

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

GARES & STATIONS. PROLONGEMENT DE LA LIGNE 14 A SAINT-OUEN. LES STATIONS SOUTERRAINES DE LA LIGNE 2 DU TRAMWAY DE NICE. CONCEPTION DU PONT SAINT-LAZARE. LES STATIONS SOUTERRAINES DU TRAMWAY T6 A VIROFLAY. LES OUVRAGES EN TRANCHEE DU PROLONGEMENT DE LA LIGNE 4 A BAGNEUX. CONSTRUIRE LE METRO DE SINGAPOUR. LES TROIS DERNIERES STATIONS DU METRO DE SINGAPOUR

N°929 DÉCEMBRE 2016



TRAMWAY T6 -
VIROFLAY-RIVE-
GAUCHE
© HUGO HÉBRARD

SMA



**Ensemble,
allons plus loin !**

L'assureur de toutes les entreprises,
des professionnels, des dirigeants,
de leurs salariés et de leurs proches.

Retrouvez tous nos produits d'assurance sur groupe-sma.fr




SMABTP
SANS L'APPRÊT AVEC ASSURANCE

SMA VIE

SMA
ASSURANCES

SMA
COURTAGE

SMA VIE
COURTAGE

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
David Berthier (Vinci Construction France), Sami Bounatirou (Bouygues TP), Jean-Bernard Datry (Setec), Philippe Gotteland (Fnfp), Jean-Christophe Goux-Reverchon (Fnfp), Laurent Guilbaud (Saipem), Ziad Hajar (Eiffage TP), Florent Imberty (Razel-Bec), Claude Le Quéré (Egis), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Claude Servant (Eiffage TP), Philippe Vion (Systra), Michel Morgenthaler (Fnfp)

Ont collaboré à ce numéro
Rédaction
Monique Trancart, Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente
Com et Com
Service Abonnement TRAVAUX
Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22
Fax +33 (0)1 40 94 22 32
revue-travaux@cometcom.fr

France (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
2, rue du Roule - 75001 Paris
Tél. 01 42 21 88 02 - Fax 01 42 21 88 44
contact@rive-media.fr
www.rive-media.fr

Directeurs de clientèle
Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04
b.cosson@rive-media.fr
Carine Reininger - LD 01 42 21 89 05
c.reininger@rive-media.fr

Site internet : www.revue-travaux.com

Édition déléguée
Com'1 évidence
Siège :
101, avenue des Champs-Élysées
75008 PARIS
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).

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

GARES ET STATIONS EN CONSTANTE ÉVOLUTION



© DR

Les gares et stations sont une partie intégrante du réseau de transport en commun, elles sont devenues à la fois une structure architecturale et un outil de développement urbain, voire commercial et culturel. Elles sont aussi un pôle d'échange multimodal qui facilite les échanges entre différents types de transport.

La gare est associée au développement industriel et au besoin de mobilité en général, elle peut être régionale, inter-régionale ou internationale. La station est principalement liée au besoin de mobilité urbaine, c'est un endroit aménagé pour l'arrêt des véhicules de transport public, comme le métro, l'autobus ou le tramway.

Concevoir ces gares et stations, au service de tous, est un enjeu important pour l'utilisateur, mais c'est aussi un défi pour les architectes et ingénieurs, qui doivent offrir aux voyageurs des espaces adaptés.

L'architecture des gares et stations permet de distinguer deux grands types de conception structurelle lors de la création d'un nouveau réseau, soit une conception selon une approche standardisée (les structures sont réalisées sur le même concept pour une même ligne), soit une conception selon une approche diversifiée (les structures sont étudiées indépendamment les unes des autres). La maquette numérique (BIM) est un outil indispensable dans l'élaboration des projets de gares.

Selon le principe élaboré pour le Grand Paris Express, les nouvelles gares vont contribuer au développement des territoires desservis. Les édifices doivent donc être à la fois pratiques, accueillants et ancrés dans leurs quartiers. Qu'elles soient anciennes ou récentes, les gares sont en constante évolution, elles doivent s'adapter aux transformations technologiques et à l'amélioration du service.

Les améliorations récentes concernent la création de nouvelles lignes, la modernisation et le prolongement du réseau existant, mais aussi les travaux d'aménagement et la rénovation du matériel roulant qui nécessite souvent le développement ou la réhabilitation des gares (aménagement des quais, amélioration de l'accessibilité, etc.).

On peut citer l'exemple des grandes villes de la métropole qui ont aménagé les gares et les stations des transports en commun pour accroître la capacité du trafic à l'occasion de la Coupe d'Europe de Football organisée en France en 2016.

En ce qui concerne le prolongement des lignes existantes du Métro Parisien, on facilite les correspondances avec les futures lignes du réseau de transport du Grand Paris Express.

Les gares du futur sont des gares intelligentes capables de répondre aux exigences des usagers pour qu'elles soient plus agréables, plus fluides et surtout plus connectées. Les gares doivent être respectueuses de l'environnement et du développement durable : accessibilité, développement de l'éclairage naturel, développement des énergies renouvelables, récupération des eaux, etc.

Clés de l'aménagement des territoires, les nouvelles lignes et les extensions de lignes existantes dessinent le cadre de vie des habitants. Que l'on étende un réseau afin de connecter les usagers ou que l'on crée une nouvelle ligne, le but est d'assurer la mobilité dans la fluidité.

PHILIPPE VION
EXPERT OUVRAGES D'ART
SYSTRA

LISTE DES ANNONCEURS : SMA BTP, 2° DE COUVERTURE - CERMIX, P.15 - PRO BTP, 3° DE COUVERTURE - MACCAFERRI, 4° DE COUVERTURE

GARES & STATIONS



LANCEMENT DES TRAVAUX DE LA STATION TANJONG RHU A SINGAPOUR EN AOÛT 2016 © BACHY SOLETAIRIE SINGAPORE





04 ALBUM

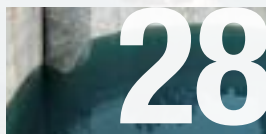
08 ACTUALITÉ



16

**ENTRETIEN AVEC
GUILLAUME PONS**
GRAND PARIS EXPRESS -
LES GARES, ENJEU MAJEUR
POUR LA VILLE DE DEMAIN

**22 SOTEM - TRAVAILLER EN TOUTE
DISCRÉTION POUR LE CONFORT
ET LA SÉCURITÉ DES USAGERS**



28

**PROLONGEMENT DE
LA LIGNE 14 À SAINT-OUEN**
Soutènements parois moulées -
Analyses et optimisations



36

**LA LIGNE 2
DU TRAMWAY
DE NICE**
Les stations souterraines



44

**CONCEPTION
DU PONT SAINT-LAZARE**



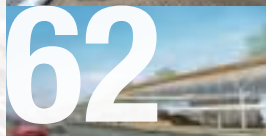
50

**TRAMWAY T6
À VIROFLAY**
Les stations souterraines



56

**PROLONGEMENT DE
LA LIGNE 4 À BAGNEUX**
Les ouvrages en tranchée



62

**MÉTRO SOUTERRAIN
DE SINGAPOUR**
Les trois dernières stations



70

**CONSTRUIRE LE MÉTRO
DE SINGAPOUR**
Terrains gagnés sur la mer, densité
urbaine et congestion souterraine





NOUVELLE HYDROFRAISE SUR LE GRAND PARIS

ELLE POUSSE
COMME UN
TUNNELIER

MISE EN ŒUVRE sur le prolongement Nord de la Ligne 14, l'Hydrofraise Gripper HFG 120T est la toute nouvelle génération d'Hydrofraise développée par Soletanche Bachy, répondant aux exigences des chantiers du Grand Paris. Elle combine le forage à grande profondeur, les largeurs importantes (jusqu'à 1,80 m) et l'ancrage dans les terrains durs. C'est en effet un concept novateur qui reprend le module de forage de l'Hydrofraise XS (sur kelly), sur lequel coulisse un module muni de caissons de grippage s'ouvrant en partie haute. Une fois le module de grippage ancré sur la paroi du forage, on applique une force verticale de 120 t sur l'outil de coupe, tout en limitant les vibrations. Maître d'ouvrage RATP. Maître d'œuvre Systra. Groupement d'entreprises Bouygues Travaux Publics (mandataire) / Soletanche Bachy France / Bessac / Soletanche Bachy Tunnel. (voir article page 28).



© CHANTIER

© CHANTIER





TRAMWAY DE NICE

20 STATIONS
DONT 4 SOUTER-
RAINES

LA NOUVELLE ligne de tramway s'étend sur 11,3 km suivant l'axe est/ouest qui accueille la plus grande part des déplacements sur le territoire de la ville. Il suit la bande littorale pour relier principalement l'aéroport international et le port de Nice. Il comprend 20 stations dont 4 construites en souterrain à l'aplomb du tunnel de 3 km qui traverse le centre-ville. Le maître d'ouvrage est Métropole Nice Côte d'Azur. La maîtrise d'œuvre est le groupement Egis Rail / Stoa / Atelier Schall / Ingerop / Essia. L'entreprise est le groupement Thaumassia composé de Bouygues Travaux Publics (mandataire) / Bouygues Travaux Publics Régions France / Soletanche Bachy France / Soletanche Bachy Tunnels / Csm Bessac / Colas Midi Méditerranée / Snaf.
(voir article page 36).



© MNCA

PARIS-SACLAY SE DÉVELOPPE AUTOUR DE LA LIGNE 18 DU GRAND PARIS EXPRESS

L'opération d'intérêt national Paris-Saclay, lancée dans les années 2000, officialisée en 2010, abrite déjà des établissements d'enseignement supérieur et des centres de recherche, spécialité qu'elle développe et accompagne d'habitat, de services et de transport.



Avec ses 66 m de haut, le radar aéronautique - Barthélémy-Grino architectes - signale de loin le quartier de Polytechnique.

En 2030, la ligne 18 du Grand Paris Express (GPE) traversera les trois secteurs de l'opération d'intérêt national Paris-Saclay⁽¹⁾. Elle reliera l'aéroport d'Orly (Val-de-Marne) à Versailles-Chantiers (Yvelines) en passant par Massy-Palaiseau (Essonne). En attendant son ouverture, des bus express desservent les différents secteurs. Vélo et marche à pied sont favorisés. Des bâtiments sont traversables en rez-de-chaussée par les piétons.

Paris-Saclay tient son nom du plateau sur lequel elle s'implante. Vingt-sept communes de l'Essonne et des Yvelines sont impliquées sur une partie au moins de leur territoire. Au centre, des champs,

des forêts, des zones humides : 4 115 hectares seront préservés dont 2 469 en agriculture, grâce à la Zone de protection naturelle, agricole et forestière, instituée par la loi du Grand Paris du 3 juin 2010, texte qui crée également l'Établissement public Paris-Saclay (EPPS). L'établissement public à caractère industriel et commercial, devenu en 2013 établissement public d'aménagement, est placé sous tutelle du ministère de l'Égalité des territoires et du Logement, et de celui de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Siègent à son conseil d'administration : des représentants de l'État, des collectivités territoriales, et du monde scientifique et économique.

Le 31 décembre 2015, l'EPPS est devenu EPAPS (Établissement public d'aménagement Paris-Saclay). Il est maître d'ouvrage pour quatre grands secteurs d'aménagement. Au nord-ouest du plateau, dans les Yvelines, un centre urbain sera reconstitué le long du corridor ferroviaire entre La Verrière et Montigny-le-Bretonneux en passant par Trappes. La ville nouvelle de Saint-Quentin-en-Yvelines sera développée vers l'est autour de la future gare de Saint-Quentin-Est sur la commune de Guyancourt. En continuant vers le nord-est, un quartier est créé à Satory, au sud du château de Versailles.

→ Implantation scientifique de longue date

Au sud-est du plateau, le campus urbain, 4^e secteur de Paris-Saclay, est le plus avancé : 1,75 million de mètres carrés de construction sont programmés sur 675 hectares. Près de 87 000 m² sont livrés. Il s'appelle "Campus" parce qu'il regroupe des universités et des grandes écoles avec des logements étudiants. "Urbain" car il abrite des centres de recherche et, dans le futur, des entreprises, du logement, des services, tout ce qu'il faut pour y habiter, y travailler et s'y déplacer.

L'occupation du sud-est du plateau par des activités et de l'enseignement supérieur scientifiques remonte à l'après-guerre : Commissariat à l'énergie atomique, Office national d'études et de recherches aéronautiques, Centre national de la recherche scientifique, et sur Orsay, Institut d'électronique fondamentale, Faculté des sciences et 3 instituts universitaires de technologie, etc.⁽²⁾. En 1975, Supelec s'installe à Gif-sur-Yvette et, en 1976, l'École Polytechnique quitte Paris pour Palaiseau où elle continue de s'étendre.

→ Lieu de vie

Polytechnique a donné son nom à un des trois quartiers du campus desservi par la

station "Palaiseau". Ce quartier de 232 ha se signale de loin par le radar de l'aviation civile de 66 m de haut. EDF y est depuis 2015 - centre de formation et un laboratoire de recherche et développement. L'immeuble de l'École nationale supérieure de la statistique et de l'administration économique (Ensaé) doit être livré à Noël.

Le deuxième quartier, celui de Corbeville (Orsay, 106 ha), en est à la sélection de la maîtrise d'œuvre. Desservi par la station "Orsay/Gif", c'est un intermédiaire avec le 3^e quartier du campus, celui de Moulon (337 ha) où l'École centrale de Paris (Supelec) fait construire deux autres bâtiments. Toujours à Gif-sur-Yvette, le Centre régional des œuvres universitaires et sociales s'appête à ouvrir un Lieu de vie, bâtiment plus étroit en bas qu'en haut, avec des terrains de sport en terrasse, des salles de sport en étages et un restaurant, le tout accessible à tous les étudiants de l'Université Paris-Saclay. L'Université est une des grandes nouveautés du campus : les 18 membres - 2 universités, 9 grandes écoles, 7 organismes de recherche - délivrent un doctorat commun "Université Paris-Saclay".

→ Cluster d'entreprises

Écoles et universités, établies en premier sur le campus urbain, devraient attirer des centres de recherche d'entreprises qui trouvent ainsi des chercheurs à proximité.

Paris-Saclay, c'est aussi une opération économique avec, comme objectif, un cluster d'entreprises à 5 spécialités : aéronautique, défense, sécurité ; technologies de l'information et de la communication ; énergie-climat ; santé ; mobilité. ■

⁽¹⁾ Le tronçon Orly/CEA Saint-Aubin devrait ouvrir en 2024.

⁽²⁾ Cf. *Petite ensaclaypédie*, histoire de Paris-Saclay de Pierre Veltz, Éd. Dominique Carré/La découverte, 2015.

