc la mise en place d'un nouveau passage souterrain d'une largeur intérieure de 10 m et d'une longueur d'environ 66 m, qui permettra l'accès à l'ensemble des quais par huit escaliers fixes, deux escaliers mécaniques et quatre ascenseurs (figure 2).



© DR 2

Pour cette opération, les maîtres d'ouvrage sont SNCF Réseau et SNCF Mobilité, et la maîtrise d'œuvre générale est assurée par la SNCF (I&P, Dpf et Sda). Le marché de travaux a été attribué à Demathieu Bard. Ils comprennent notamment la mise sur tabliers provisoires des cinq quais et huit voies, la réalisation de trois parois clouées sous le faisceau ferré, de parois en micropieux jointifs et de microberlinoises, ainsi que la construction et le ripage de deux cadres en béton constituant le futur passage souterrain.

2- **Vue d'architecte du souterrain.**

3- **Extrait de la carte géologique vectorisée au 1/50 000.**

2- **Architect's view of the underpass.**

3- **Excerpt from the geological map to scale 1:50000.**

Les modes de fondation des tabliers ont évolué au cours des études et travaux, aboutissant à quatre solutions distinctes : fondations profondes de type micropieux (avec ou sans injection localisée du sol), ou fondations superficielles de type semelles (avec ou sans injection localisée du sol).

Les écrans de soutènement sont des parois de type berlinoise, micro-berlinoise ou en micropieux jointifs. Le PASO, ripé sous la gare et entre les parois clouées, est fondé sur des semelles filantes de 3,7 m de largeur, butonnées.

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

La gare de Saint-Denis est couverte par la carte géologique de Paris au 50 000^e (figure 3).

Les principales formations présentes au droit de la gare sont des terrains sédimentaires de l'Éocène moyen.

Les campagnes d'investigations géotechniques successives ont permis d'identifier la série lithostratigraphique type suivante :

→ **Remblais (RB)** : matériaux hétérogènes, de consistance sablo-limoneuse à marneuse, contenant localement des cailloux de taille variable.

→ **Marnes Infragypseuses (MIG)** : marnes beiges à grisâtres, contenant des graviers calcaires et des nodules de gypse saccharoïde ainsi que de fines intercalations d'argile brune.

→ **Sables de Monceau (SM)** : sables verdâtres, pouvant contenir des bancs de grès et de marne fossilifère.

→ **Marno-calcaire de Saint-Ouen (SO)** : alternance de marnes beiges et de bancs calcaires où peuvent s'intercaler des feuillettes argileuses.

→ **Sables de Beauchamp (SB)** : sables fins gris à vert, pouvant présenter des passées sablo-argileuses et des bancs indurés.

La seule nappe en présence est celle baignant les Marno-calcaires de Saint-Ouen et les Sables de Beauchamp. Elle est artésienne dans la région de Saint-Denis mais n'interagit pas avec les ouvrages de ce projet.

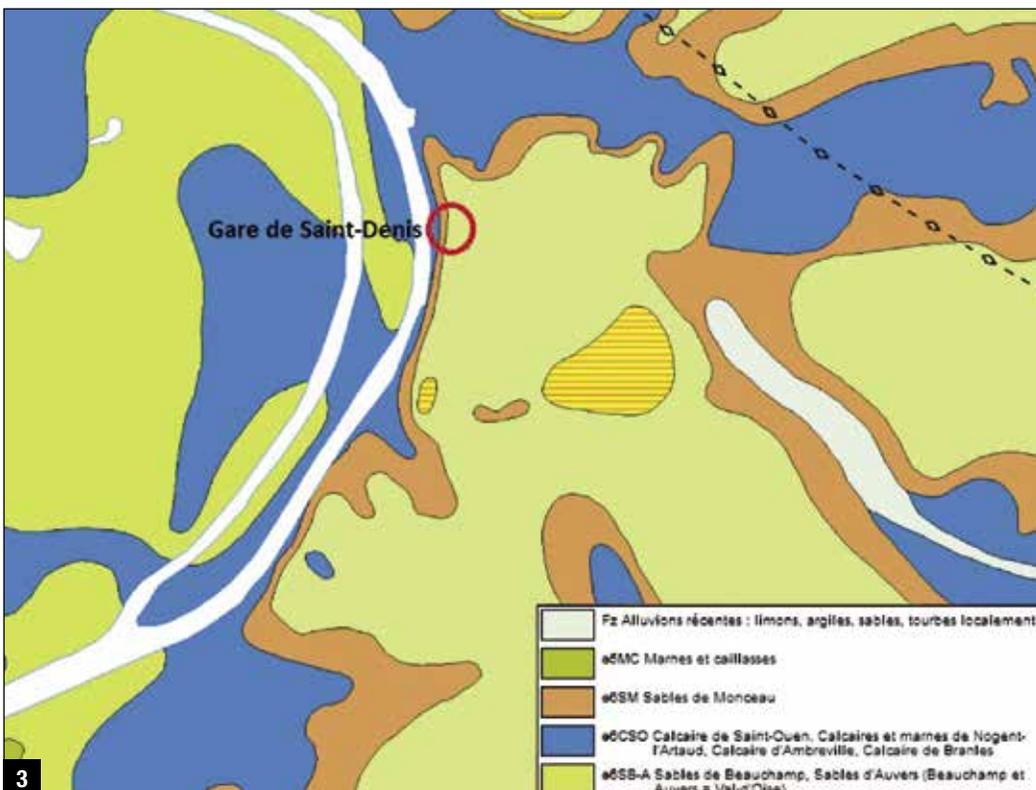
La principale incertitude au démarrage des travaux concernait le comportement (résistance au cisaillement, caractéristiques pressiométriques) des remblais ferroviaires, dont les descriptions disponibles et la nature très hétérogène incitaient à la prudence.

En effet, ces matériaux ont vraisemblablement été mis en œuvre lors d'au moins deux phases distinctes, sous la majeure partie de la gare et sous la voie heurtoir à l'ouest, et leur lithologie s'étend d'une marne à des limons plus ou moins sableux.

PHASAGE

Le chantier se décompose en 7 phases (figure 4) :

Phase 1 : la mise sur ponts provisoires des 5 quais et des 8 voies SNCF lors de 9 week-ends d'interruption de circulation (décembre 2019 à juin 2020).



© BRGM 3

PLAN DE SYNTHÈSE DU PROJET



4

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

Ces travaux ont nécessité au préalable la démolition de marquises amiantées en béton armé sur les quais, le dévoiement des réseaux dans les quais (janvier à juillet 2019), la réalisation de fondations profondes (avril 2019 à avril 2020) et de blindages provisoires (septembre 2019 à janvier 2020).

Phase 2 : la préfabrication, à l'ouest du faisceau, d'un pont-cadre composé de deux tronçons de 1800 et 1600 t (janvier à août 2020) qui ont été mis en place (mi-septembre 2020) à l'aide de chariots automoteurs sous les ponts provisoires (figures 5a et 5b). Le terrassement sous ces ouvrages a nécessité la réalisation de deux parois clouées sous les voies en circulation.

Phase 3 : les tabliers ont ensuite été déplacés de 18 m vers le sud lors de 8 week-ends (août à novembre 2020) afin de pouvoir créer une nouvelle brèche sous le faisceau ferroviaire et ainsi réaliser le génie civil de 4 escaliers fixes et 2 escaliers mécaniques, tout en maintenant la gare en activité (février à mai 2021). Ce terrassement se fait à l'abri d'une nouvelle paroi clouée (décembre 2020 à janvier 2021).

Phase 4 : la dépose de l'ensemble des tabliers de quais et de voies et la remise à l'initiale des voies ferrées et des quais lors de 8 week-ends (mai à juillet 2021).