CORRIDOR MILITAIRE ET CIVIL

Une voie ferrée militaire va accueillir, à ses côtés, un transport public à la demande en site propre à partir de véhicules routiers autonomes, entre le plateau de Satory (Versailles) et Saint-Cyr (Yvelines). La ligne de fret militaire n'est utilisée que quarante jours par an. Les navettes passagers relieront la station "Satory" de la ligne 18 du Grand Paris Express (voir ci-contre) à la gare SNCF de Saint-Cyr-École.

La maîtrise d'œuvre du projet a été confiée à Arcadis ESG et à Devillers et associés, en juillet. Fin du chantier en 2020.



Les architectes de l'École nationale supérieure de la statistique et de l'administration économique ont voulu un bâtiment ouvert sur le paysage, à matériaux bruts apparents : structure métallique boulonnée, vitrage et pare-soleil en verre, béton, plaques de plâtre, bois. Sans climatisation.

59 SITES À RÉINVENTER EN ÎLE-DE-FRANCE



L'usine de Babcock (chaudières industrielles) à La Courneuve (Saint-Denis) est un des sites proposés dans l'appel à projets.

Plus de 180 groupements de professionnels de l'urbanisme vont plancher sur le réaménagement de 59 sites en Île-de-France, de février à juillet 2017. Ils répondent à l'appel à projets "Inventons la métropole du Grand Paris" couvrant 225 hectares à Paris, dans les Hauts-de-Seine, en Seine-Saint-Denis et dans le Val-de-Marne ainsi qu'à Argenteuil (Val-d'Oise) et dans l'agglomération des Portes de l'Essonne (Essonne). Ces sites sont proposés par les maires de la Métropole du Grand Paris, établissement public de coopération intercommunale, regroupant 131 communes. Ils ont été présentés le 10 octobre. Les professionnels, des architectes aux associations en passant par des promo-

teurs ou des artisans, ont jusqu'au 13 janvier pour déposer leur candidature. En février, trois groupements par site seront sélectionnés pour travailler jusqu'en juillet.

DESSINE-MOI UN GRAND PARIS

L'Île-de-France veut contribuer à la qualité architecturale des projets sur son territoire. La démarche de la Région, baptisée "Dessine-moi le Grand Paris de demain" ou "expérimentation de soutien architectural", veut donner une chance à des architectes moins connus. Ils ont jusqu'au 13 janvier pour remettre leurs esquisses. Les collectivités recevront une aide financière de la Région pour rémunérer les équipes participant aux phases finales du concours.

De septembre à novembre, les projets retenus seront dévoilés. À charge des lauréats d'acheter le foncier et de financer leur opération. La Caisse des dépôts pourra prendre une participation minoritaire dans leur société immobilière⁽¹⁾.

→ 22 terrains proches du Grand Paris Express

Les maires étaient invités à sélectionner des parcelles dans les secteurs où seront implantés des transports en commun - 28 sites sur 59 le sont dont 22 directement aux abords du tracé du Grand Paris Express, par exemple Villiers-sur-Marne et Vitry-sur-Seine sur la ligne 15 - ou des lieux témoins de l'histoire de la région ou de son passé industriel.

www.inventonslametropolegrandparis.fr ■

⁽¹⁾ Au titre du programme Ville de demain des Investissements d'avenir.

ÉNERGIES : PROGRAMMATION PUBLIÉE

La programmation énergétique 2016-2018 a été publiée le 28 octobre (décret n°2016-1442). Elle décrit les priorités du gouvernement pour toutes les énergies. Ce qui soutient le lancement d'appels d'offres dans ces domaines (hydrogène, autoconsommation, effacement de puissance, etc.). Parmi les priorités, citons les économies : baisse de 12% de l'énergie finale consommée d'ici à 2023 (-20% en 2030). La consommation primaire d'énergies fossiles devra reculer de 22,6% sur la même période (-30% en 2030). La production d'électricité par le nucléaire pourrait baisser dans une fourchette de 10-65 TWh/an jusqu'en 2023, sur un total actuel de 400 TWh/an environ. En matière d'énergies renouvelables, la programmation vise une augmentation de 70% de la capacité installée en électricité renouvelable et de 30% de la production de chaleur renouvelable, en 2030. Ce qui portera à 32% la part de ces sources dans la consommation finale d'énergie.

GRAND PARIS EXPRESS : LA LIGNE 15 EST EN PHASE DE MAÎTRISE D'ŒUVRE

La ligne 15, qui fera le tour de Paris en 75 km, continue de se concrétiser. Maîtres d'œuvre et architectes de son tronçon Est - de la station Champigny-Centre (Val-de-Marne) à celle de Saint-Denis-Pleyel (Seine-Saint-Denis) - ont été choisis début novembre par la Société du Grand Paris.

Les études techniques du génie civil de la 15 Est sont confiées au groupement Koruseo mené par Egis avec Tractebel Engineering et Ingerop Conseil et Ingénierie, pour toutes les gares sauf celles de Saint-Denis-Pleyel (en commun avec la ligne 16), Pont-de-Bondy et Champigny-Centre (au croisement avec la 15 Sud), ainsi que pour le tunnel du site de maintenance des infrastructures à Rosny-sous-Bois.

Les travaux de génie civil débiteront en 2019 sur la partie du trajet la plus au nord pour une mise en service en 2025. Le reste de la 15 Est sera terminé pour 2030.

→ Gare emblématique

Les équipes d'architectes se voient confier une ou deux gares chacune parmi les douze du tronçon de 23 km. La station Pont-de-Bondy (Seine-Saint-Denis), considérée comme emblématique, a fait l'objet d'une consultation particulière à cause de son rôle dans le développement des territoires alentours. Elle sera située au carrefour de Bondy, Noisy-le-Sec et Bobigny, et accessible par les deux rives du canal de l'Ourcq. Elle a été conçue par les agences d'architectes Big et Silvio d'Arcsia. ■



Future gare de Pont-de-Bondy (Seine-Saint-Denis) au centre de plusieurs projets d'aménagement.

PÔLE MULTIMODAL

La gare de Louvres (Val-d'Oise) a été réaménagée en pôle multimodal. La commune, avec sa voisine Puisseux-en-France, concrétise un schéma directeur des circulations douces qui accorde une place confortable aux transports en commun, aux vélos et piétons. Le pôle accompagne le développement de l'écoquartier "ville des courts chemins" qui favorise les alternatives à la voiture. À proximité de la gare, le passage sous le pont-rail a été élargi en 2015*. Le pont routier, posé en juillet 2016 au-dessus des voies du RER D, est également doté d'une piste cyclable et de trottoirs, et donne accès au futur quartier des Frais Lieux et à Puisseux.

* Cf. Travaux n°913, mars 2015, page 14.



© A. BOMMART
Pose d'un pont routier, cyclable et piéton, dans le Val-d'Oise.

SYSTÈMES ANTICORROSION

Ne dites plus peinture anticorrosion mais système. Un système comprend trois couches : une primaire inhibitrice de corrosion, une d'étanchéité et une troisième, protectrice et esthétique (couleur). La peinture anticorrosion sur acier ne peut donc pas être comparée à la galvanisation, souligne la Filière Peinture Anticorrosion. La galvanisation, en bain, ne convient pas à tous les formats d'acier et n'est pas adaptée à des contraintes hors du commun. Un système anticorrosion est « une réponse sur mesure » aux risques. Selon la Filière Peinture Anticorrosion, ces systèmes pourraient être utilisés plus souvent sur le béton armé.

RÉAMÉNAGEMENT DE LA GARE ET DU QUARTIER PART-DIEU À LYON



© ASYLUM ARCHITECTES

Projet de la tour Silex 2, ex-tour EDF, avec à ses pieds, à droite, une annexe neuve et le Silex 1, immeuble reconstruit.

Les travaux de rénovation de la gare de la Part-Dieu à Lyon (Rhône) vont commencer fin 2017. Inaugurée en 1983, la gare avait été conçue pour accueillir

35 000 voyageurs. Elle en voit passer 120 000 aujourd'hui et en 2030, ce sera 220 000.

Ses halls couvriront 33 000 m² au lieu de 15 000. Un second accès est créé au sud. Une douzième voie va être ajoutée afin de résoudre le nœud ferroviaire de Lyon. Les cheminements seront réorganisés pour faciliter la correspondance avec les transports en commun.

L'espace public sera davantage partagé avec les piétons. Le parking et la gare routière seront déplacés au nord.

En 2021, un immeuble de 80 000 m² sera accolé à la gare TGV, ce qui suppose de démolir 25 000 m².

→ 216 millions d'ici à 2020

La reconfiguration de la gare fait intervenir de nombreux acteurs : État, collectivités territoriales, syndicat de transport, SNCF. D'ici à 2020, 216 millions d'euros y seront consacrés dans le cadre du contrat de plan État-Région dont 72 millions réglés par la métropole lyonnaise. Ces travaux ne sont qu'une partie du grand projet qui veut faire du quartier le

deuxième centre d'affaires après celui de la Défense (Hauts-de-Seine). Depuis fin 2014, la Société public locale Lyon Part-Dieu assure la maîtrise d'ouvrage de la Zac Part-Dieu Ouest, ceci jusqu'en 2029. Elle poursuit le travail de la mission créée en 2010. La maîtrise d'œuvre de l'ensemble a été confiée à L'AUC, agence d'architectes et d'urbanistes qui pilote un groupement pluridisciplinaire.

→ Bâtiments reconstruits

Les réalisations sur le périmètre de l'opération ont comme point commun d'introduire des logements en plus, d'être économes en énergie, d'accorder un espace confortable aux piétons et cyclistes, de végétaliser, sans oublier les commerces et la culture.

Depuis 2012, des immeubles sont construits sur du bâti démolé ou rénovés comme par exemple, le 107 Servient (bureaux) rehaussé, ou le Silex 1 démolé et reconstruit à livrer début 2017, ou la tour Silex 2 située derrière, ex-tour EDF agrandie, dont la rénovation dépend de sa pré-commercialisation. ■

CONSTRUIRE OU IMAGINER EN ACIER

Le concours Acier 2016 avait pour thème le transport aérien par câble et s'adressait à des étudiants architectes ou ingénieurs (24 sélectionnés). Le premier prix est revenu au Funambule, téléphérique entre Illkirch-Graffenstaden et Ostwald (Bas-Rhin) imaginé par quatre élèves de l'École nationale supérieure d'architecture de Strasbourg. Pour la deuxième fois, l'organisme de promotion de l'acier a aussi décerné des trophées Eiffel d'architecture.

→ Agrandir grâce à l'acier

Cinq équipes sur 64 candidates, pour 5 catégories de prix, ont été récompensées pour des bâtiments construits en France en 2014 ou 2015, tout ou partie en métal. Dans la catégorie Apprendre, Construiracier a distingué l'agence Brochet-Lajus-Pueyo pour la rénovation du mémorial de Verdun (Meuse). Le lieu, de 1967, a gagné en hauteur grâce à une surélévation vitrée en acier.

Le lauréat de Divertir est Herzog & de Meuron pour le stade Matmut Atlantique à Bordeaux-Lac, cerné de 1 000 poteaux fins et hauts et recouvert d'un toit en porte-à-faux.

La passerelle Claude Bernard - 98 m en courbe, à treillis porteur caché derrière du bois - reliant Paris à Aubervilliers (Daniel Vaniche et associés), est arrivée en tête de la catégorie Franchir.

→ Brasserie tout en métal

La restructuration de l'Établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes dans l'ancien hôpital Broussais à Paris a donné lieu à l'ajout

d'espaces vitrés à structure métallique (A+Samueldelmas, catégorie habiter). Enfin, une brasserie artisanale, toute métallique, à Carquefou (Loire-Atlantique), remporte la catégorie Travailler (Atelier Mima).

www.construiracier.fr, rubrique Steel in 2016. ■



© ENSA STRASBOURG

1^{er} prix Construire acier : gare principale du Funambule, téléphérique monocâble, pulsé, unidirectionnel discontinu.

GRAND PRIX DE L'INGÉNIERIE : LES TRANSPORTS PUBLICS À L'HONNEUR

Mme Claude Le Quéré, membre du comité de rédaction de la revue *Travaux*, a remporté, avec son équipe d'Egis, le Grand prix national de l'ingénierie pour le pont Citadelle à Strasbourg (Bas-Rhin).

Cet ouvrage, dédié au tramway, aux vélos et piétons, franchit le bassin Vauban en direction du port autonome en voie d'urbanisation.

Le jury du prix en a salué le caractère innovant⁽¹⁾ : « *Le tablier suspendu est courbe avec une portée de 163 m et l'arc qui le soutient l'enjambe et présente un biais. Le tout doit supporter les passages du tramway* ».

Le thème du Grand prix 2016 était « *l'ingénierie facilite et fluidifie des déplacements en ville* ».

Un Grand prix industrie a été attribué à Luc Tabary et son équipe d'Artelia pour un banc d'essais des rames destinées au métro de Lille.

Le dispositif évite les tests sur voie (en atelier). La rame est placée sur un tapis de roulement simulant le déplacement



tout en reproduisant l'interaction avec la signalisation.

→ Se servir des caméras de surveillance

Le Grand prix de l'ingénierie comprend une catégorie étudiants centrée, en 2016, sur l'accompagnement des citoyens dans leurs déplacements. Il a été remis à des élèves de Paris Dauphine et de l'Institut national Polytechnique de Bordeaux qui ont imaginé d'utiliser les caméras de surveillance à quai pour guider les voyageurs vers les voitures les moins bondées.

Le prix du public a été décerné à deux étudiantes de Télécom Lille pour une borne recevant mégots et chewing-gums afin de les recycler.

Ces prix sont organisés par Syntec-Ingénierie en partenariat avec le ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer et la direction générale des entreprises (ministère de l'Économie et des Finances), en association avec le groupe Moniteur. ■

⁽¹⁾ Cf. *Travaux* n°923, avril-mai 2016, pp 42-49.

DOUZE PROJETS BIM D'OR OU D'ARGENT



La 3^e édition des Bim d'or a attiré 130 projets⁽¹⁾. Le jury en a couronné 12, le 19 septembre, avec un Bim d'or et 11 Bim d'argent.

Le Bim d'or a été attribué au bâtiment Hélios de Thalès à Vélizy-Villacoublay (Yvelines), notamment pour la prise en compte de l'exploitation dans la démarche.

Dans la catégorie exploitation-maintenance, a été récompensée la modélisation du patrimoine existant d'Aéroports de Paris.

Un tronçon de 3,3 km du périphérique de Nantes a remporté un Bim d'argent, catégorie infrastructure (Vinci Autoroutes Cofiroute, Arcadis). Vinci a également été distingué, à l'international, pour la réno-

vation de l'hôtel Mandarin Oriental à Londres (Angleterre), avec Independent Architectural Diplomacy Entreprise.

Voici les autres projets ayant reçus un Bim d'argent.

Catégorie industriel : catalogue d'objets Bim génériques créé par l'Enveloppe métallique du bâtiment (syndicat professionnel) avec Polantis.