Phase 5 : le rehaussement des 4 quais de la gare et la réalisation des aménagements de second œuvre dans

4- Plan de synthèse du projet.

5a- Ripage du passage souterrain.

4- Overall plan of the project.

5a- Underpass skidding.

le PASO et les escaliers au sud (septembre à décembre 2021).

Phase 6 : la création des 5 escaliers fixes au nord du PASO, à l'abri de micro berlinoises (janvier à mai 2022).

Phase 7 : la mise en place de 1500 m d'abris filants sur les quais (2022).



5a

© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION



© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION
5b

LES FONDATIONS

Les fondations des tabliers auxiliaires (TA qui supportent les voies) et des tabliers de quai (TQ) doivent répondre à deux exigences principales :

- La rapidité et la fiabilité de leur mise en œuvre dans un contexte très contraint (espace de travail restreint dans une gare en service et travaux sous ITC courtes.
- La reprise des charges d'une structure soumise à des efforts horizontaux importants induits par le freinage d'urgence des trains, dans le respect des tolérances de déplacements, et alors que les fondations s'inscrivent dans une couche de remblais lâches, hétérogènes et

5b- Ripage du passage souterrain.

6- Grue pour la mise en place d'un tablier auxiliaire.

7- Grutage d'un tablier.

5b- Underpass skidding.

6- Crane to place in position an auxiliary deck.

7- Crane handling of a deck.

potentiellement décomprimés sur une épaisseur de 4 à 5 m avant d'atteindre le substratum marno-calcaire.

La solution de fondation retenue a donc été un réseau de micropieux (deux files de trois micropieux sous les voies) après une injection localisée des remblais ferroviaires sous les camardeaux des TA. Cette solution a permis d'obtenir une portance suffisante et de se prémunir contre la plastification des remblais ferroviaires lors d'un freinage d'urgence, en assurant une distribution équitable des efforts horizontaux dans chaque micropieu.

Les micropieux réalisés sont de type III (Injection Globale Unitaire), dans un

forage Ø 250 mm, pour une longueur moyenne de 19 m. L'armature est un tube Ø 219 mm d'épaisseur variable (20 mm en tête, 12,5 mm ensuite) et de nuance d'acier N80.

Il était ainsi initialement prévu la réalisation de 8 groupes de 6 micropieux avec injection localisée du remblai ferroviaire, et de 8 groupes de 6 micropieux sans injection.

Le retour d'expérience des premières opérations d'injection et de réalisation des micropieux, ainsi que le phasage des travaux, ont cependant rendu possible un travail d'optimisation itératif, à l'avancement.

Cela a notamment permis d'adapter les solutions de fondation des tabliers en cours de chantier, afin d'être plus en phase avec les contraintes de délai imposées par le planning des ITC. Une révision à la hausse des hypothèses de sol, grâce à la réalisation de plots d'essais, a également contribué à une évolution favorable des dimensionnements. L'enjeu principal, pour le dimensionnement des fondations des TA, consistait à assurer leur tenue sous des charges horizontales très élevées. L'objectif des injections localisées du remblai ferroviaire était donc d'en augmenter le palier de fluage.

Une autre adaptation a consisté à modifier le mode d'appui des tabliers fondés sur des groupes de micropieux sans injection de sol. Initialement prévus avec un appui fixe au nord et un appui mobile au sud, trois tabliers (les trois voies à l'est de la gare : RO DC RC) ont ainsi été conçus en double appui fixe, afin d'assurer une meilleure répartition des charges horizontales.

Les travaux de micropieux pour les tabliers auxiliaires ont été réalisés dans un environnement particulièrement contraint (figure 7) :

- Tout d'abord, l'accès à la zone de forage se faisait soit par grutage des foreuses et des armatures, soit par cheminement de celles-ci sur la voie ferrée depuis le strail situé à 150 m au sud.
- Ensuite, l'approvisionnement du coulis et le rejet des boues de forage se faisaient grâce à la mise en place de canalisations sous les voies encadrant les zones de travaux, parfois sur une longueur de 40 m.
- Enfin, la réalisation de ces micropieux de type III, sous interruption de voies 32 à 54 h ont mobilisé jusqu'à 4 foreuses en même temps et des effectifs importants afin de permettre des cadences de 5 à 6 h par micropieu de 19 m, par atelier. ▽



© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION
6



7

LES SOUTÈNEMENTS ÉCRANS : BERLINOISES, MICROPIEUX JOINTIFS

Les cages d'escaliers au nord prévues sur quatre des cinq quais de la gare, sont réalisées à l'abri de parois en micropieux jointifs butonnées.

À l'est de la gare, il est prévu la réalisation d'un nouveau bâtiment voyageurs situé 5 m en contrebas de l'actuel. L'émergence à l'est du passage souterrain débouche sur ce futur ouvrage par un accès en tranchée ouverte d'une hauteur de 8,5 m, réalisée à l'abri de parois berlinoises butonnées en vis-à-vis. Ces deux parois très proches présentent une importante dissymétrie du fait de la présence, immédiatement à l'amont de la paroi Nord, des fondations du bâtiment voyageurs historique. Ce dernier, très sensible aux tassements différentiels (critère imposé de 15 mm en tête de blindage), a conditionné le dimensionnement de la paroi, constituée de profilés HEB 280 et butonnée contre l'autre berlinoise provisoire soutenant la grue télescopique de 750 t nécessaire au levage des tabliers côté Est.

Le terrassement entre ces deux parois distantes de 5 m a été réalisé entre les butons métalliques et a nécessité de nombreuses adaptations suite à la découverte de fondations, réseaux et cuves métalliques non référencés (figure 8).

À l'ouest du faisceau ferroviaire se trouve une voie heurtoir réalisée sur un remblai à dominante sableuse, différent de celui de la gare (plus marneux), et soutenu par un mur en L de 7 m de hauteur.

L'accès au quai n°5, situé à l'extrémité Ouest de la gare, implique la mise en place d'un escalier reliant l'entrée



8 © DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

Ouest du PASO. Pour cela, un écran en micropieux jointifs soutenant le quai n°5 sur la longueur de l'escalier a été mis en place à l'aide d'une plateforme provisoire perchée à 8 m de hauteur. Une partie du mur de soutènement existant a ensuite été démolie pour réaliser un nouveau mur en L provisoire permettant de soutenir 4 m de remblais afin d'y réaliser les micropieux de fondation pour le palier intermédiaire de l'escalier. Entre ce mur en L neuf et la paroi en micropieux jointifs a été mise en place une paroi berlinoise en retour permettant la réalisation du palier inférieur de l'escalier. Afin de respecter les critères de déplacement fixés par les normes SNCF, un butonnage de la paroi en micropieux jointifs a été mis en place à l'aide de butons inclinés prenant appui sur la tête du mur en L, ainsi que d'un buton d'angle s'appuyant sur la berlinoise en retour (figures 9a & 9b).

8- Parois berlinoises Est.

9a- Soutènements au droit du quai n°5.

9b- Vue drone des soutènements au droit du quai n°5.

8- Berlin-type retaining walls, East side.

9a- Retaining structures at platform 5.

9b- Drone view of retaining structures at platform 5.

PAROIS CLOUÉES

Les parois clouées sont réalisées "en taube", sous les tabliers provisoires de quais et de voies, en vis-à-vis et espacées de 14,7 m en pied. Elles permettent le terrassement des remblais et

des marnes infragypseuses en vue du ripage du PASO préfabriqué.

En raison de la multitude des situations de calcul le long des parois, en fonction du niveau de leur arase inférieure et des fondations situées à proximité, le nombre de lits de clous, leur position et leur longueur sont très variables.