→ Projets d'hôpitaux

Catégorie bâtiment de plus de 40 000 m² : modernisation de l'Hôpital Édouard Herriot à Lyon ; construction du "Pôle sanitaire de l'ouest" à La Réunion (Hospices civils de Lyon).

Catégorie bâtiment de 5 000 à 40 000 m² : 150 logements neufs à Sceaux (Hauts-de-Seine, France Habitation) ; "coup de cœur" attribué au Centre de formation des apprentis du bâtiment en Poitou-Charentes.

Bâtiment de moins de 5 000 m² : résidence à énergie positive pour personnes âgées à Malaunay (Seine-Maritime) ; surélévation de l'immeuble tertiaire Mercury à Villeneuve-d'Ascq (Nord). ■

⁽¹⁾ Organisation : groupe Moniteur.

SPIE BATIGNOLLES SUR ÉOLE

Spie Batignolles TPCI est mandataire du groupement qui va réaliser la tranchée couverte de Nanterre-La-Folie, l'entonnement (ouvrage souterrain de jonction) Ouest-Défense et d'autres travaux de génie civil sur le prolongement à l'ouest de la ligne RER Éole en Ile-de-France, avec Spie Fondations et des filiales du groupe Vinci. Ces chantiers confiés par SNCF Réseau vont durer plus de trois ans.

De plus, Spie Batignolles a repris les activités du groupe MG, spécialisé dans les fluides industriels, ce qui vient renforcer Spie Batignolles Énergie et sa filiale Sopac.

AÉROPORTS DE LYON PRIVATISÉ

L'État a cédé ses 60 % de parts dans Aéroports de Lyon (ADL), concessionnaire de Lyon Saint-Exupéry et Lyon Bron, à un consortium formé de Vinci Airports, la Caisse des dépôts et Crédit agricole Assurances, en juillet. ADL a un contrat jusqu'à fin 2047. Lyon a accueilli 8,7 millions de passagers dans ces deux aéroports, en 2015.

BOUYGUES EN INDE

Bouygues International et VSL ont remporté un contrat de près de 100 millions d'euros en Inde. Oberoi Realty a confié aux filiales de Bouygues Construction, la réalisation de deux ensembles immobiliers à Bombay, d'une surface de 605 000 m².

Ils comprennent quatre tours dont une de 201 m de haut et une deuxième de 192 m, 1 840 logements, et près de 5 000 places de parking. Livraison prévue : fin 2019.

GPE : MARCHÉS DE LA LIGNE 15 SUD

Début 2017, commencent deux chantiers de génie civil sur la ligne 15 sud du Grand Paris Express. Au sud-est de Paris, les tunnels du tronçon entre les stations Bry-Villiers-Champigny et Noisy-Champs, terminus, sont confiés à Alliance, groupement de Demathieu Bard Construction (mandataire) avec NGE Génie Civil, Guintoli, Impresa Pizzarotti, Implénia, Franki Foundations Belgium et Atlas Foundations. Marché : 363 millions d'euros.

Les travaux de jonction entre les lignes 15 et 16 à Noisy-Champs sont attribués à Léon Grosse TP (mandataire) avec Parengé et Daquin parois moulées. Marché : 51 millions d'euros.

BIOMÉTHANE INJECTÉ

Evergaz a repris les parts d'Idex dans le projet de production de biométhane à partir de déchets agricoles, Métha Horizon, mis sur pied par des agriculteurs fédérés par Jérémy Ravillion. Le site situé à Pierre-Morains (Marne) injectera 302 Nm³ par heure dans le réseau de GRT gaz.

MOUVEMENTS DANS L'ÉNERGIE

Areva a décidé de céder ses 50 % de parts dans Adwen à Siemens-Gamesa. Adwen, fabricante d'éoliennes, avait été constituée avec Gamesa dont cette activité a fusionné en juin avec celle de Siemens. Par ailleurs, en juillet, Total a pris le contrôle de 90 % du capital de Saft, fabricant de batteries industrielles (stockage d'énergie).

LA GESTION DES DÉBLAIS DU GRAND PARIS EXPRESS COMMENCE

La Société du Grand Paris (SGP) concrétise sa stratégie de prise en compte des déblais générés par le creusement du futur métro express autour de la capitale. Fin septembre, l'établissement public chargé de piloter l'implantation du Grand Paris Express (GPE), a signé un partenariat avec la Société d'aménagement foncier et d'établissement rural de l'Île-de-France (Safer). Un million de tonnes de terres, soit 500 000 m³ excavés en un point du chantier de la ligne 16, à partir de 2019, iront remodeler la friche industrielle Sempin, une ancienne carrière, propriété de la Safer.

→ Suivre les mouvements de terre

Les déblais n'auront pas long à parcourir. Ils seront extraits du puits d'entrée du tunnelier à Chelles (Seine-et-Marne) et triés à proximité.

Le parc, qui ouvrira en 2024 sur le site Sempin, est à cheval sur Chelles et Montfermeil (Seine-Saint-Denis), deux communes voisines.

Cette signature illustre la stratégie de la SGP pour faire du GPE une opération remarquable tant d'un point de vue économique que technique. La société entend privilégier les circuits courts et les alternatives à la route. Elle a mis au point avec Artémis un outil de traçabilité des

déblais - suivi de tous les mouvements de terre -, testé sur le chantier de la gare de Fort d'Issy-Varves-Clamart (ligne 15). Elle cherche à élargir les solutions de réutilisation : fabrication de matériaux, aménagement urbain, comblement de carrières, etc.

→ Observatoire du prix des déblais

Elle lance son 3^e appel à projets innovants sur les déblais de chantier.

Elle s'est engagée à valoriser 70 % des 43 millions de tonnes de terres excavées. L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie apporte son soutien. Les projets retenus dans ce cadre seront dévoilés en janvier et expérimentés jusqu'en juillet.

Au 1^{er} trimestre, la SGP publiera son second schéma directeur des déblais et un observatoire des prix sera lancé. ■



Le site du Sempin - carrière à l'abandon - va être aménagé en parc à l'aide de déblais de la ligne 16 du Grand Paris Express.

© SAFER ÎLE-DE-FRANCE

ÎLE-DE-FRANCE : L'ÉTABLISSEMENT PUBLIC FONCIER INVESTIT 1,8 MILLIARD D'EUROS



© EPF ÎLE-DE-FRANCE

Secteur de Vitry-sur-Seine (Val-de-Marne) sur lequel l'EPF Île-de-France est actif.

L'établissement public foncier Île-de-France a adopté son nouveau programme pluriannuel d'investissement, de 2016 à 2020.

L'EPF, opérateur public des collectivités de la région, va investir 1,8 milliard d'euros sur cette période dans des acquisitions foncières prioritairement autour du Grand Paris Express, de projets d'urbanisme ou en vue de la candidature aux Jeux olympiques.

Parallèlement, l'EPF va intensifier la vente de terrains aux collectivités, sans marge ni actualisation.

→ 25-30 % de logement social

Il s'engage à alléger les contraintes sur la construction de logements, notamment en matière de logement social où il va appliquer le pourcentage de 25 % et jusqu'à 30 % dans les communes dites carencées. ■

BALCON À VOCATION THERMIQUE



Prototype du balcon améliorant les performances thermiques d'une façade à simple vitrage.

Une excroissance en verre est apparue sur la façade vitrée de l'Institut national des sciences appliquées de Strasbourg (Bas-Rhin).

Balcon ou greffe habitable, c'est un prototype conçu par les élèves, architectes et ingénieurs en génie climatique et génie civil.

Derrière ce prototype, une idée de Franck Guéné, enseignant en architecture.

Il s'agit de privilégier la chaleur solaire - la façade est exposée au sud - plutôt que l'isolation.

Le balcon comprend une partie ouverte sur l'extérieur devant un espace clos en verre à double vitrage, le tout en porte-à-faux de 5,35 m. Il est greffé sur une trame de deux fenêtres, l'une ayant été transformée en porte. La pièce située derrière bénéficie de la chaleur solaire captée dans la partie close tout en étant protégée des surchauffes d'été par elle. Les apports énergétiques sont mesurés en 2016 et 2017.

La façade du bâtiment, de 1955, est à vitres doubles qui ne sont pas du double

vitrage. En hiver, elles laissent pénétrer le soleil tout en étant une source importante de déperditions thermiques. En été, elles ne font pas barrage au soleil brûlant. Ce travail étudiant a été motivé par les travaux d'amélioration de la façade, planifiés en 2017. Les élèves ont commencé à y travailler en 2013. L'approfondissement des études et la concrétisation ont été confiés à une agence d'architecture, Urbane Kultur, qui a accueilli deux élèves en stage à l'été 2015, l'une ayant été recrutée puis chargée du suivi de chantier.

→ **Couplé à une double peau**

Des financements ont été trouvés dès 2014 : 50 000 dollars (46 000 euros environ) par la fondation Arconic et 28 000 euros par EDF et Électricité de Strasbourg. À cela s'ajoutent des contributions en temps et matériel par AGC, Hilti, Kawneer, OFB, Siemens, Spie et Voltec Solar.

La greffe habitable sera couplée à une double peau en verre, autre solution étudiée et pour laquelle l'Insa cherche des fonds. La double peau sur façade capte la chaleur solaire en hiver pour chauffer l'intérieur. L'été, elle est ventilée pour le maintenir à une température acceptable. ■

COMBINAISON JETABLE

La combinaison Tyvek 500 KV s'utilise pour les travaux où il faut être bien visible : endroits sombres, mauvaises conditions météorologiques. Dupont de Nemours qui la commercialise depuis juin et l'a présentée au salon Expoprotection (Paris, novembre), la dédie à « de nombreux secteurs comme l'industrie ferroviaire ».

Elle est jetable. La matière dont elle est faite, le Tyvek, est un non tissé qui ne se lave pas. Outre sa haute visibilité (classe 3/3, EN Iso 20471), elle est antistatique et protège des agressions chimiques et biologiques.



© DUPONT DE NEMOURS

Vêtement de travail à haute visibilité.

ISOLATION PHONIQUE D'UN AUDITORIUM À VERSAILLES

L'auditorium du pavillon Dufour au château de Versailles a été isolé du bruit du restaurant situé au-dessous. Il est installé sous les toits au 2^e étage du pavillon entièrement restauré par l'architecte Dominique Perrault et inauguré cette année.

L'isolation consiste en 270 patins anti-vibratoires placés dans le plancher de la tribune. Getzner qui les a fournis et en a supervisé l'installation, n'a disposé que de deux semaines entre la commande et la pose.



Pose des plots anti-vibratoires au sol de l'auditorium du pavillon Dufour.



© CHÂTEAU DE VERSAILLES

L'auditorium, destiné à des conférences, est situé sous les toits.

L'auditorium de 150 places est conçu pour abriter des conférences et des séminaires.

→ **Bâtiment du XVIII^e siècle**

Rappelons que le pavillon Dufour date du XVIII^e siècle. Indépendant dans un premier temps, il a été rapidement relié au

château. Destiné à l'accueil du public, il vient d'être agrandi par le sous-sol. Sa restauration a coûté 15,3 millions d'euros tout compris. L'Opérateur du patrimoine et des projets immobiliers de la culture est maître d'ouvrage pour l'établissement public du château de Versailles. ■

BÉTON POREUX

Ce béton, poreux et drainant, contribue à réduire le ruissellement des eaux de pluie qui, en se cumulant, peuvent former des inondations ou nécessiter de gros diamètres d'évacuation. Avant de l'épandre, vérifier que le sol dessous peut absorber l'eau.

Aquacimo s'utilise en couche d'assises ou de roulement, en milieu urbain. Plusieurs couleurs sont disponibles afin de mieux l'intégrer à l'environnement.



© EODIM

Béton de plusieurs couleurs.

CHALEUR SOLAIRE INDUSTRIELLE

Newheat est spécialisée dans la fourniture de chaleur à partir de capteurs solaires thermiques (<100°C) à destination des réseaux de chaleur et de clients industriels.

En octobre, la jeune société a mis en route un banc d'essais afin d'optimiser le fonctionnement des technologies dans ces environnements.

Le programme de recherche qui dure dix-huit mois et coûte 450 000 euros, bénéficie d'une subvention de 205 000 euros au titre de l'appel à projets Initiative PME des Investissements d'avenir.

À terme, il s'agit de vendre de la chaleur à un prix inférieur à celle produite par d'autres énergies.

En échange, le client s'engage pour quinze-vingt ans.

Un industriel du Sud-Ouest s'est déclaré intéressé.

Un projet pilote pourrait voir le jour avant l'été 2017.

ÉLECTRICITÉ DU VOISINAGE

Bouygues Immobilier s'associe à Stratum et Energisme pour déployer une blockchain de réseau électrique intelligent.

La blockchain est un registre de compte qui autorise l'échange de crédits énergétiques sur un réseau local, en garantissant qu'aucun acteur de ce réseau n'en prend le contrôle total.

Le dispositif va se concrétiser en 2017 sur un réseau décentralisé dans le quartier de Lyon Confluence. Les habitants seront assurés que l'énergie qu'ils consomment a bien été produite par des capteurs photovoltaïques du voisinage. Il a été présenté à la Blockchain Hackademy de Microsoft (octobre, Paris).

TROIS TROPHÉES DE LA GÉOTHERMIE



Chauffière où a lieu l'échange entre les sondes géothermiques et le circuit de chauffage et de climatisation de l'Espace des mondes polaires à Prémanon (Jura).

Des sondes géothermiques contribuent au chauffage et au rafraîchissement de l'Espace des mondes polaires, centre culturel et scientifique, qui ouvre en décembre à Prémanon (Jura). L'installation a obtenu un des trophées 2016 de la géothermie attribués par l'Association française des professionnels de la géothermie.

Les mondes polaires sont le pôle nord et le pôle sud que Paul-Émile Victor, d'origine jurassienne, a explorés. L'équipement relève de la Communauté de communes de la Station des Rousses (650 hab., 4 communes). Les architectes - Gilles Reichardt et Gilles Ferreux - ont conçu un bâtiment à faibles besoins en énergie. Celui-ci est en partie enterré, ce qui limite les déperditions vers l'extérieur. Le site comprend une patinoire de 500 m². La chaleur dégagée par les groupes de froid est injectée dans le bâtiment, et le surplus, dans le sol.

Seize sondes géothermiques descendent chercher 10°C à 100 m de profondeur.

Par ailleurs, les eaux de pluie - cuve de 30 m³ - servent au surfacage de la glace et aux sanitaires.

L'Espace, qui coûte 9,06 millions d'euros, est financé par les collectivités territoriales, l'Europe, l'État, l'Ademe, l'Agence de l'eau, etc.

Une autre installation à sondes géothermiques - ici 141 descendant à 205 m - a remporté un trophée.