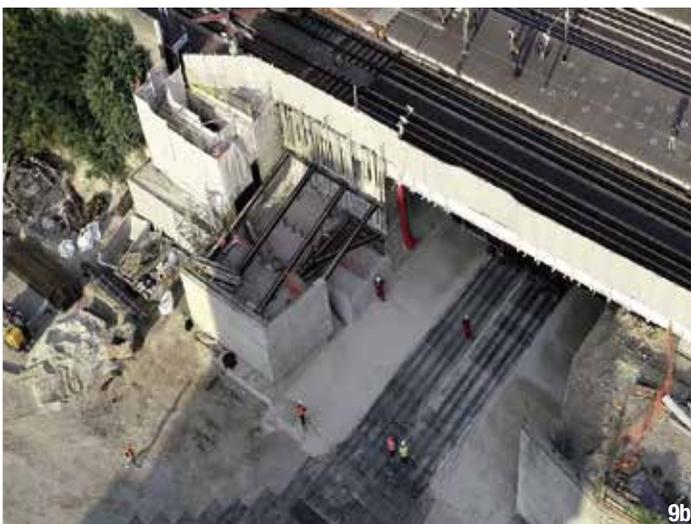
Le dimensionnement de ces parois et la méthodologie de leur réalisation ont fait l'objet de nombreux échanges entre la maîtrise d'œuvre, Demathieu Bard et Geos, afin d'aboutir à une solution permettant d'assurer la sécurité d'un ouvrage sortant du cadre classique de la norme. En effet, les nombreuses interactions entre les ouvrages tels que les blindages, les fondations superficielles ou profondes, les charges de service des voies et des quais en amont et la prise en compte de l'injection des remblais, ont dû être intégrées aux calculs.

Les efforts importants de cisaillement, induits principalement par les charges apportées par les fondations des tabliers, ont conduit à mettre en œuvre des clous de dimensions très importantes au regard du caractère provisoire des ouvrages, à savoir des barres autoforées Ø 40 mm mises en place au sein d'un forage Ø 150 mm (figure 10).

Les parois clouées de la phase 1 ont été réalisées en 24 semaines en maintenant la gare en service. L'organisation de ces travaux a nécessité le passage en 2 postes de journée. Les deux parois ont été réalisées simultanément, avec un terrassement global de la fouille pour chaque passe afin de permettre la circulation des engins de chantier, puis des terrassements plus localisés au droit de chaque paroi pour respec-

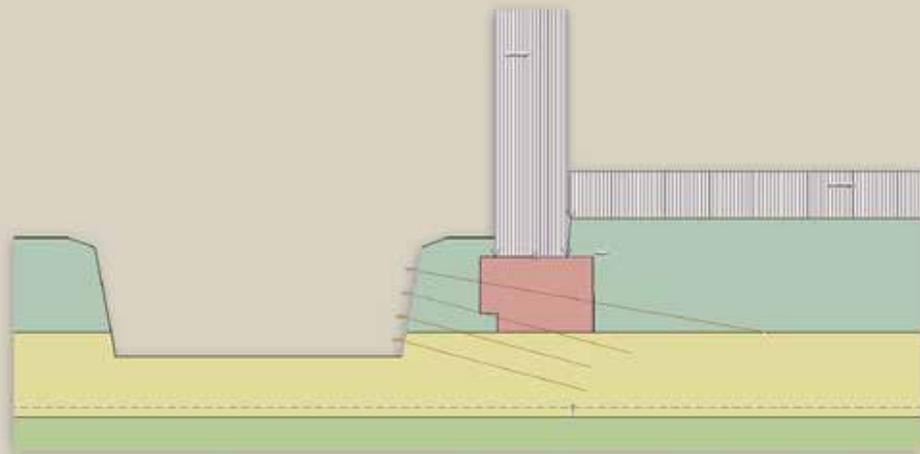


9a



9b

MODÈLE DE CALCUL GEOSTAB DE LA PAROI CLOUÉE



© GEOS

10

ter les dispositions constructives (pia-notage, mise en place de risberme en phase provisoire...). Au total, 432 clous de 4 à 17 m de longueur (4500 m au total) ont été mis en place, ainsi qu'un parement de 20 à 25 cm d'épaisseur.

ORGANISATION ET GESTION DES INTERFACES

Ce chantier extrêmement contraint a nécessité la mise en place d'une organisation particulière permettant :

- L'élaboration d'un phasage de travaux complexe marqué par de multiples phases et ouvrages provisoires.
- La coordination de nombreux intervenants durant des opérations minutées (32 à 76h).
- La réalisation de travaux en deux postes (jour/nuit) en semaine et pendant de nombreux week-ends (18 week-ends en 2020).

→ La gestion de nombreuses interfaces avec l'exploitation de la gare et des chantiers annexes.

→ L'adaptation permanente des solutions techniques, notamment pour les fondations et soutènements nécessaires à la réalisation des ouvrages provisoires.

L'épidémie de COVID a conduit à l'annulation de 4 week-ends de travaux de micropieux sur les voies TGV et à la remise en cause du planning de l'opération. Les équipes travaux de Demathieu Bard, en collaboration avec la maîtrise d'œuvre, ont su adapter de nouveaux phasages et modes opératoires afin d'inscrire ces travaux dans de nouvelles ITC et ainsi préserver le planning du projet. Le chantier a été arrêté durant 4 semaines en 2020, puis a dû reprendre en travaillant en 3 postes la semaine et en 5 postes le week-end, ce pendant 6 semaines. □

10- Modèle de calcul Geostab de la paroi clouée.

10- Geostab design model for the soil-nailed wall.

QUELQUES CHIFFRES

COÛT DES TRAVAUX :

36 792 k€

DURÉE PRÉVISIONNELLE

DES TRAVAUX : 5 ans

PRINCIPALES QUANTITÉS MISES EN ŒUVRE

FONDACTIONS :

- 2 378 m de micropieux

SOUTÈNEMENTS :

- 860 m² de parois clouées
- 300 m² de parois berlinoises
- 250 m² de paroi en micropieux jointifs

MATÉRIAUX :

- 3 500 m³ de béton
- 460 t d'acier

RÉHABILITATION DES QAIS :

- 1 500 m d'abri filants sur quais
- 1 600 m de rehaussement de quai

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SNCF Réseau / SNCF Mobilité

MAÎTRISE D'ŒUVRE : SNCF DGII-OA, DG-IdF et SDA

TITULAIRE DU MARCHÉ : Demathieu Bard Construction

ASSISTANCE GÉOTECHNIQUE : Geos Ingénieurs Conseils

BUREAU D'ÉTUDE GÉNIE CIVIL : Cogeci

PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS

FONDACTIONS SPÉCIALES : Franki Fondation

TERRASSEMENTS : Wiame TP

RIPAGE PASO : Mammoet

ABSTRACT

UNDERPASS FOR THE SNCF STATION IN SAINT-DENIS (PARIS REGION)

DAVID LAVIALLE, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - MAXIME VILLANI, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - CÉLINE LEFEVRE, GEOS INGÉNIEURS-CONSEILS - THOMAS NAUDIN, GEOS INGÉNIEURS-CONSEILS - KHANH LÉ TRAN, SNCF RÉSEAU, DGII-OA, DIVISION SEP1

For the construction of a new underpass beneath the SNCF station in Saint-Denis, while maintaining train traffic and passenger access, exceptional resources and technical organisation were required to ensure compliance with the schedule in an extremely constrained environment. The scale of the temporary structures employed reflects the very significant safety issues related to work under the tracks. Much of the work was performed with a temporary suspension of train traffic, and the pandemic led to a halt in site works for four weeks (from 17 March to 14 April 2020). Nevertheless, the work schedule was able to be complied with thanks to the combined efforts of the contractor, the engineering offices and the project management, and the constant responsiveness of the various entities involved in the project. □

PASO SUBTERRÁNEO DE LA ESTACIÓN SNCF DE SAINT-DENIS (93)

DAVID LAVIALLE, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - MAXIME VILLANI, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - CÉLINE LEFEVRE, GEOS INGÉNIEURS-CONSEILS - THOMAS NAUDIN, GEOS INGÉNIEURS-CONSEILS - KHANH LÉ TRAN, SNCF RÉSEAU, DGII-OA, DIVISION SEP1

La construcción de un nuevo paso subterráneo bajo la estación SNCF de Saint-Denis, manteniendo la circulación de los trenes y el acceso de los viajeros, ha precisado unos medios y una organización técnica excepcionales para respetar el calendario previsto, en un contexto extremadamente restringido. La importancia de las obras provisionales construidas pone de manifiesto los enormes desafíos que supone trabajar con seguridad debajo de las vías. La planificación de las obras (muchas de ellas realizadas interrumpiendo temporalmente la circulación de los trenes) en el contexto de pandemia, que ha obligado de detener la obra 4 semanas (del 17 de marzo al 14 de abril de 2020), ha podido respetarse gracias a las acciones concertadas de la empresa, los gabinetes de estudio y la dirección de la obra, así como a la permanente reactividad de los distintos intervinientes. □

SAINT-MAUR-CRÉTEIL : FOCUS SUR LA GARE LA PLUS PROFONDE DE FRANCE

AUTEURS : GRÉGORY MEYER, RESPONSABLE GÉOTECHNIQUE L15S T2, SYSTRA - EDOUARD ELLUIN, INGÉNIEUR MÉTHODE TRAVAUX SOUTERRAINS, RAZEL-BEC - EL-KHOUSSE GHOUAT, RESPONSABLE TRAVAUX SMC, SYSTRA - ERIC MORDANT, DIRECTEUR TRAVAUX, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

DEPUIS LE MILIEU DE L'ANNÉE 2016, LES TRAVAUX D'EXTENSION DU MÉTRO PARISIEN DE LA LIGNE 15 SUD ONT DÉMARRÉ. ENTRE AUTRES, LA FUTURE GARE LA PLUS PROFONDE DE FRANCE, À SAINT-MAUR-CRÉTEIL (APPELÉE SMC), EST CONSTITUÉE D'UNE PARTIE RÉALISÉE EN TAUPE ET DE DEUX CAVERNES SOUTERRAINES, DONT L'UNE PASSE DIRECTEMENT SOUS LES VOIES DU RER A EXISTANT. ON DÉCRIT LES MÉTHODES EMPLOYÉES POUR PARVENIR À RÉALISER CET OUVRAGE HORS NORME.



© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

PRÉSENTATION DU PROJET

Le tronçon T2 de la Ligne 15 Sud du futur réseau métropolitain "Grand Paris Express" est exécuté sous maîtrise d'œuvre Systra. Il s'étendra, à l'horizon 2025, sur une longueur de 21 km de la gare de Villejuif-Louis-Aragon (gare non comprise) à la gare de Noisy-Champs (gare incluse). Entièrement en souterrain, il traversera principalement des zones urbaines denses, et intégrera trois passages sous-fluviaux (de la Seine et de la Marne). Il desservira 8 gares du Val-de-Marne (94) en

correspondance avec des transports urbains et ferroviaires existants ou en projet, dont la gare de Saint-Maur-Créteil (SMC) (figures 1 et 2), reliée au RER A. Cette gare fait partie du lot T2B, central sur le tronçon T2, mené par le groupement Eiffage Travaux Publics et Razel-Bec (groupe Fayat).

La gare de Saint-Maur-Créteil (figure 3) se situe sur la commune de Saint-Maur-des-Fossés dans le département du Val-de-Marne (94). Elle est juxtaposée au RER A au niveau de la rue des Remises.

1- Vue d'ensemble de la gare.

1- Overall view of the station.

DES DIMENSIONS HORS NORMES

La gare SMC est ancrée à plus de 70 m de profondeur par des parois moulées de 1,80 m d'épaisseur, elle se compose de neuf niveaux, servant de locaux techniques et d'espaces pour les voya-

geurs. Les dalles possèdent une épaisseur comprise entre 1,20 m et 2,3 m pour la dalle de couverture. Il s'agit donc de pas moins de 13000 m² de plancher à aménager.

L'ouvrage se compose de la manière suivante :

- Une partie centrale en forme d'hippodrome de 56 m de long par 36,8 m de large ;
- Des excroissances au nord et au sud au niveau des quais (sous la gare existante du RER A) : 30 m de long par 21 m de large (gabarit utile).

PLAN DE LA LIGNE 15 SUD



© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

2

Une des particularités architecturales de la gare est son puits Sud de plus de 40 m de haut qui accueillera un escalier monumental (figure 4) ainsi que onze ascenseurs permettant ainsi aux voyageurs d'accéder rapidement au niveau mezzanine depuis la dalle du rez-de-chaussée.

Compte tenu de la portée des dalles, de nombreux appuis sont nécessaires pour assurer leur stabilité :

2- Plan de la Ligne 15 Sud.
3- Vue architecturale de la gare SMC.

2- Drawing of Line 15 South.
3- Architect's view of SMC Station.

- Des poteaux au nombre de 58 en partie Nord ;
- Des systèmes poteaux et voiles au nombre de 27 en partie Sud.

La structure béton la plus densément sollicitée est assurément la poutre située au niveau de la mezzanine basse dite "patte d'oie", en forme de tripode, d'une longueur de 36 m par 1,80 m de large et d'une hauteur inhabituelle de 4,50 m (figure 5).

Elle est composée d'un buton central repris par des bracons tendus vers la paroi moulée.

La section d'excavation des cavernes Nord et Sud est également marquante, avec plus de 240 m² à réaliser en méthode conventionnelle dans la Craie. Ces galeries s'élèveront sur plus de 15 m de haut et 21 m de large avant le revêtement final en béton armé.

AVOISINANTS ET DÉFORMATIONS ADMISSIBLES

La gare SMC est située au sein d'un quartier urbain très dense en habitations et à proximité immédiate de la gare du RER A qui accueille 1,5 millions de voyageurs par an (figure 6).

Dans ce contexte, chaque bâti a fait l'objet d'une appréciation de sa classe de sensibilité et des déformations calculées induites par les travaux sur ce même bâti, qui ont permis d'en déterminer sa classe de dommage. Ces deux éléments permettent ensuite de fixer la vulnérabilité du bâtiment et les seuils contractuels correspondants. Des seuils de pilotage ont ensuite été définis en corrélation avec les calculs de tassement pour les différentes phases de travaux de la gare.

Il va sans dire que les déformations calculées (appelées scénario de référence) sont inférieures aux valeurs contractuelles, grâce à la mise en œuvre d'un phasage spécifique.

Les seuils de pilotage sont de deux types :

- Seuil de vigilance : il correspond à 75 % du scénario de référence calculé. Le groupement applique les procédures d'auscultation et de contrôle courantes. En cas d'atteinte de ce premier seuil (notification par alarme téléphonique), l'opérateur accentue le nombre et la fréquence des mesures.
- Seuil d'alerte : si ce seuil est atteint, une réflexion est menée sur la méthode à adopter pour terminer les travaux sans accentuer davantage les déformations.