Les sondes alimentent une boucle d'eau tempérée au Géo Smart City (36 000 m²) du groupe Airbus à Blagnac (Haute-Garonne).

→ Réhabilitation par tubage en fibre de verre

Enfin, le 3^e trophée est revenu à la réhabilitation par tubage en fibre de verre de puits géothermiques à Chevilly-la-Rue et L'Hay-les-Roses (Val-de-Marne) par CFG Services. ■



Forage des sondes géothermiques à l'Espace des mondes polaires de Prémanon (Jura).

DU PILOTE À L'INDUSTRIEL

Le pilote géothermique de Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin) est passé au stade industriel, en septembre. De l'eau à 200°C, extraite de forages à 3 500 m de profondeur dans une faille de granite naturelle, peut désormais produire en continu 12 000 MWh par an.

Basée sur la technique Enhanced Geothermal System (géothermie manipulée par l'homme), elle est le fruit d'une trentaine d'années de recherche*.

* Cf. Travaux n°894, janvier-février 2013, page 10.

FEU VERT POUR LES BATTERIES AUTOMOBILES DANS LE BÂTIMENT

Utiliser d'anciennes batteries de voiture pour stocker de l'électricité dans un bâtiment ne pose pas de problème. C'est une des conclusions à mi-parcours du projet de démonstration Elsa (Energy Local Storage Advanced System).

Le réemploi de batteries allonge de cinq à dix ans leur durée de vie, une fois leur recharge automobile devenue insuffisante. Toutes les batteries peuvent être mélangées et elles sont assemblées telles quelles.

Le projet vise à commercialiser en 2018 un système de gestion-pilotage d'énergie.

Le prototype a été développé chez Bouygues Construction à Saint-Quentin-en-Yvelines (Yvelines). Il s'agit maintenant d'expérimenter le pilotage, en s'appuyant sur des installations dans différents pays européens. Le pilotage permet d'étaler le puisage de l'électricité dans la journée mais il dépend des tarifs de cette énergie et de la réglementation.

→ 13 millions d'euros

Trois sites étaient en cours d'installation au 4^e trimestre : siège social de Sogeprom (Paris), réseau de chaleur de Kempton en Bavière (Allemagne) et Université de

Gateshead (Angleterre). Ils seront suivis de trois autres, début 2017 : campus universitaire d'Aix-la-Chapelle (Allemagne), usine Nissan à Barcelone (Espagne) et réseau de chaleur à Terni (Italie).

Elsa coûte 13 millions d'euros dont 70% pris en charge par le programme européen Horizon 2020 (2014-2020).

Le consortium réunit Bouygues Energies Services (coordinateur), Renault, Nissan, et des partenaires en Allemagne, en Irlande, en Angleterre et en Italie.

www.elsa-h2020.eu ■

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• 24 ET 25 JANVIER

Rencontres de la mobilité intelligente

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

• 24 AU 26 JANVIER

Assises européennes de la transition énergétique

Lieu : Dunkerque (Nord)
www.ademe.fr

• 31 JANVIER

18^e colloque du Syndicat des énergies renouvelables

Lieu : Paris (Maison de la mutualité)
www.colloque-ser.fr

• 23 FÉVRIER

Forum des travaux publics

Lieu : Paris (Carrousel du Louvre)
www.fntp.fr

• 2 ET 3 MARS

Valoriser le suivi de l'état structurel des ponts

Lieu : Zagreb (Croatie)
www.grad.unizg.hr

• 7 AU 9 MARS

Rencontres géosynthétiques

Lieu : Lille
www.rencontresgeosynthetiques.org

FORMATIONS

• 9 ET 10 JANVIER

Projet d'aménagement sur sites ou sols pollués

Lieu : Paris
www.lemoniteur.fr

• 16 ET 17 JANVIER

Fabrication de la maquette numérique

Lieu : Paris
http://formation-continue.enpc.fr

• 23 AU 25 JANVIER

Bureau d'études techniques : déployer le Bim en interne

Lieu : Paris
www.lemoniteur.fr

• 26 JANVIER

Surélévation d'immeubles, nouveau foncier aérien

Lieu : Paris
www.lemoniteur.fr

• 6 ET 7 MARS

Les outils du Bim

Lieu : Paris
http://formation-continue.enpc.fr

• 8 AU 10 MARS

Exigences réglementaires et environnementales des projets maritimes et fluviaux

Lieu : Paris
http://formation-continue.enpc.fr

• 22 ET 23 MARS

Gares et villes en devenir : stratégies et projets urbains

Lieu : Paris
http://formation-continue.enpc.fr

NOMINATIONS

AFPG : Jean-Jacques Graff succède à Christian Boissavy à la présidence de l'Association française des professionnels de la géothermie.

AIPCR : À partir du 1^{er} janvier, Claude Van Rooten (Belgique) présidera l'Association mondiale de la route, après Oscar de Buen Richkarday (Mexique).

ANRU : Damien Ranger dirige les relations institutionnelles de l'Agence nationale pour la rénovation urbaine. Il remplace Anne Peyricot.

ASQUAL : L'Association pour la promotion de la qualité est désormais dirigée par Philippe Lebon, à la suite de Robert Biguet.

AZUR DRÔNES : Romain Worms a été nommé responsable commercial.

CONSTRUIRACIER : Michel Julien-Vauzelle a été élu président de l'association de promotion de l'acier. Il succède à Hervé Delaruelle.

ÉOLIEN : Gwénaëlle Huet remplace Jean-Baptiste Séjourné à la présidence de la commission éolienne du Syndicat des énergies renouvelables.

MINES PARIS TECH : Vincent Lafèche est nommé directeur en remplacement de Romain Soubeyran qui part diriger l'Institut national de la propriété industrielle.

À CHAQUE CHANTIER, SA SOLUTION CERMIX

REPARATION

SCCELLEMENT

IMPERMEABILISATION

VOIRIE

CERMIX Mortiers Spéciaux propose une gamme complète et innovante de produits et services aux entreprises :

- Du bâtiment
- Des travaux publics
- Du génie civil.

4 LIGNES DE PRODUITS, POUR TOUTES LES PHASES DE VOS PROJETS :

- Imperméabilisation et étanchéité (IMP)
- Scellement et calage (SCC)
- Travaux de voirie (VOI)
- Réparation d'ouvrages (REP)

PLUSIEURS TYPES DE CHIMIE SONT DISPONIBLES :

- Ciment
- Polyurethane
- Epoxy
- Methacrylate

CERMIX
mortiers spéciaux

www.cermix-mortiers-speciaux.com

Conseils et assistance techniques sur toutes les phases du chantier !

LE GROUPE COFRAC



GRAND PARIS EXPRESS

LES GARES, ENJEU MAJEUR POUR LA VILLE DE DEMAIN

LE GRAND PARIS EXPRESS EST UN PROJET STRATÉGIQUE POUR LE DEVENIR DE L'ÎLE-DE-FRANCE : LE PROLONGEMENT ET LA CONSTRUCTION DE 200 KM DE LIGNES DE MÉTRO POUR RELIER LES TERRITOIRES DE LA RÉGION TANDIS QUE 68 NOUVELLES GARES RELIERONT LES PÔLES DU GRAND PARIS, LES TROIS AÉROPORTS ET LES GARES TGV. **ENTRETIEN AVEC GUILLAUME PONS, DIRECTEUR DE PROJET DE LA LIGNE 15 SUD DU GRAND PARIS EXPRESS.**

PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1 © MARC MONTAGNON

AU-DELÀ DE LEUR FONCTION DE PORTE D'ENTRÉE AU NOUVEAU RÉSEAU DE TRANSPORT DE LA MÉTROPOLE, LES NOUVELLES GARES VONT CONTRIBUER AU DÉVELOPPEMENT DES TERRITOIRES DESSERVIS EN DEVENANT DES LIEUX EMBLÉMATIQUES DU GRAND PARIS. LE GRAND PARIS EST L'OCCASION DE BÂTIR UNE NOUVELLE GÉNÉRATION DE GARES QUI PRENDRA LE MEILLEUR DE CE QUI S'EST FAIT DANS LE MONDE ET RÉPONDRA AUX DÉFIS D'UNE MOBILITÉ DURABLE. CE QUE NOUS PRÉSENTE GUILLAUME PONS, DIRECTEUR DE PROJET DE LA LIGNE 15 SUD DU GRAND PARIS EXPRESS, QUI SERA LA PREMIÈRE À ÊTRE MISE EN SERVICE À L'HORIZON 2022.

Quelles sont les grandes caractéristiques de la ligne 15 Sud ?

La ligne 15 Sud est l'un des maillons de la ligne 15, d'une longueur de 75 km, qui forme une rocade proche de Paris destinée à pallier la saturation des réseaux de transport en commun tout en desservant efficacement les départements de proche couronne en

constituant un maillage du territoire avec les transports existants.

La ligne 15 est un métro totalement souterrain. On estime que 300 000 voyages quotidiens seront effectués sur la ligne 15 Sud dès sa mise en service, avec une capacité de 1 000 voyageurs par rame. D'une longueur de 33 km, elle relie 16 gares, de Pont-de-Sèvres



2 © SGP



3 © SGP

à Noisy-Champs. À ces 33 km s'ajoutent 4 km de raccordement au site de maintenance des infrastructures à Vitry et au site de maintenance et de remisage du matériel roulant à Champigny. Au total, la ligne 15 Sud dessert 22 communes : plus d'un million d'habitants sont concernés. Elle offre une réelle alternative à la voiture et contribue à l'allègement des autres lignes de transport en commun. Elle améliore également l'accessibilité aux grands équipements régionaux comme l'Institut Gustave Roussy à Villejuif, le Musée d'art contemporain « MAC/VAL » à Vitry-sur-Seine, l'hôpital Henri Mondor à Créteil...

15 des 16 gares sont en correspondance directe avec les lignes de métro, RER ou Transilien, la 16^e, Vitry-Centre, l'étant avec la ligne de tramway T9, sur la RD5, à proximité immédiate.

L'interconnexion avec les lignes radiales existantes est l'une des performances de cette réalisation qui permet de disposer d'un réseau complètement maillé autorisant des déplacements de banlieue à banlieue efficaces, sans avoir à transiter par le centre de Paris. La Société du Grand Paris, maître d'ouvrage du réseau de transport public du Grand Paris, est en charge du financement et de la construction des gares ainsi que du financement de leurs correspondances. Mais la maîtrise d'ouvrage opérationnelle de ces dernières est confiée à la RATP ou à la SNCF en fonction de leur localisation.

Autre caractéristique de cette ligne 15 Sud : le métro du Grand Paris servant au développement de la métropole, est apparue dès la conception du projet la notion d'une nouvelle génération de gares intégrées à leur environnement et ouvertes sur la ville qui seront plus que de simples stations ponctuant les arrêts d'une ligne de métro souterrain.

GUILLAUME PONS EN BREF

Ingénieur ESTP et titulaire d'un mastère Aménagement et Maîtrise d'Ouvrage Urbaine de l'ENPC, Guillaume Pons a fait l'essentiel de sa carrière au sein de la RATP où il a occupé plusieurs postes de responsabilité dans les départements Infrastructures et Aménagements (ITA), Projet et Ingénierie des Lieux (PIL) puis Ingénierie (ING).

Il a rejoint la Société du Grand Paris en mars 2011 en tant que directeur de projet des tronçons « Pont-de-Sèvres – Villejuif » de la ligne 15 Sud et Olympiades - Aéroport-d'Orly de la ligne 14 Sud.

Guillaume Pons a été nommé directeur de projet de la ligne 15 Sud « Pont-de-Sèvres – Noisy Champs » en janvier 2016.

C'est ainsi que 11 des 16 gares supportent un projet connexe immobilier de logements ou de bureaux. Certaines gares ne supportent pas de projet immobilier mais font partie, comme à Noisy-Champs par exemple, d'un projet périphérique d'aménagement urbain, générique d'une nouvelle dynamique pour la ville. C'est également le cas à Villejuif-Institut-Gustave-Roussy où va se construire, en face de l'hôpital, un nouveau quartier réalisé sous un format de ZAC.

1- Guillaume Pons, directeur de projet de la ligne 15 Sud.

2- La gare Pont-de-Sèvres, origine de la ligne 15 Sud.

3- La gare Châtillon-Montrouge.

4- La gare Villejuif-Louis-Aragon.

5- L'une des entrées de la gare Villejuif-Louis-Aragon.

Le métro sera ainsi un catalyseur de la ville de demain. Ces nouvelles gares porteront l'identité du Grand Paris mais aussi l'image de la région capitale et de chaque territoire qui les accueillera.

La géologie du sous-sol pose-t-elle des problèmes particuliers en ce qui concerne les gares ?

Une grande partie des 33 km se développe dans des espaces urbanisés très contraints avec une géologie particulièrement compliquée sur toute la section Ouest de la ligne, entre Issy-RER et Arcueil-Cachan, où se situe une immense zone de carrières souterraines.

L'étendue de cette zone est telle qu'il n'a pas été possible de l'éviter. Elle nécessite un comblement partiel des cavités du terrain sur un linéaire important et sur plus d'une trentaine de mètres de large ainsi que l'approfondissement du tracé pour sécuriser le passage du tunnelier.

Alors que la profondeur moyenne des gares se situe autour de 25 à 30 m, elle atteint 48 m à Villejuif-Institut-Gustave-Roussy en raison du passage du tunnel sous la vallée de la Bièvre juste avant de rejoindre l'IGR, point

le plus haut du Val de Marne, avec un profil compatible avec les contraintes techniques imposées par les caractéristiques du matériel roulant tant en ce qui concerne les rayons de courbure que les pentes franchissables, sans impacter de façon défavorable la vitesse commerciale moyenne de la ligne.

La profondeur se situe à 53 m à Saint-Maur-Créteil pour s'affranchir d'une géologie d'argiles particulièrement défavorable qui aurait pu entraîner des tassements difficilement maîtrisables.

Quelles sont les caractéristiques dimensionnelles des gares ?

Toutes les gares ont une longueur de l'ordre de 110 m pour accueillir des rames de 108 m, ce qui les différencie de celles du RER A ou B, d'une longueur de 225 m et de celles du métro parisien dont la longueur se situe à 75 m, 90 m et 110 m, et même 120 m sur la ligne 14.

Le gabarit du métro est de 2,80 m, identique à celui des RER A et B, et supérieur à celui du métro parisien, de 2,45 m.

Le métro du Grand Paris sera entièrement automatique. Les rames seront climatisées et offriront un confort au moins équivalent à celui de la ligne 14. Il pourra embarquer 1 000 personnes et circuler à une vitesse commerciale de 55 km/h avec des pointes à 110 km/h entre deux gares.