Le groupement a ainsi mis en place un ensemble d'instruments et de techniques pour surveiller cette gare en activité tout au long des travaux :

- Le mouvement des voies ferrées du RER A RATP (calcul des écarts de dévers, des gauches, des nivellements) par mesures automatisées ;
- La distance rail - nez de quai ;
- Les portiques de la structure porteuse de la gare actuelle (tassement et mise en pente) ;



3

© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS



© CHANTIER T2B EIFFAGE GC - RAZEL-BEC / DRONE IT

- Le mur mitoyen entre le domaine RATP et le chantier de la nouvelle gare (tassement et mise en pente) ;
- Les ouvrages d'art aériens comme le pont "rue des Remises" et le pont "rue du Pont-de-Créteil".

Le système d'auscultation vérifie l'impact des travaux sur l'environnement et alerte en cas d'évolution anormale et/ou mise en cause de la sécurité. Afin d'avoir les évolutions les plus justes possible, la loi de comportement des instruments a été ajustée en fonction de la température.

Un important dispositif d'instrumentation et d'auscultation est mis en œuvre à proximité immédiate de la gare du RER A qui reste en exploitation tout au long du chantier de la future gare du Grand Paris Express :

- 2 centrales de pilotage et d'acquisition ;
- 6 stations totales automatisées ;
- 260 prismes sur les traverses du RER A et 36 prismes en nez de quai ;
- 76 prismes sur les façades des bâtiments avoisinants ;
- 10 fissuromètres ;
- 4 tiltmètres ;
- 1 vibromètre ;
- 16 poutres d'électronivelles de 1 m.

GÉOLOGIE

La gare de Saint-Maur-Créteil a beaucoup évolué depuis sa conception, avec une évolution depuis une forme tournée à 90° et oblongue, en passant par

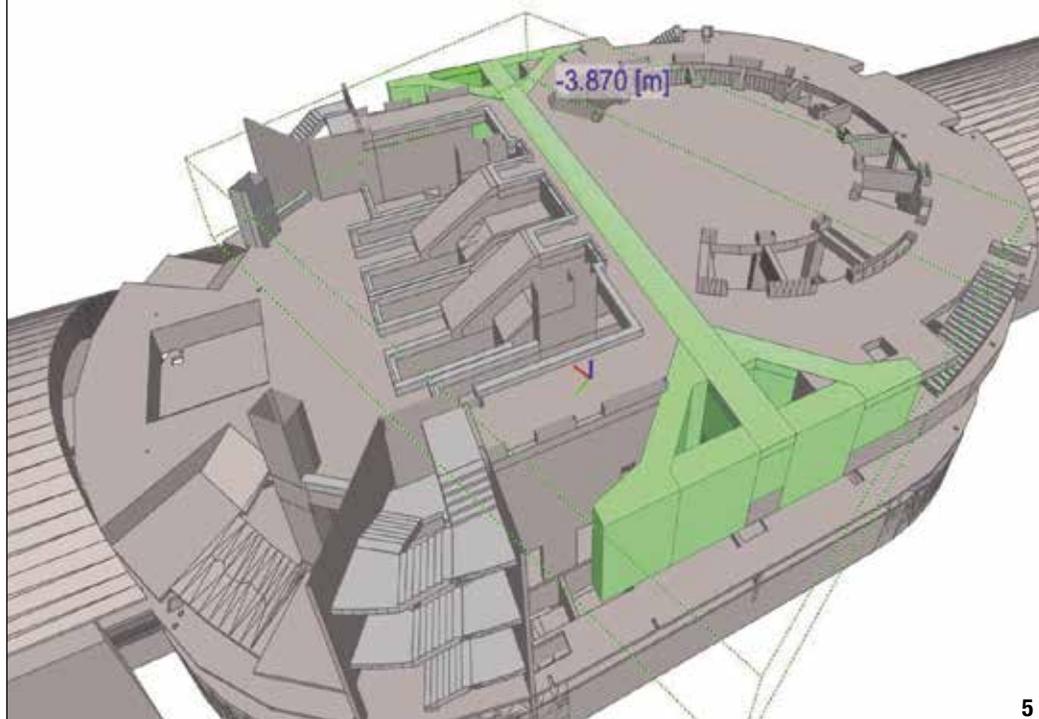
un trilobe, c'est finalement une forme d'hippodrome qui est retenue. De même, la profondeur initiale, beaucoup moins profonde, imposait un fond de fouille dans les Argiles Plastiques détendues, dont les caractéristiques mécaniques ne permettaient pas d'assurer une stabilité avec les coefficients

4- Puits Sud.
5- Schéma de la patte d'oie.

4- South shaft.
5- Crow's foot diagram.

de sécurité requis. Afin de fiabiliser la tenue de l'excavation, il a donc été décidé de venir s'ancrer dans la craie saine, provoquant l'approfondissement du fond de fouille jusqu'à une profondeur de 55 m depuis le terrain naturel et un plan de roulement à 52,7 m de profondeur.

SCHÉMA DE LA PATTE D'OIE





6

© CHANTIER T2B EIFFAGE GC - RAZEL-BEC / DRONE IT

Avant d'atteindre de telles profondeurs, il est nécessaire de traverser une vingtaine de mètres d'Argiles Plastiques de l'Yprésien, déformables et sujettes au gonflement, et une certaine épaisseur de craie altérée, potentiellement aquifère, puisque sa charge est de 30 m au sommet de la craie (figure 7).

En fonction de sa fracturation, le débit lors des terrassements ou la stabilité du fond de fouille peut devenir problématique. Des essais de pompage ont donc été réalisés lors des études de conception et d'exécution, permettant de fiabiliser une perméabilité au niveau du fond de fouille relativement faible (10^{-7} à 10^{-8} m/s). Ces valeurs ont été confirmées lors des terrassements. La présence d'argile gonflante n'a pas été prise en considération dans les calculs de soutènement, en raison de la faible déformation calculée et donc de l'absence relative de modification du champ de contraintes. Ce choix est en lien avec les avancées actuelles du groupe de travail sur la prise en compte des argiles gonflantes dans le dimensionnement des ouvrages de génie civil du Comité Français de Mécanique des Sols (CFMS).

Par contre, les Argiles Plastiques de l'Yprésien sont surconsolidées. Cela peut provoquer une décompression lors du forage des panneaux de paroi moulée, même en présence de boue, et un resserrement de la tranchée, ce qui ne permettrait pas d'obtenir l'enrobage nécessaire des cages d'armatures.

6- Vue aérienne de la gare.

7- Coupe hydrogéologique.

6- Aerial view of the station.

7- Hydrogeological cross section.