L'espacement entre les gares de la L15 sud est en moyenne de 2 km, contre 500 m pour le métro parisien et 3 km, voire 4 km pour les RER A et B. Cet espacement inter-gare n'est que de 900 m entre Bagneux-M4 et Arcueil-Cachan mais il atteint 5 km entre Bry-Villiers-Champigny et Noisy-Champs, terminus de la ligne 15 Sud. ▶

© SGP

4



© SGP

5





Ce métro cumule les performances du métro parisien et du RER : il s'arrête à toutes les gares et se déplace à vitesse élevée en offrant une capacité, un niveau de confort et une vitesse commerciale élevés.

Sur les trajets de périphérie à périphérie, la ligne 15 Sud permet des gains de temps importants.

À titre d'exemples :

- Entre la gare de Champigny-Centre et la gare d'Issy-RER : 27 minutes contre 1h26 aujourd'hui ;
- Entre la gare Saint-Maur-Créteil et Roissy : 45 minutes contre 1h05 aujourd'hui ;
- Entre Vitry-Centre et La-Défense : 30 minutes contre 1h aujourd'hui ;
- Entre Pont-de-Sèvres et Noisy-Champs : 35 minutes contre 1h05 aujourd'hui.

Quelles sont les fonctions de cette nouvelle génération de gares ?

Les gares sont un enjeu majeur pour la ville de demain. Au-delà de leur fonction de porte d'entrée au nouveau réseau de transport de la métropole,

les nouvelles gares vont contribuer au développement des territoires desservis en devenant des lieux emblématiques du Grand Paris.

Les concertations autour du projet ont montré que les attentes des populations et des collectivités sont à la hauteur de l'ambition portée par la Société du Grand Paris pour les gares.

Le Grand Paris est l'occasion de bâtir une nouvelle génération de gares qui prendra le meilleur de ce qu'il s'est fait dans le monde et répondra aux défis d'une mobilité durable. Elles seront des espaces efficaces offrant un accès facile aux autres modes de transport, y compris aux modes doux.

Intégrées à leur environnement et ouvertes sur la ville, les gares seront un lieu de vie au service des voyageurs et des riverains, un équipement générateur d'une nouvelle dynamique pour une ville compacte, mixte et durable. Conçues en dialogue avec les collectivités locales et le STIF⁽¹⁾ sous la maîtrise d'ouvrage de la Société du Grand Paris, ces nouvelles gares porteront l'identité du Grand Paris mais aussi l'image de la région capitale et

de chaque territoire qui les accueillera. Elles sont étudiées pour s'adapter aux spécificités de l'environnement dans lequel elles vont s'inscrire. Chaque gare est définie en fonction du contexte urbain où elle s'installe et de la place qu'elle est vouée à y occuper. L'objectif de chacune d'elle est de rapprocher les populations des emplois en favorisant les déplacements, en raccourcissant les temps de parcours inter-banlieues. Le concept a défini des gares émergentes, nouveaux centres de vie, bien connectées avec leur quartier et, au-delà, avec leur ville, incluant des commerces et des services ainsi que des accès facilités par de nouvelles lignes de bus ou de tramway mais aussi avec des dessertes à pied ou en vélo.

Tout ceci est développé en coordination avec les partenaires des territoires, ce que l'on appelle les « comités de pôle », pour que, finalement, la ville autour de la gare se transforme. Les gares de la ligne 15 Sud, tout comme les autres gares du Grand Paris Express sont plus qu'une infrastructure de transport. Elles constituent des espaces ouverts sur la ville qui par-

ticipent à l'attractivité du territoire dans lequel elles sont situées. Elles vont briser la logique concentrique de l'hypercentre sur lequel Paris s'est construit. Cette ambition implique le besoin de partager le « projet-gare » avec les différents acteurs des territoires desservis et d'anticiper sur les évolutions à venir en les intégrant dès leur conception dans des projets d'urbanisme : par exemple, les gares dites de « nouvelles centralités » que l'on trouve sur la ligne 15 Sud accompagnent les projets de développement urbains en cours ou planifiés pour valoriser et resserrer les liens entre des territoires encore peu structurés.

Les architectes ont d'ailleurs été associés dès le début à leur conception puisqu'ils ont été désignés pour chaque gare ainsi que pour les sites de maintenance depuis septembre 2013. Ce sont les architectes qui ont conçu l'ensemble des gares, y compris leur volume fonctionnel, pour qu'elles soient réellement un lieu de vie facile à utiliser. De plus, la Société du Grand Paris a élaboré un programme-cadre afin que l'architecture et le design des gares et



© SGP

7



© SGP

8

TROIS DES PREMIÈRES GARES « NOUVELLE GÉNÉRATION »

Les architectes de chaque gare et des sites de maintenance sont désignés depuis septembre 2013. Quatre permis de construire ont déjà été attribués pour les gares de Fort-d'Issy-Vanves-Clamart, Vitry-Centre, Le-Vert-de-Maisons, et Les-Ardoines.

FORT-D'ISSY - VANVES - CLAMART (figure 8)

La SGP a choisi le groupement Setec TPI / Ingerop pour l'ingénierie et le cabinet d'architecte Philippe Gazeau Architecte pour cette gare. La gare de Fort-d'Issy - Vanves - Clamart est localisée à la jonction d'Issy-les-Moulineaux, de Vanves, de Clamart et de Malakoff. La gare souterraine est située d'une part sous les voies du Transilien N et d'autre part sous le parking de la gare actuelle de Clamart. Il s'agit d'une gare très particulière puisqu'elle vient se glisser sous le Transilien. Elle va permettre de relier les villes de Clamart et d'Issy aujourd'hui complètement séparées hormis par un petit souterrain un peu inquiétant le soir. La contrainte de s'insérer sous la voie ferrée était assez lourde et la première préoccupation était de faire de l'urbain. Les concepteurs ont donc dégagé un grand espace très urbain de six à huit mètres de large et de six à sept mètres de haut. À partir de cet élément, qui forme une rue intérieure, un vrai passage couvert comme on en trouve en ville, ils ont mis en place un système de correspondances et de signalétique très lisible. Cela rend le parcours évident pour le piéton selon qu'il veut prendre le Transilien ou le métro ou simplement emprunter ce passage pour passer d'un quartier à l'autre. Cette gare va complètement transformer le quartier.

VITRY-CENTRE (figure 9)

La SGP a choisi la société Systra pour l'ingénierie et le cabinet d'architecte King Kong pour la gare « Vitry Centre ». Au cœur de Vitry-sur-Seine, la gare de Vitry-Centre se trouve au niveau du Parc du Coteau, à l'intersection de la Rue Édouard Tremblay et de l'avenue Maximilien Robespierre. La gare permet la correspondance avec le tramway T9 sur la RD5, actuellement en cours d'étude. La gare de Vitry-Centre s'inscrit dans un espace urbain déjà constitué, avec le MAV/VAL, la mairie, le théâtre Jean Vilar et la médiathèque. Le seul endroit disponible était le parc du Coteau qui est une respiration dans la ville et que ses habitants aiment. En osmose avec le parc, l'entrée de la gare apparaît sous une grande voûte végétalisée, comme si le sol se soulevait au-dessus d'un ruban de béton clair qui circule dans le parc, devient clôture, garde-corps ou banc.

LE-VERT-DE-MAISONS (figure 10)

La SGP a choisi la société Systra pour l'ingénierie et le cabinet d'architecte Valode & Pistre pour la gare Le-Vert-de-Maisons. Située à la limite entre Alfortville à l'ouest et Maisons-Alfort à l'est, la gare Le-Vert-de-Maisons se trouve sous le square Dufourmantelle à proximité des voies ferrées. La gare assure une correspondance avec la gare existante du RER D. Le-Vert-de-Maisons est une gare très profonde. L'un des enjeux est de créer une transition entre le monde souterrain et la ville, un espace pour que cette transition s'effectue de la meilleure manière possible. On a créé une grande cavité qui va en s'élargissant. Les volumes augmentent progressivement, se dilatent. Il y a aussi un enjeu d'intermodalité, assez complexe à réaliser, et le cabinet d'architecture a choisi une interconnexion souterraine, avec une galerie qui se greffe sur le volume principal.

des sites industriels arborent un « air de famille » tandis que les élus ont également été associés à l'ensemble des étapes de conception des projets.

Comment ces projets s'inscrivent-ils dans la ville et comment vont-ils contribuer au développement urbain ?

Au niveau des enjeux urbains, l'architecture de chaque gare est une réponse spécifique à un contexte géographique, urbain, social ou économique. La conception architecturale installe un dialogue entre la gare et

6- Tracé de la ligne 15 Sud Pont-de-Sèvres - Noisy-Champs.

7- La gare Arcueil-Cachan.

8- La gare Fort-d'Issy-Vanves-Clamart, dont la construction fait appel à une technique particulière.

9- La gare Vitry-Centre.

10- La gare Le-Vert-de-Maisons.

son environnement pour inscrire l'espace de transport en osmose avec son quartier.

Au niveau des enjeux de transport et de réseau, dans les gares, l'efficacité de ce nouveau réseau de métro repose sur des standards de service qui permettent de faciliter le repérage des voyageurs, d'apporter une réponse homogène aux enjeux techniques, de sécurité et de maintenance, et d'inscrire les nouvelles gares dans le réseau francilien.

Ainsi, la conception architecturale des gares du Grand Paris suit une double

approche de conception, transversale et territoriale, visant à construire des gares à la fois pratiques, accueillantes et ancrées dans leurs quartiers.

À l'image des thèmes et variations d'une mélodie, le réseau exprime une identité d'ensemble, où chaque gare est un projet singulier qui partage un air de famille avec toutes les autres gares.

L'architecture des gares du Grand Paris contribue à signifier la présence du métro dans la ville, tout en offrant aux voyageurs des espaces pratiques et agréables. ▶

© SGP

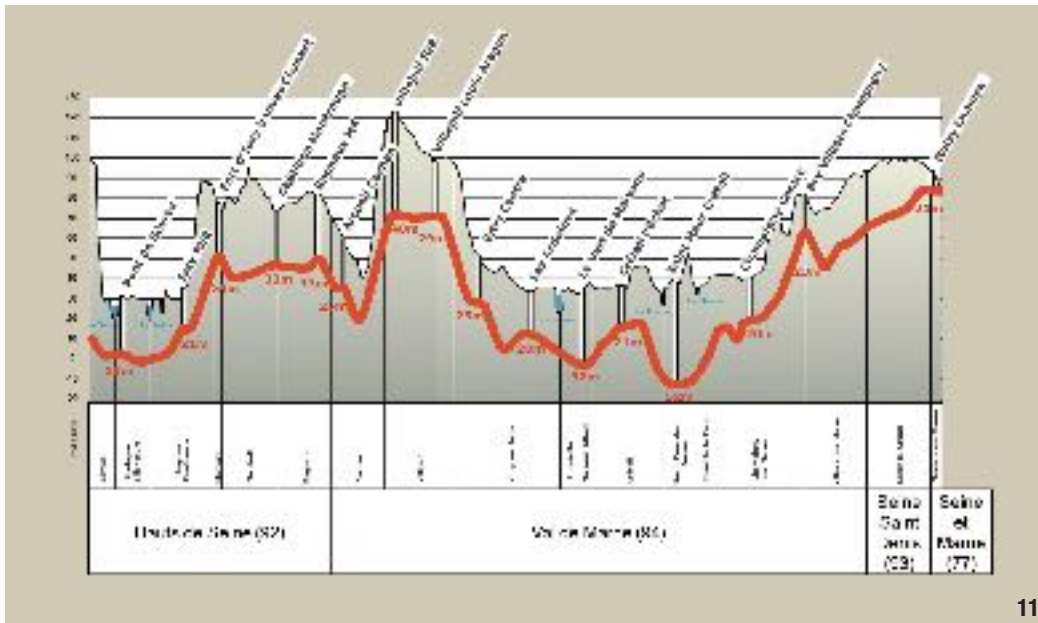
9



© SGP

10





11 © SGP

Où en est l'attribution des marchés et, éventuellement, l'avancement des travaux pour les gares sur la 15 Sud ?

Nous avons obtenu la Déclaration d'Utilité Publique en décembre 2014 et les autorisations « loi sur l'eau » en avril de cette année.

Nous avons déposé, au premier semestre 2016, 15 permis de construire pour les gares sur les 16 et le dernier, celui de Pont-de-Sèvres, sera déposé avant la fin de l'année. Il nous reste à déposer début 2017 celui du site de maintenance des infrastructures de Vitry.

Sur les 18 permis de construire que nous devons déposer, nous en avons déposé 16 et nous en avons obtenu à ce jour cinq dont celui de la gare de Fort-d'Issy-Vanves-Clamart, déposé avec une grande anticipation par rapport aux autres en raison de sa situation sous un faisceau ferroviaire qui

impose une technique de construction très particulière : la dalle supérieure de la future gare, d'un poids proche de celui de la tour Eiffel, est construite à côté de son emplacement définitif et ne pouvait être mise en place par poussage que dans une fenêtre de tir définie par la SNCF.

Les travaux, confiés au groupement Bouygues/Soletanche Bachy, ont démarré en mai 2016.

Les quatre autres permis de construire obtenus concernent les gares de Vitry-

Centre, Le-Vert-de-Maisons, Les-Ardoines, ainsi que le site de maintenance et de remisage de Champigny. Nous attendons pour fin 2016/début 2017, les réponses pour tous les autres permis déposés.

Quel est le calendrier au niveau des ouvrages de génie civil construits en souterrain ?

L'année 2016 a vu également le lancement de tous les appels d'offre de génie civil.

Nous gérons huit marchés de génie civil dont deux d'entre eux viennent d'être attribués par la Société du Grand Paris. L'un concerne le tunnel entre les sites de Noisy-Champs et Bry-Villiers-Champigny, l'autre porte sur l'arrière gare de Noisy-Champs.

Pour le marché de la réalisation du tunnel foré entre les sites de Noisy-Champs et Bry-Villiers-Champigny, c'est le groupement Alliance, composé

de Demathieu Bard Construction (mandataire), NGE Génie Civil, GTS, Guintoli, Impresa Pizzarotti, Implénia, Franki Foundations Belgium et Atlas Foundations, qui a été désigné par la Société du Grand Paris. Le montant du marché est de 363 millions d'euros.

Les travaux incluent la réalisation de deux puits d'entrée de tunneliers au sud de Noisy-Champs, le creusement de 4,7 km de tunnel jusqu'à Bry-Villiers-Champigny (gare exclue), le creusement du tunnel de raccordement au site de maintenance et de remisage (SMR) d'une longueur de 2,2 km ainsi que la réalisation d'un ouvrage de débranchement et de huit ouvrages annexes. Le montant du marché est de 363 millions d'euros.

Le second marché, celui de la construction de l'arrière gare de Noisy-Champs, a été attribué à un groupement constitué des entreprises Parengé, Dacquín (parois moulées) et Léon Grosse TP (mandataire). Un site qui sera situé à la jonction des lignes 15 sud et 16 du Grand Paris Express.