Ce sujet avait été appréhendé dès la phase de conception par la réalisation d'une barrette d'essai de 0,8 d'épaisseur, dont le resserrement des parois dans le temps avait été mesuré pendant 5 jours. En phase exécution, le même essai a été reproduit mais avec une épaisseur de paroi identique à celle

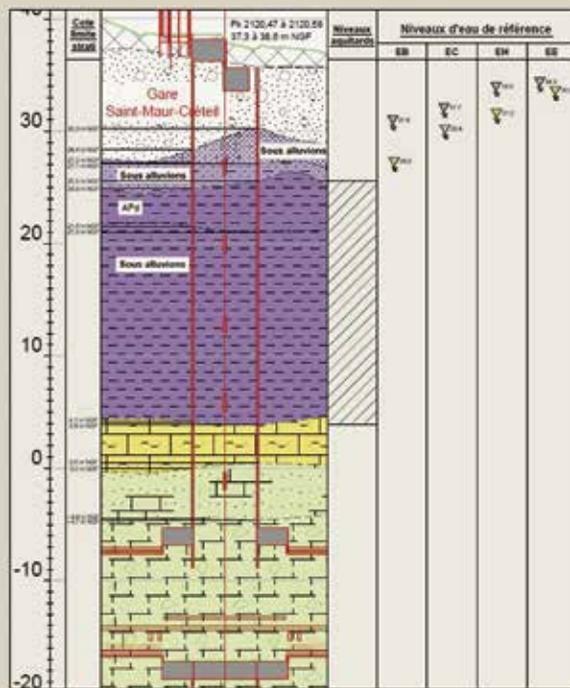
des panneaux de production (1,8 m) et sur une durée augmentée à 7 jours en lien avec le phasage d'ouverture des panneaux. Pour ce faire, la barrette de garage a été utilisée au préalable pour réaliser une auscultation renforcée consistant à mesurer l'évolution de la géométrie de la fouille dans le temps. Le principe de la méthode est de mesurer le temps de propagation d'une onde ultrasons placées au centre de la fouille, à l'aide d'un appareil Koden. Les ultrasons se réfléchissent sur la paroi et reviennent à leur point de départ, et à partir de la vitesse connue des ultrasons dans la boue, il est possible d'en déduire la distance séparant l'émetteur de la paroi (figure 8).

Les essais ont montré qu'au-delà d'un resserrement marqué sur 56 à 72 heures après la fin du forage du panneau (d'environ 2 à 5 cm), des éboulements, parfois relativement importants, se produisent (de taille demi-métrique en latéral). Les mesures inclinométriques réalisées spécifiquement pour ce test et les points topographiques en surface ont néanmoins permis de montrer que l'impact potentiel sur les avoisinants était relativement modéré.

ESSAI DE TRACTION OSTERBERG

Lors de l'étude d'une optimisation de l'épaisseur du radier, il a été étudié la possibilité de faire travailler les barrettes de fondations des préfondés pour reprendre de la traction.

COUPE HYDROGÉOLOGIQUE



7

© SYSTRA



En conséquence, du fait de la sous-pression relativement élevée en lien avec la charge de la nappe de la Craie (50 m en sous-face du radier), les barrettes auraient travaillé à $F_{T0}/R_s = 0,25$ à l'ELS quasi-permanent. Cette valeur impose, selon la norme d'application nationale sur les fondations profondes (NF P94-262, AFNOR) et son amendement de 2018 de réaliser des essais de traction afin de valider la capacité portante des barrettes en traction. Il a donc été envisagé de réaliser des essais de chargement au vérin, intégré dans la fondation, conformément à la norme NF EN ISO 22477-1 (AFNOR) - annexe B. Cet essai consiste à disposer plusieurs vérins de forte capacité à une cote habilement déterminée, c'est-à-dire à la cote où l'équilibre entre les frottements et le poids propre au-dessus du vérin et les frottements/terme de pointe sous-jacents est atteint (figure 9).

Pour des questions de planning, cette solution a finalement été abandonnée en revenant à l'épaisseur initiale de radier.

PHASAGE DES STRUCTURES INTERNES

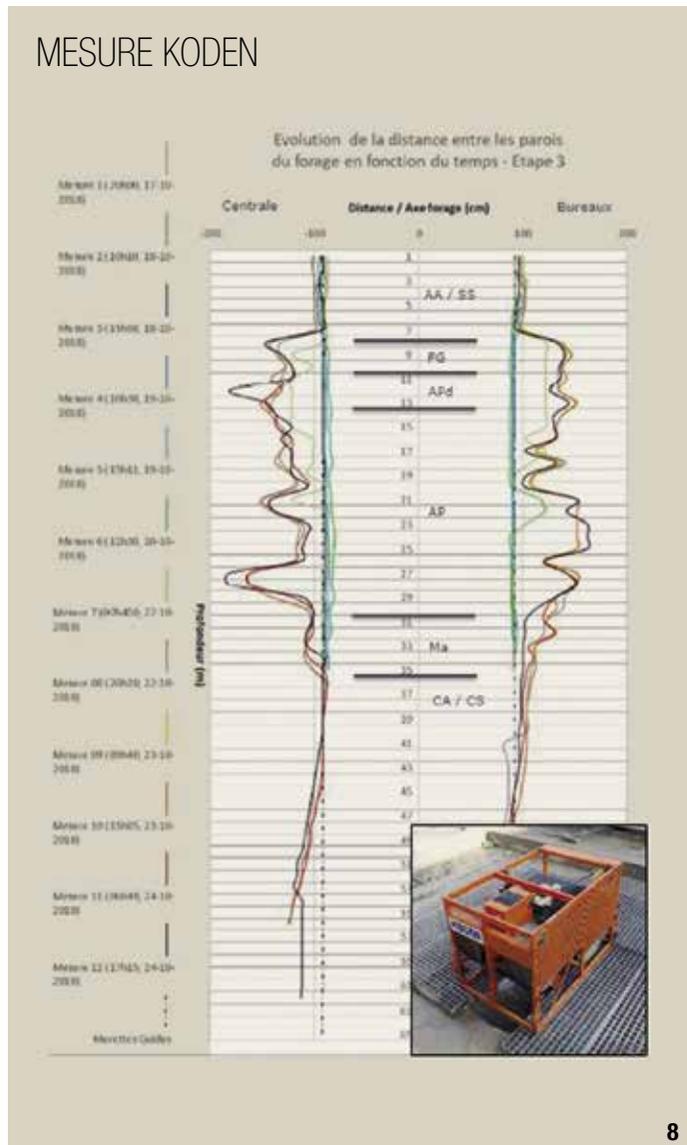
Les premières phases de travaux qui ont suivi les installations de chantier ont consisté en la démolition du parking souterrain existant puis à son remblaiement général sur 3 m de hauteur pour constituer une plateforme de travail en prévision de la réalisation des parois moulées. Au préalable de la démolition du parking, un soutènement des murs périphériques du parking a été défini et réalisé en sous-cœvre (au niveau -2 du parking). Un radier général armé sur une bande de 10 m de large et non armé en partie centrale associé à une " mégapoutre " en béton au droit de la paroi

de la gare existante ont été réalisés. L'objectif d'une telle réalisation était de stabiliser l'ensemble de l'enceinte périphérique préalable à la démolition, en s'affranchissant d'un risque d'affouillement en cas de venue d'eau accidentelle. Ensuite les parois du parking ont été butonnées à l'aide de deux lits de bracons fixés dans le radier généralisé.

Le passage initial de réalisation de l'intérieur de la future gare était selon la méthode dite de la "boîte vide" (terrassement avec six niveaux de butons et génie civil en remontant réalisé sur étaieage). Finalement une solution de top and down avec le passage du tunnelier en "boîte pleine" a été retenue, permettant de soutenir la fouille à la descente en réalisant les dalles à l'avancement. Les activités du tunnelier et la réalisation des structures internes à la gare sont ainsi décorréées. Ce phasage nécessite la réalisation de 12 préfondés en béton armé, de 2,80 m par 1,20 m de section (c'est-à-dire des barrettes), liaisons aux dalles à l'aide de coupleurs intégrés dans le ferrailage. Elles permettent d'assurer la stabilité des dalles lors de la descente du terrassement. Ces barrettes seront ensuite démolies en phase définitives, au profit des poteaux défini-

- 8- Mesure Koden.
- 9- Essai de chargement sur une fondation profonde.
- 8- Koden measuring.
- 9- Loading test on a deep foundation.