Ce marché inclut également le puits d'entrée du tunnelier de la ligne 16. Le montant du marché est de 51 millions d'euros.

Les groupements se sont engagés à confier 20% du montant des travaux à des PME et à réserver 5% des heures de travaux à l'insertion.

Les opérations de génie civil des deux marchés commenceront en janvier 2017.

Tous les autres marchés de génie civil ont été lancés en appel d'offre et leurs consultations sont en cours. Ils seront attribués jusqu'à mai 2017. □

1- **STIF** : le STIF (Syndicat des Transports d'Ile-de-France) organise et finance les transports publics pour tous les Franciliens. Il est composé de la Région Ile-de-France, de la Ville de Paris et des sept autres départements franciliens.

- 11- Profil en long de la ligne 15 Sud.
- 12- La gare Saint-Maur-Créteil.
- 13- La gare Noisy-Champs.



12 © SGP



13 © SGP

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX 914

OUVRAGES D'ART 915

SOLS ET FONDATIONS 916

SPÉCIAL BIM 917

INTERNATIONAL 918

VILLE, TRANSPORTS ET PATRIMOINE 919

SPÉCIAL BFUP 920

TRAVAUX SOUTERRAINS 921

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX 922

OUVRAGES D'ART 923

SOLS ET FONDATIONS 924

SPÉCIAL HONG KONG 925

ÉNERGIE 926

VILLE ET PATRIMOINE 927

INTERNATIONAL 928

*Offre valable jusqu'au 31/12/17 - comrecvcs.fr - décembre 2016

BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

À renvoyer à : Com et Com - Service Abonnements TRAVAUX - Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot - 92350 Le Plessis-Robinson
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22 - Fax : +33 (0)1 40 94 22 32 - Email : revue-travaux@cometcom.fr

JE COMMANDE LES NUMÉROS SUIVANTS (cochez les cases de votre choix en indiquant le nombre d'exemplaires) :

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 914 x | <input type="checkbox"/> 919 x | <input type="checkbox"/> 924 x |
| <input type="checkbox"/> 915 x | <input type="checkbox"/> 920 x | <input type="checkbox"/> 925 x |
| <input type="checkbox"/> 916 x | <input type="checkbox"/> 921 x | <input type="checkbox"/> 926 x |
| <input type="checkbox"/> 917 x | <input type="checkbox"/> 922 x | <input type="checkbox"/> 927 x |
| <input type="checkbox"/> 918 x | <input type="checkbox"/> 923 x | <input type="checkbox"/> 928 x |

Soit un montant total de : _____ numéros x 15 € = _____ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 15 € à 13 € l'unité)

*Offre valable jusqu'au 31/12/17 et hors frais postaux : 4,00€ d'envoi France, 9,00€ d'envoi Europe et 11,00€ d'envoi étranger hors Europe. Conformément à la Loi informatique et des libertés du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____
 Entreprise _____ Fonction _____
 Adresse _____
 Code postal [] [] [] [] [] Ville _____
 Tél. : _____ Fax : _____
 Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail

Je joins mon règlement d'un montant de _____ € TTC par Chèque à l'ordre de **COM¹ ÉVIDENCE**

ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de COM¹ ÉVIDENCE

- Je réglerai à réception de la facture
 Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire



1 © SOTEM

SOTEM TRAVAILLER EN TOUTE DISCRÉTION POUR LE CONFORT ET LA SÉCURITÉ DES USAGERS

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

TRAVAILLER EXCLUSIVEMENT DE NUIT, EN SOUTERRAIN, AVEC DES DÉLAIS D'INTERVENTION PARTICULIÈREMENT RÉDUITS, DANS LES TUNNELS, LES COULOIRS ET LES STATIONS DU MÉTRO PARISIEN, TELLES SONT LES CONDITIONS CONTRAIGNANTES AUXQUELLES DOIVENT FAIRE FACE LES ÉQUIPES DE SOTEM, UNE ENTREPRISE SPÉCIALISÉE À L'ORIGINE DANS LA RECONNAISSANCE ET LA RÉHABILITATION DES OUVRAGES DE LA RATP ET QUI A DIVERSIFIÉ DEPUIS SON ACTIVITÉ EN CRÉANT UN DÉPARTEMENT SPÉCIALISÉ DANS LES TRAVAUX D'ÉTANCHEMENT. CHARLES PARUIT, NOUS PRÉCISE LA NATURE TRÈS PARTICULIÈRE DE L'ACTIVITÉ DE CETTE ENTREPRISE QU'IL DIRIGE DEPUIS 6 ANS APRÈS AVOIR OCCUPÉ DEPUIS 2003 PLUSIEURS POSTES DE RESPONSABILITÉ AU SEIN DE SOLETANCHE BACHY, D'ABORD EN FRANCE PUIS AUX ETATS-UNIS AINSI QUE CHEZ BACHY SOLETANCHE À HONG KONG.

Sotem (Société des Travaux d'Entretien du Métro) a été créée en 1995 par Soletanche Bachy et Sefi-Intrafor, deux entreprises majeurs de la profession des travaux spéciaux, avec l'objectif de regrouper des savoir-faire complémentaires ainsi que des moyens humains et matériels au service d'une activité spécifique : la réhabilitation des infrastructures du métro parisien - tunnels, couloirs et stations - pour le compte de la RATP

dans le cadre de différents marchés dont elle est toujours adjudicatrice depuis maintenant plus de vingt ans. Ces travaux se répartissent entre sondages de reconnaissance et opérations de réhabilitation par injection de coulis de ciment dans les tunnels et les accès du métro parisien.

En effet, le réseau parisien souffre de deux maux endémiques : la vétusté de son infrastructure - les tunnels sur une grande partie du réseau sont

1 - Injections de régénération dans la station Sèvres-Babylone du métro parisien.

centenaires - et la menace des eaux car il est le plus souvent sous la nappe phréatique et des centaines de pompes rejettent en permanence les eaux d'exhaure provenant d'infiltrations.

Depuis 2001, Sotem a diversifié son activité dans le domaine privé, essentiellement celui des parkings souterrains mais aussi de l'industrie au travers d'un département consacré aux travaux d'étanchement.

Cette ouverture lui a permis de développer une panoplie complète de techniques adaptées aux différents problèmes rencontrés sur les sites de la RATP mais aussi pour une multitude de clients privés.

Aujourd'hui, Sotem compte plus de 90 collaborateurs dont un quart est dédié aux travaux d'étanchement et trois quarts à l'activité d'origine de l'entreprise, ce qui lui permet de mener de front une quinzaine de chantiers dans Paris intra-muros et dans la périphérie de la capitale.

TROIS DOMAINES D'INTERVENTION

Schématiquement, Sotem intervient dans trois domaines spécifiques :

- La régénération et le collage de maçonneries pour la RATP ;
- La reconnaissance pour réaliser des sondages en radier également pour la RATP, afin de vérifier l'état des soubassements des tunnels du métro et les maçonneries ;
- Les travaux d'étanchement par injections de résines pour la RATP et pour des clients privés.

2- Charles Paruit, directeur de Sotem.

3- Les travaux d'inspection et de régénération sont effectués la plupart du temps sur les voies.

© MARC MONTAGNON



2

UN PARC DE MATÉRIEL ADAPTÉ

Sotem assure la maintenance des infrastructures du métro parisien grâce à des travaux de régénération, de collage et d'étanchéité.

Elle est équipée à cet effet de :

- 6 postes mobiles informatisés entièrement autonomes, réalisant des traitements préconisés en station, tunnel ou accès du métro. Ils sont acheminés sur le site pour la durée du poste de travail et retirés au matin.
- 2 centrales d'injection sous forme de 2 conteneurs répartis entre une unité de fabrication et d'injection et un silo.
- 2 mini-centrales modulaires, démontables, informatisées pour des interventions rapides là où les postes mobiles ne peuvent opérer.

Le choix des produits et les méthodes qui permettent de les mettre en œuvre font l'objet d'une attention particulière du fait de la complexité de l'environnement des ouvrages.

La régénération représente 60 % du chiffre d'affaires de l'entreprise, la reconnaissance 10 % et les travaux d'étanchement 30 %.

L'une des contraintes inévitables de ces chantiers, dont la durée est de l'ordre de trois à quatre mois, est celle du temps puisqu'ils ne peuvent se dérouler que de nuit, avec une amplitude extrêmement courte, de 2h30 maximum garantie par nuit.

L'entreprise a accès aux sites autour de 1h30 du matin et doit rendre les voies à la circulation à 5h00 pour le premier passage des trains.

Les travaux sont effectués la plupart du temps sur les voies à côté desquelles circule un rail de traction électrifié dont l'entreprise assure elle-même la consignation électrique dès l'obtention du feu vert de la RATP, c'est-à-dire dès que le dernier métro a rejoint le terminus de la ligne.

Ces conditions de travail ont conduit Sotem à concevoir des matériels spécifiques, installés dans des conteneurs sur des camions qui se mettent en place au début de la nuit et quittent les lieux dès le matin. L'énergie électrique et pneumatique est logée dans les conteneurs à l'intérieur desquels sont également mis en place les silos de ciment, les unités de fabrication et de pompage du coulis ainsi que d'enregistrement informatique des paramètres de l'intervention. ▷



© SOTEM

3



Seul le matériel léger, et démontable, est descendu en station.

Le matériel est monté sur semi-remorques et contient ainsi les éléments suivants :

→ Une partie fabrication - injection constituée de bacs de mélange des constituants injectés (ciment, eau, ...), de pompes d'injection (presse hydrauliques) pilotées informatiquement, d'un poste de contrôle où l'opérateur pilote tout le matériel présent (fabrication, pompage, communication avec le chantier en sous-sol) ;

→ Une partie silo de ciment : le ciment est stocké directement sur le camion, rempli pendant la journée. Une vis sans fin permet d'alimenter la partie fabrication sur commande du centraliste ;

→ Un caisson insonorisé qui comporte l'énergie utilisée sur le chantier : groupe électrogène et compresseur.

Cet ensemble est entièrement autonome. Son pilotage est fait par un centraliste qui contrôle l'ensemble des équipements à l'aide d'un automate et d'une programmation informatique.

La liaison entre le centraliste à l'extérieur et l'opérateur présent dans le tunnel est un élément essentiel pour le fonctionnement adéquat de ce PIM en fonction des besoins de l'équipe travaux.

Des conduites et des câbles sont tirés de ces conteneurs et descendus jusque sur les voies pour alimenter les lances d'injection.

ENTREtenir 280 KM DE TUNNELS

La sécurité ferroviaire est une priorité absolue pour la RATP. Propriétaire de son réseau ferré (métro et RER) en Île-de-France, la RATP a ainsi investi en 2015 plus de 400 M€ dans l'entretien, la maintenance et la modernisation de tous les éléments nécessaires au bon fonctionnement et à la sécurité du métro et du RER. En 2016, ce sont plus de 500 M€ qui seront consacrés à ces investissements sur les infrastructures existantes qui représentent 280 km de tunnels (métro et RER).

Les chantiers sont programmés la nuit sur des durées courtes, de trois heures à trois heures et demi en moyenne, le week-end ou pendant la période estivale pour perturber le moins possible le service.

Les seuls équipements mobilisés sur le chantier sont ces Postes d'Injection Mobiles.

Ils contiennent tout le matériel nécessaire pour assurer le fonctionnement autonome du chantier.

Une telle logistique est indispensable pour qu'il ne reste aucune trace de l'intervention lors de la reprise du tra-

fic, aussi bien en surface que dans les tunnels ou les stations.

LE TRAIN DE RECONNAISSANCE

La reconnaissance est assurée à partir d'un train-travaux constitué de trois wagons, qui ne peut être acheminé sur site qu'à l'issue de l'arrêt du trafic sur les lignes du métro.

Le train proprement dit est la propriété de la RATP mais les équipements qu'il transporte ont été conçus et sont mis en œuvre par Sotem et lui appartiennent.

Il est composé de trois wagons :

→ Le premier comporte la sondeuse qui constitue l'élément central des travaux à effectuer. Elle réalise des forages verticaux d'une trentaine de mètres de profondeur et à l'espace-ment de 20 mètres environ sous le radier des voies ;

→ Le deuxième sert d'unité de fabrication de coulis de ciment et assure le comblement immédiat des vides laissés par les forages ;

→ Le troisième est dédié à la partie énergie avec un groupe électrogène, un compresseur, un épurateur d'air et une cuve à eau.

Dans la journée, ce train stationne dans le dépôt de matériel de la Porte de la Villette où sont assurés l'entretien des équipements et les différents pleins.

4- L'un des semi-remorques avec les conteneurs abritant les matériels de régénération.

5- Intérieur de l'un des conteneurs avec les équipements de fabrication et de pompage du coulis.



4

© SOTEM



5

© SOTEM



6



7



8



9

6- Le train de reconnaissance prend place dans une station.

7- Les trois wagons du train de reconnaissance.

8- Le premier wagon du train de reconnaissance comporte la sondeuse qui constitue l'élément central des travaux à effectuer.

9- Le deuxième wagon sert d'unité de fabrication de coulis de ciment.

10- Forage de reconnaissance sur les voies.

Toutes les nuits, le train est transféré du dépôt de La Villette sur les lieux mêmes du chantier. Il circule le soir, pendant les heures où le trafic des métros est moins dense et rejoint dès le matin le dépôt.

Il sillonne la nuit le réseau en empruntant les nombreux embranchements (une quarantaine) qui existent entre les lignes pour réaliser les différentes

© SOTEM



10

opérations de maintenance nécessaires pour un réseau sollicité de manière intensive.

« En effet, la RATP a l'obligation d'inspecter tous les cinq ans l'ensemble de ses ouvrages, indique Charles Paruit, c'est-à-dire de l'ordre de 220 km de réseau et de stations, et c'est dans le cadre de ces travaux qu'intervient le train-reconnaissance pour assurer les travaux consécutifs aux contrôles et diagnostics réalisés à intervalles réguliers. »

L'ÉTANCHEMENT SOUS TOUTES SES FORMES

Dernier en date dans l'histoire de Sotem, le département « étanchement » emploie une vingtaine de personnes. Il a pris naissance pour répondre aux besoins de la RATP qui était confrontée à de sérieux problèmes d'infiltrations tant dans les tunnels que dans les stations et dans les couloirs d'accès et qui ont pu être résolus par des injections de résine.

Au fil des années, il s'est ouvert à des travaux complémentaires réalisés pour le compte de clients extérieurs qui avaient à résoudre des problèmes identiques dans des parkings souterrains, des fosses d'ascenseurs ou, d'une manière générale, dans des ouvrages enterrés.



11

© SOTEM

Les travaux d'étanchement sont toujours effectués de nuit pour la RATP, lorsqu'il n'y a plus de trains sur le réseau ni de voyageurs dans les couloirs ou dans les stations. Les conditions et les horaires de travail sont sensiblement moins contraignants lorsque les interventions sont réalisées dans le domaine privé.

« Pour ce qui est des travaux d'étanchement, précise Charles Paruit, nos équipes d'applicateurs maîtrisent parfaitement l'utilisation de toutes les résines d'injection de type acrylique, polyuréthane mono ou bi-composants

et vinyliques. Une large gamme de produits disponibles permet d'apporter des solutions efficaces à tous types de problèmes rencontrés ».

Pour citer quelques types d'intervention que le département « étanchement » de l'entreprise est en mesure de réaliser :

- Injection de fissures et microfissures dans les bétons ;
- Injection de joints de paroi moulée ;
- Blocage de fortes venues d'eau ;
- Injection de coulis de ciment/résine en remplissage et étanchéité sous dallage ;
- Étanchement de voussoirs ;

11- Le poste de commande informatisé du train de reconnaissance.

12- Travaux d'étanchement dans un tunnel de petit diamètre.

13- Le département « étanchement » a permis à Sotem d'étendre son champ d'activité, notamment dans les parkings souterrains.

→ Traitement de joints de dilatation. Sotem a également étendu son champ d'activité à des travaux d'étanchement plus divers.

Elle exécute ainsi des applications de membranes - revêtement de sol - hydrauliques ou synthétiques permettant d'étancher des radiers de parkings et des fosses de toutes natures : ascenseurs, rétention de produits chimiques...

Elle maîtrise par ailleurs les enduits en voûte résistants à la contre pression de l'eau mais également la cristallisation ou la minéralisation des bétons.



12



13

© SOTEM

CAROTTAGES ET MAÇONNERIES

En plus des spécialités de base qui ont présidé à sa création, Sotem réalise également des carottages de tous diamètres et de toutes longueurs dans le béton, les maçonneries, les complexes maçonnerie/terrain/maçonnerie pour le passage de fourreaux ou d'équipements divers.

Elle dispose à cet effet de carotteuses hydrauliques de différentes puissances et de carotteuses de bâtiment. Afin d'éviter l'intervention de corps d'état multiples dans la réalisation de projet, elle prend en charge les petits travaux de maçonnerie : reprise de fissures, fractures, enduits, tranchées, drains encastrés, pose de profilés drainants, etc.

À cette panoplie s'ajoutent tous les types de travaux de reconnaissance et d'injections : sondage carotté, pression, piézomètre et inclinomètre, injection de traitement de terrain et de remplissage.

14- Sotem participe aux grands chantiers en cours tels Éole (RER E vers l'ouest).

15- L'une des centrales mobiles installée en surface pour des travaux de consolidation des maçonneries dans le cadre du prolongement du RER E vers l'ouest, avenue Charles De Gaulle à Neuilly-sur-Seine.

© MARC MONTAGNON



14

MÉTRO DE PARIS : TOUT A COMMENCÉ EN 1900

La première ligne du métro de Paris a été construite à la veille de l'Exposition universelle de 1900. Elle est inaugurée quelques mois après le début de l'exposition. Le réseau s'est ensuite rapidement densifié dans Paris intra-muros jusqu'à la Seconde Guerre mondiale.

Après une pause durant les « décennies-voiture » (1950-1970), plusieurs lignes existantes ont été prolongées en proche banlieue.

Les choix effectués à sa conception (faibles distances entre les stations, capacité réduite des rames) limitent aujourd'hui les possibilités d'extension du réseau.

Le métro de Paris a cependant inauguré à la fin du siècle dernier - en octobre 1998 - une nouvelle ligne entièrement automatisée, la ligne 14, destinée notamment à soulager la ligne A du RER.

Il comporte actuellement seize lignes en site propre, essentiellement souterraines, totalisant près de 220 km.

Par ailleurs, avec ses 49 navettes, la ligne 1 qui fait traverser Paris d'ouest en est, a fêté le 22 décembre 2013 un an d'exploitation en automatisation intégral. À cette date, elle avait parcouru près de 4 millions de km parcourus soit environ 100 fois le tour de la terre.

Défi technique, organisationnel et social unique au monde, l'automatisation a projeté la ligne 1 vers un futur qui engage les 40 prochaines années.

Un autre défi s'annonce aujourd'hui, celui de l'automatisation de la ligne 4, avec tous les travaux de maintenance qu'elle va nécessiter. Enfin, le prolongement d'Éole vers l'ouest (RER E) et la construction du Grand Paris Express vont faire entrer de plain-pied dans le 21^e siècle.

LES CHANTIERS EN COURS

Parmi les chantiers en cours les plus importants, deux d'entre eux s'inscrivent dans le projet Éole dans le cadre de l'extension de la ligne entre Haussmann - Saint-Lazare et Porte Maillot.

« Ils consistent à consolider des tronçons des lignes 1 et 13 au droit du futur passage du tunnelier, précise Charles Paruit, et ont nécessité des investissements importants en matériels, notamment une centrale d'injection qui intervient actuellement sur un chantier situé avenue Charles De Gaulle à Neuilly. Ces chantiers sont réalisés par six équipes de sept personnes ».

« Sur quelques centaines de mètres, pour les travaux réalisés dans le cadre d'Éole, se concentrent des contraintes exceptionnelles qui nécessitent pour chaque chantier une attention et un traitement particuliers ».

Il est vraisemblable que d'autres suivront.

En effet, la réalisation de la partie souterraine d'Éole vers l'ouest comporte de très nombreux points particuliers tout au long de son tracé, dès l'origine au raccordement Haussmann - Saint-Lazare avec la ligne existante mais aussi, au-delà, avec la création deux nouvelles gares à Porte Maillot et La Défense et de plusieurs ouvrages annexes.

D'autres chantiers sont menés parallèlement par l'entreprise dans les stations Père-Lachaise et Gare-du-Nord du métro ainsi que sur le tracé du tramway T2 à Suresnes, pour la régénération des maçonneries d'un tunnel.

Le mode opératoire est identique pour ces différents chantiers : après des forages auréolaires dans les tunnels, les équipes de Sotem procèdent à l'injection à très faible pression d'un mélange d'eau et de ciment dans les maçonneries de manière à remplir et combler les vides et les fissures qui ont pu apparaître au fil du temps et « recoller » les ouvrages au terrain. Il s'agit de forages d'une longueur de 0,50 m en voûte et de 1,50 m à 2 m dans les piédroits.

« Nos atouts sont la souplesse et la réactivité d'une entreprise à taille humaine, conclut Charles Paruit, ainsi que la solidité technique et financière d'une société appartenant à Soletanche Bachy et à Sefi-Intrafor, elles-mêmes filiales des deux grands groupes que sont Vinci et Fayat. » □



© MARC MONTAGNON

15



© CHANTIER

PROLONGEMENT DE LA LIGNE 14 À SAINT-OUEN LOT T02 - SOUTÈNEMENTS PAROIS MOULÉES - ANALYSES ET OPTIMISATIONS

AUTEURS : JERONI BOUDE, INGÉNIEUR TRAVAUX EN CHARGE DES TRAVAUX SPÉCIAUX DU LOT T02, SOLETANCHE BACHY FRANCE -
MAXIME FONTY, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, SOLETANCHE BACHY FRANCE - LAURENT DABET, DIRECTEUR TECHNIQUE DU PROJET LIGNE 14 LOT T02,
BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

LE PROJET DE PROLONGEMENT NORD DE LA LIGNE 14 JUSQU'À SAINT-OUEN A POUR OBJECTIF LA DÉSATURATION DE LA LIGNE 13 ET L'INTÉGRATION DANS LE FUTUR RÉSEAU GRAND PARIS. LE GROUPEMENT BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - SOLETANCHE BACHY FRANCE - BESSAC - SOLETANCHE BACHY TUNNELS RÉALISE ENVIRON 2200 M DE TUNNEL DEPUIS LA STATION CLICHY-SAINT-OUEN, LE GÉNIE CIVIL DE LA STATION MAIRIE-DE-SAINT-OUEN ET TROIS PUIS PROFONDS PERMETTANT LES ENTRÉES ET SORTIES DU TUNNELIER. LA STATION ET LES PUIS PROFONDS INTÈGRENT DES PAROIS MOULÉES DONT LA CONCEPTION ET LE DIMENSIONNEMENT ONT ÉTÉ OPTIMISÉS.

1- Nouvelle Hydrofraise HF Grippers.
 2- Vue d'ensemble du lot T02 - Tracé tunnel - Station et puits.
 3- Centrale de traitement de boue.

1- New HF Grippers Hydrofraise.
 2- General view of work section T02 - Tunnel alignment - Station and shaft.
 3- Slurry treatment plant.

VUE D'ENSEMBLE DU LOT T02 - TRACÉ TUNNEL - STATION ET PUITS



© CHANTIER

2

INTRODUCTION

Le projet de prolongement Nord de la ligne 14 jusqu'à Saint-Ouen a été lancé en 2014, avec pour objectif la désaturation de la Ligne 13 et l'intégration dans le futur réseau Grand Paris. Il fait l'objet de marchés publics sous maîtrise d'ouvrage RATP et maîtrise d'œuvre Systra. Deux lots principaux concernent la réalisation du tunnel. Le groupement Bouygues Travaux

Publics - Soletanche Bachy France - Bessac - Soletanche Bachy Tunnels est adjudicataire du lot T02. Ce marché d'environ 165 millions d'euros prévoit la réalisation d'environ 2200 m de tunnel depuis la station Clichy-Saint-Ouen (lot T03), ainsi que la création du génie civil de la station Mairie-de-Saint-Ouen (MSO) et de trois ouvrages du type puits profond permettant les entrées et sorties du tunnelier (figure 2).

L'ordre de service notifiant le démarrage des travaux a été reçu en juillet 2014. La durée prévisionnelle des travaux est de 60 mois. La station Mairie-de-Saint-Ouen et les puits d'entrée et de sortie du tunnelier sont autant d'ouvrages du projet intégrant des soutènements de parois moulées qui ont offert l'opportunité d'optimiser, dans leur réalisation, la conception ou le dimensionnement.

L'OUVRAGE GLARNER - PUITS DE DÉPART DU TUNNELIER

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Cet ouvrage, réalisé en parois moulées de 1,20 m d'épaisseur, est ancré à environ 48 m de profondeur dans le Calcaire Grossier. Ce puits, dont le fond de fouille se situe à 27 m de profondeur, est le point de départ du creusement des trois sections de tunnel constituant le lot T02. L'excavation a été réalisée principalement à l'Hydrofraise (figures 1 et 3) ; les terrains traversés consistent dans la série Marno-calcaire de Saint-Ouen, Sables de Beauchamp, Marnes et Caillasses et Calcaire Grossier.

Il s'agit d'un ouvrage assez particulier en raison de sa géométrie trapézoïdale, avec un tympan simple au nord pour le premier tronçon du tunnel (1 590 m) et un tympan double au sud pour l'attaque des deux autres tronçons. Par ailleurs, sa longueur réduite de 50 m ne permet pas d'aligner l'ensemble du tunnelier et de son train suiveur pour le démarrage des creusements (figure 4).

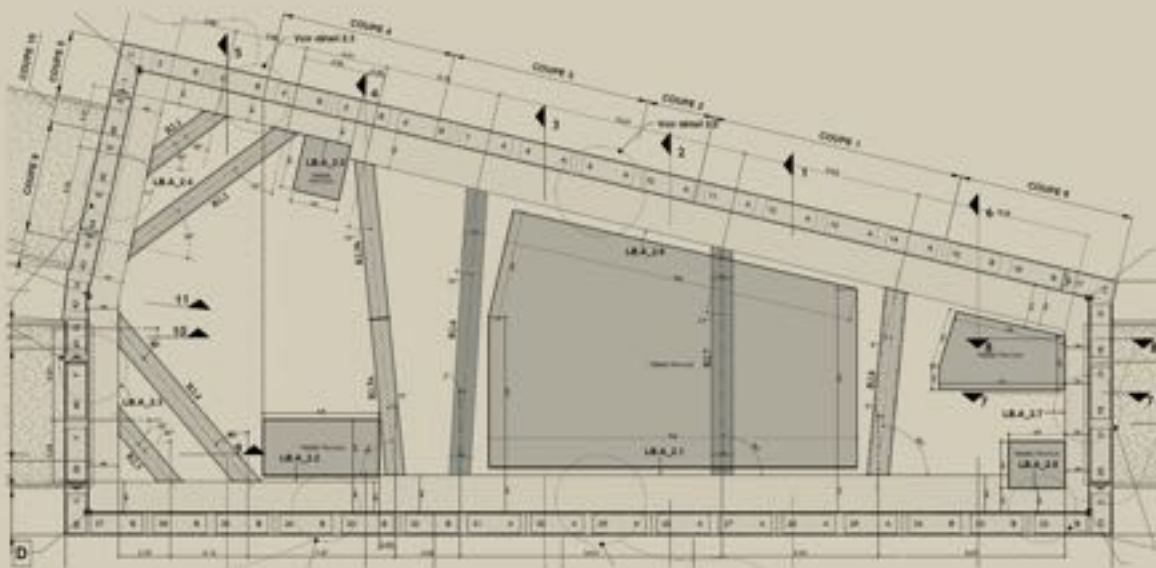
Cette géométrie contrainte impose de nombreuses dispositions particulières pour le lancement du tunnelier (figure 5). Outre l'alignement progressif des deux dernières remorques au fur et à mesure du creusement et une gestion complexe des déblais via un ensemble de convoyeurs provisoires, il faut intégrer la rotation et la réutilisation des équipements (cloche, bâti de poussée, etc.) pour optimiser les opérations des trois lancements dans la même boîte. ▽



© CHANTIER

3

VUE EN PLAN DU PUIITS GLARNER - SYSTÈME DE BUTONNAGE



4

© CHANTIER

DIMENSIONNEMENT DES PAROIS MOULÉES, SUIVI ET RÉTRO-ANALYSE

Les calculs de parois moulées ont été réalisés par le bureau d'études de Solelanch Bachy France à l'aide du programme PARIS (développé en interne) qui permet de mener des calculs aux coefficients de réaction.

La paroi moulée a été instrumentée d'inclinomètres et a fait l'objet d'un suivi topographique en continu. Un suivi géologique et piézométrique de la fouille, ainsi que des mesures régulières du débit d'exhaure, ont également été mis en œuvre par l'équipe géotechnique du chantier.

Ce suivi géotechnique a permis de rassembler les informations nécessaires à une rétro-analyse du calcul du soutènement. La figure 6 présente d'une part la courbe de déplacement selon le calcul initial, ainsi que la courbe mesurée sur un inclinomètre (en trait discontinu). La courbe de déplacement issue du calcul recalé (trait plein) est obtenue après ajustement des paramètres de calculs aux valeurs mesurées ou observées in situ :

- Les niveaux piézométriques mesurés ;
- La stratigraphie observée lors du terrassement du puits ;
- Les raidisseurs d'appui au droit de l'inclinomètre ;
- Les surcharges travaux réellement appliquées à la paroi moulée pendant les travaux.