MESURE KODEN



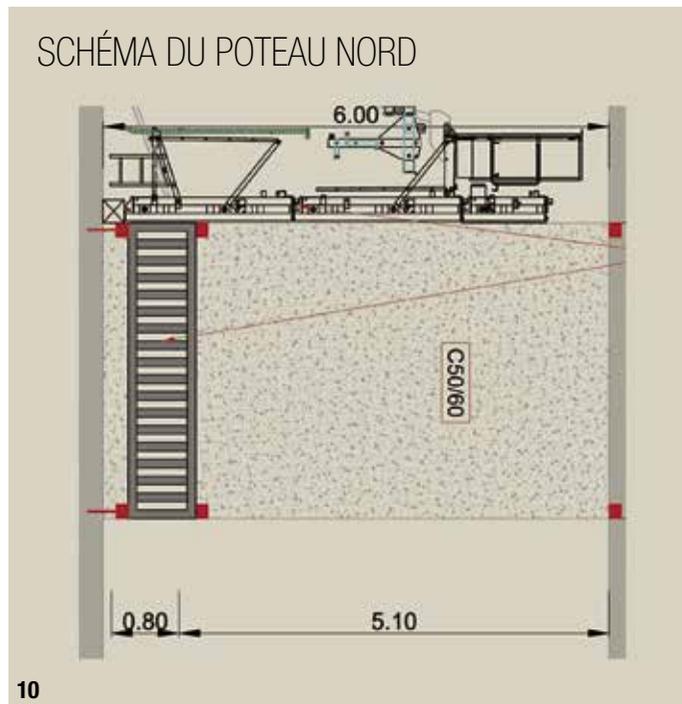
tifs dont la géométrie est calepinée avec le fonctionnel de la gare. Une opération de transfert de charges par vérinage est prévue et permettra de faire transiter les efforts des barrettes provisoires vers les structures définitives, tout en contrôlant les charges dans la structure. Le préalable à cette opération est la réalisation de l'ensemble des poteaux définitifs du niveau R-2 au radier.

La position des vérins se situe en partie basse des poteaux, ce choix technique étant compatible avec les hauteurs des appuis verticaux compris entre 6 m et 8,2 m pour ceux situés entre le radier et la dalle mezzanine.

Une réservation de 80 cm dans l'emprise des poteaux a été définie, permettant la mise en place des vérins ainsi que des armatures de liaison entre la dalle et la partie supérieure du poteau. Les méthodes de vérinage permettent de réaliser une purge des vérins puis leur remplissage au coulis, afin d'assurer la pérennité de ces structures dans l'ouvrage.

Lors de la réalisation des dalles du niveau S1 au radier, les voiles au sud seront réalisés en côtés encastrés, leur particularité étant leur géométrie courbe. La descente de charge associée est de l'ordre de 2400 t pour l'ensemble et 200 t par voile/poteau.

La dalle de couverture initialement appuyée sur la paroi moulée et sur



10
© GROUPEMENT ERB

10- Schéma du poteau Nord.
11- Extrait plan de panneautage.

10- Diagram of the North column.
11- Panelling plan excerpt.

deux porteurs a été rendu autoportante, son épaisseur est alors passée de 1,20 m à 2,30 m. Cette adaptation a permis de supprimer deux poteaux et d'alléger les charges dans les niveaux inférieurs.

Un travail entre le maître d'œuvre et l'entreprise a été mené pour agrandir la section des poteaux afin de pouvoir

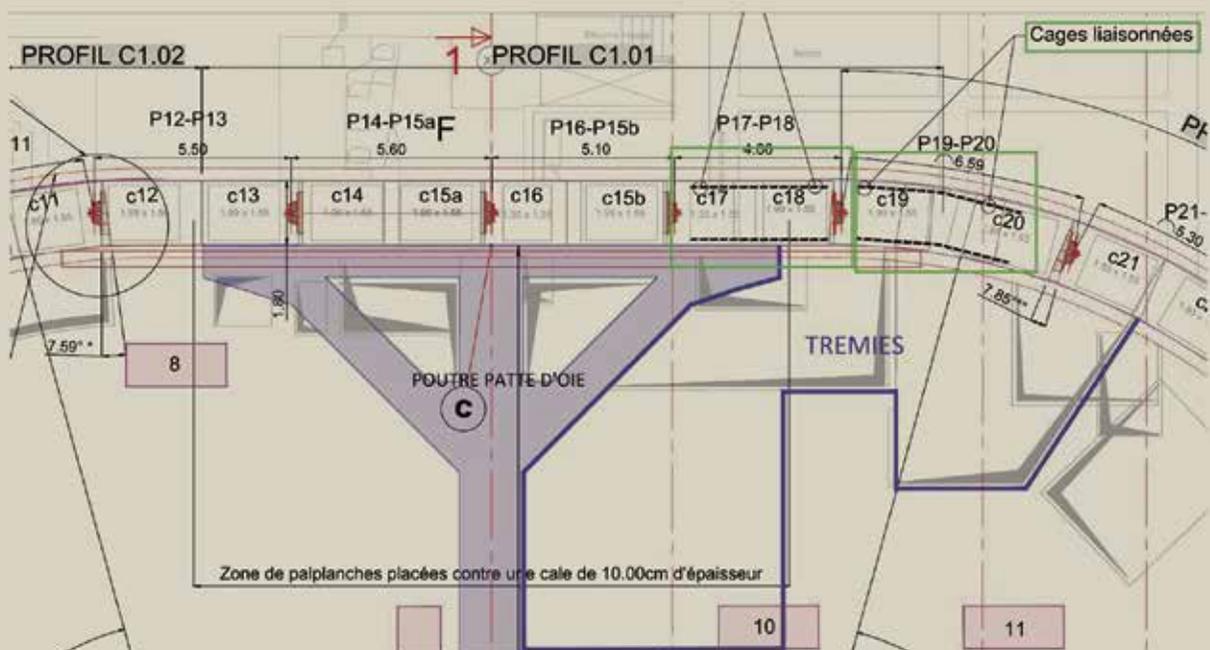
mettre en place le nombre suffisant de vérins selon les charges à reprendre. En études, la section de béton a aussi été calculée en déduisant la surface relative aux vérins pour permettre leur intégration dans l'ouvrage définitif.

Les poteaux au nord qui reprennent une descente de charge de 20000 t au global et de l'ordre de 2500 t par élément, sont réalisés à la descente. En premières phases, ils sont constitués d'une talonnette surmontée d'une réservation en métal puis leur partie supérieure est encastrée dans la dalle N-1 (figure 10).

BUTONNAGE DE CETTE FOUILLE EXCEPTIONNELLE

La fouille que constitue le terrassement à l'avancement de la boîte gare est soumise à des pressions d'eau importantes, équivalentes à 5 bars au niveau du radier. Le phasage de passage du tunnelier en boîte pleine permet de stabiliser cette fouille exceptionnelle à la descente du terrassement, repris par les appuis horizontaux en béton. Entre les futures niveaux mezzanines et le radier, une hauteur de 12 m est à stabiliser, le buton dit en "patte d'oie" assure ce rôle au niveau de la dalle mezzanine basse en reprenant l'ensemble des panneaux de la partie droite, la partie courbe étant comprimée par rigidité circulaire.

EXTRAIT PLAN DE PANNEAUTAGE



© GROUPEMENT ERB

11



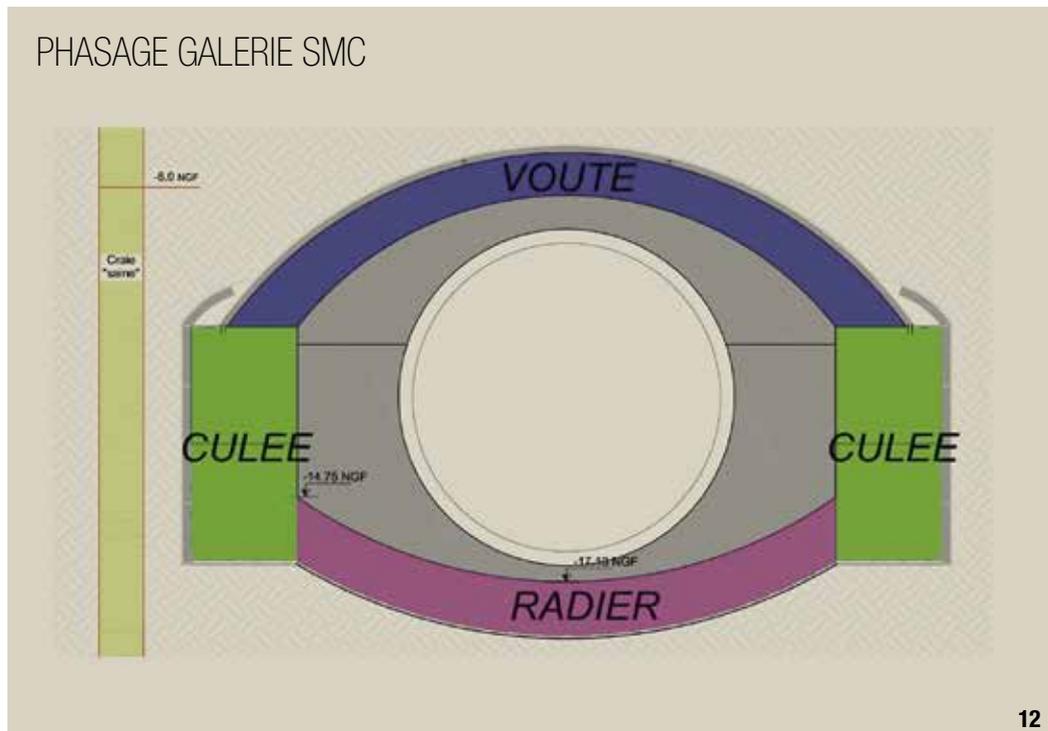
La structure de la patte d'oie et les panneaux de paroi moulée associés ont nécessité des calculs poussés, puisque certaines cages de panneaux de paroi moulée ont été liaisonnées entre elles afin d'assurer une continuité de l'appui et permettre de reprendre des efforts en console, même au droit d'une trémie de chantier (figure 11).

CAVERNES

Compte tenu de la présence de la ligne RER A à proximité immédiate mais également d'immeubles d'habitations au nord de la gare, une partie de l'ouvrage est réalisée en souterrain (26 m de part et d'autre de la partie excavée en taupe). Ces excroissances, appelées cavernes, seront réalisés par méthode conventionnelle au cœur de la craie.

En fonction de sa perméabilité, qualifiée plutôt de fracture dans ce faciès relativement protégé par la hauteur de couverture des terrains, une campagne d'injection préalablement à l'ouverture des cavernes est envisageable.

En effet, le pompage actuel met en évidence un débit de l'ordre de seulement 3 m³/h sur la boîte principale mais d'autres excavations conventionnelles sur des puits situés de part et d'autre



de la gare ont montré que la Craie pouvait être plus ou moins fracturée. Ce sujet fait actuellement l'objet de réflexion avec, entre autres, l'étude de la réalisation de sondages de reconnaissances complémentaires.

12- Phasage galerie SMC.

12- SMC gallery work sequencing.

Le phasage de creusement des cavernes (figure 12) est constitué en section divisée. L'étanchéité sera ensuite mise en œuvre sur le béton projeté de la phase précédente, avant son revêtement. □

12

© GROUPEMENT ERB

PRINCIPALES QUANTITÉS

- LINÉAIRE DE PAROI : 12950 m**
- VOLUME DE BÉTON (Paroi + Génie Civil + Galeries) : 56 500 m³**
- TONNAGE ARMATURES (Paroi + Génie Civil) : 8 400 t**
- VOLUME DE TERRASSEMENT BOITE GARE : 90 500 m³**
- VOLUME EXCAVATION GALERIES SOUTERRAINES : 9 100 m³**
- SURFACE PLANCHER GC RÉALISÉ : 13 000 m²**

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE : Société du Grand Paris**
- MAÎTRE D'ŒUVRE INFRASTRUCTURE : Systra**
- ARCHITECTE : Valode & Pistre**
- GROUPEMENT : Eiffage Génie Civil (mandataire), Razel-Bec**
- ENTREPRISE DE TRAVAUX SPÉCIAUX (paroi moulées) : Sefi-Intrafor**
- ENTREPRISE DE TERRASSEMENT : Groupement Coteg / Capocci / Fougierolle Ballot**

ABSTRACT

SAINT-MAUR-CRETEIL: FOCUS ON THE DEEPEST STATION IN FRANCE

GRÉGORY MEYER, SYSTRA - EDOUARD ELLUIN, RAZEL-BEC - EL-KHOUSSE GHOUAT, SYSTRA - ERIC MORDANT, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

Station construction works often rhyme with technical complexity, especially when they are performed in a dense urban sector. When such a station is to be the deepest station in France, that increases the construction challenge, to be performed to a relatively ambitious schedule. Design engineering performed beforehand and full-scale tests, despite their cost, improved the reliability of work performance. The works, such as column jacking and gallery excavation by conventional methods, entailed specific studies which require great experience, with very great caution regarding the estimated efforts, which are directly related to the site geology and hydrogeology. □

SAINT-MAUR-CRETEIL: LA ESTACIÓN MÁS PROFUNDA DE FRANCIA EN DETALLE

GRÉGORY MEYER, SYSTRA - EDOUARD ELLUIN, RAZEL-BEC - EL-KHOUSSE GHOUAT, SYSTRA - ERIC MORDANT, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

Las obras de realización de una estación suelen ser sinónimo de complejidad técnica, sobre todo en contextos urbanos densos. El hecho de que esta estación sea la más profunda de Francia aumenta el desafío de realización, que debe integrarse en un calendario relativamente ambicioso. La realización de estudios previos y de ensayos a escala real permite, pese a su coste, fiabilizar la ejecución de las obras. Estas últimas, como la fijación de un poste a presión y la excavación de galerías por el método convencional, requieren estudios específicos que exigen una amplia experiencia, con extrema prudencia respecto a los esfuerzos estimados, directamente relacionados con la geología y la hidrogeología del lugar. □

Évolution du droit du travail
Digitalisation des échanges
Protection des données



**Bienvenue
dans un monde
qui se construit autrement.**

Votre environnement de travail et votre métier évoluent, vos risques aussi. SMABTP s'engage chaque jour à vos côtés, en créant de nouvelles solutions d'assurance, pour mieux vous protéger.

Notre métier : assurer le vôtre.

www.groupe-sma.fr

SMABTP – Société mutuelle d'assurance du bâtiment et des travaux publics.
Société d'assurance mutuelle à cotisations variables, entreprise régie par le Code des assurances
RCS PARIS 775 684 764 – 8 rue Louis Armand – CS 71201 – 75738 PARIS CEDEX 15


SMABTP
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

**1^{er} assureur
de la construction**

Engineering a Better Solution

Depuis plus de 140 ans, le Groupe Maccaferri apporte à ses partenaires sa capacité d'innovation dans la réalisation d'ouvrages de haute technicité et d'une exceptionnelle longévité, sous la devise «Engineering a Better Solution».

Ses solutions sont pensées autour d'une double préoccupation : répondre à la dimension écologique et financière de chacun de vos projets, grâce à son expérience et son expertise acquises au fil des années.

MACCAFERRI



Renforcement de talus, RER B, gare de Orsay-ville (91)

MacMat HS 30