La courbe de déformée calculée à l'aide du programme PARIS est très proche de la courbe mesurée : la valeur de calcul de la déformée maximale en ventre est, à 1 mm près, celle mesurée. Les déformées en tête de paroi moulée

sont surestimées dans le calcul, probablement du fait de la prise en compte de caractéristiques géotechniques trop faibles dans les remblais de tête ($F=25^\circ$, $C=0$ kPa, et $E_m=4$ MPa). Cette analyse montre que le modèle

de calcul aux coefficients de réaction à l'aide du programme PARIS donne une estimation très satisfaisante des déformées de la paroi moulée. D'autre part, il est à noter que les efforts mesurés dans les butons provisoires, qui ont fait l'objet d'une auscultation, étaient inférieurs aux efforts calculés avec le programme PARIS.



5

© CHANTIER

OPTIMISATION TECHNIQUE : SUPPRESSION DU RADIER INJECTÉ

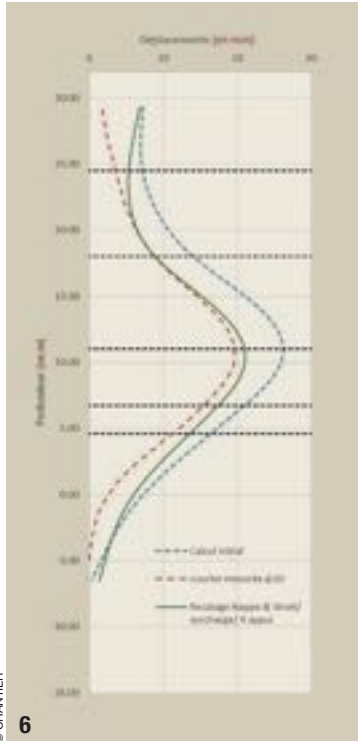
La mise hors d'eau de la fouille a également fait l'objet d'un suivi particulier. L'essai de pompage réalisé avant le démarrage des terrassements et des-

4- Vue en plan du puits Glarner - Système de butonnage.

5- Puits Glarner terrassé et butonné - Montage du tunnelier en cours.

4- Plan view of the Glarner shaft - Shoring system.

5- Earthworked and shored Glarner shaft - TBM assembly in progress.



© CHANTIER
6

tiné à valider l'étanchéité de la boîte a permis d'estimer un débit d'exhaure de l'ordre de 10 m³/h, significativement inférieur au critère de 80 m³/h maximum retenu dans la phase de dimensionnement. Cet essai a ainsi permis de s'affranchir des travaux de réalisation d'un fond injecté dans le calcaire grossier, initialement prévu au marché, ce qui représente une optimisation du planning significative pour cet ouvrage

6- Exemple de retro-analyse sur la base des mesures de déformations in-situ.

7- Suivi de débit et des piézomètres pendant le terrassement.

8- Coupe transversale de la station MSO.

6- Example of reverse engineering based on in-situ deformation measurements.

7- Monitoring of the output and piezometers during earthworks.

8- Cross section of MSO Station.

SUIVI DE DÉBIT ET DES PIÉZOMÈTRES PENDANT LE TERRASSEMENT



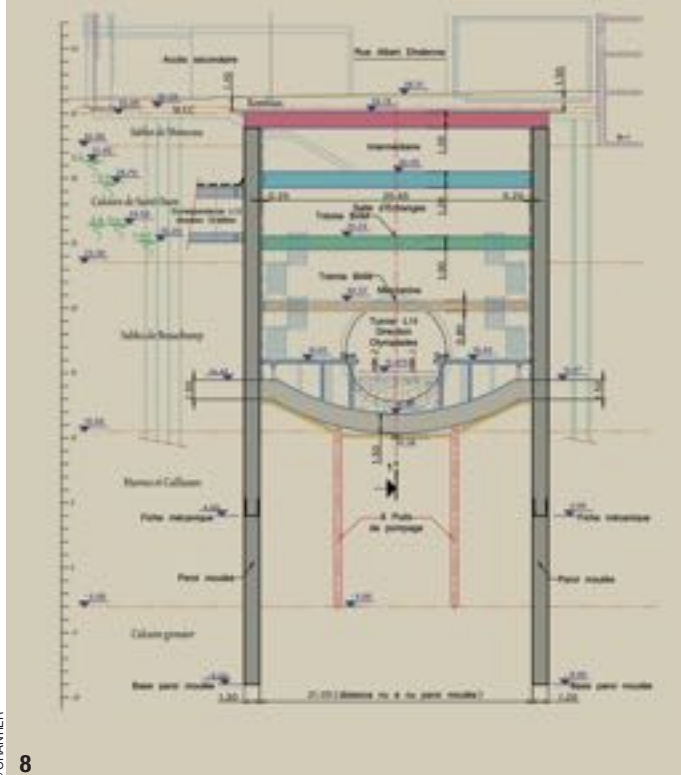
7

sur le chemin critique du planning général du projet. Enfin, des mesures régulières, au cours des terrassements, de la piézométrie et du débit de pompage (entre 8 et 10 m³/h), permettent de vérifier que

le débit spécifique de la fouille (débit/rabattement) reste bien constant durant l'excavation de la fouille et jusqu'à la mise en œuvre du radier (figure 7). Le dimensionnement des parois avec un programme de calcul éprouvé, d'une

part, et, d'autre part, un suivi régulier in situ de plusieurs paramètres comme les déformations, les efforts de butonnage, confortés par les mesures de niveaux piézométriques et de débit dans le cadre des essais de pompage, permettent de conforter les modèles de calcul et, le cas échéant, de concrétiser des opportunités d'optimisation significative.

COUPE TRANSVERSALE DE LA STATION MSO

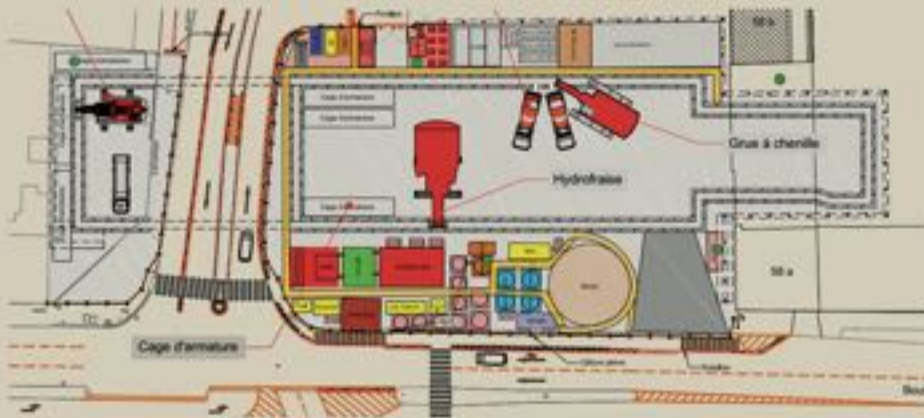


© CHANTIER
8

STATION MAIRIE-DE-SAINT-OUEN RÉALISATION EN 2 PHASES - VARIANTE PARI PROVISOIRE TRANSVERSALE

La station Mairie-de-Saint-Ouen est un ouvrage de 120 m de longueur et de 20 m de largeur constitué par une paroi moulée périmétrique en béton de 1,20 m d'épaisseur. La station est située à côté de la station de la ligne 13, au droit d'un carrefour en plein centre urbain de la commune de Saint-Ouen. L'extrémité Nord-Est de la station ne fait que 12 m de largeur, car elle est intégrée dans le bâti existant. La paroi moulée est ancrée de quelques mètres dans le Calcaire Grossier à environ 42 m de profondeur. Cet écran de soutènement est principalement excavé à l'Hydrofraise qui permet de traverser les couches de sable de Beauchamp grésifiés, les Marnes et Caillasses et le Calcaire Grossier (figure 8). Au final, c'est plus de 11 000 m² de parois moulées qui sont nécessaires à la construction de la future station de la ligne 14.

STATION MSO - INSTALLATION DE CHANTIER PENDANT LA PHASE 1



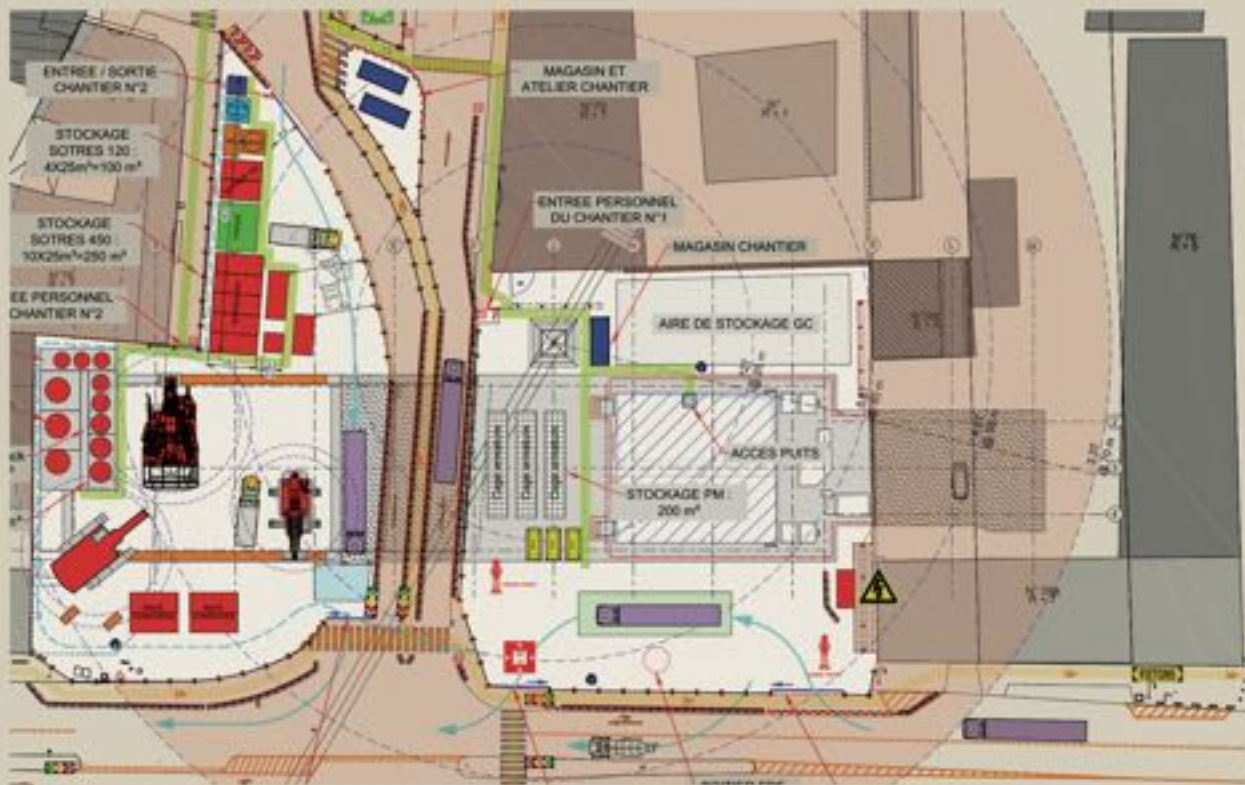
9

© CHANTIER

9- Station MSO - Installation de chantier pendant la phase 1.
10- Station MSO - Installation de chantier pendant la phase 2.

9- MSO Station - Site facilities during phase 1.
10- MSO Station - Site facilities during phase 2.

STATION MSO - INSTALLATION DE CHANTIER PENDANT LA PHASE 2



10

© CHANTIER

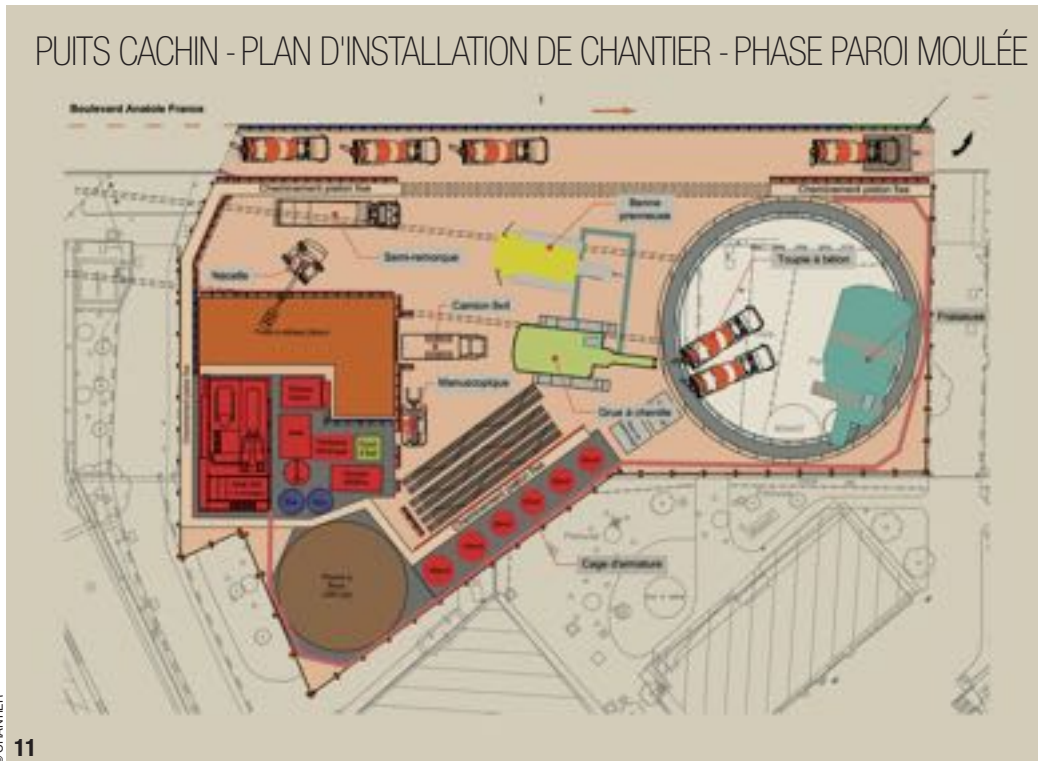
Cette station, parallèle au boulevard Jean-Jaurès, coupe la rue Albert-Dalhenne. La circulation des véhicules et des piétons ne pouvant être totalement interrompue pendant la réalisation des travaux de fondation, ces derniers ont été découpés en deux phases. Les parties de la station situées hors de la rue Albert-Dalhenne (emprises gagnées sur la démolition d'anciens

bâties) constituent la phase 1 des travaux (figure 9). La voirie et les réseaux enterrés sont ensuite déviés sur une dalle portée, réalisée sur la paroi moulée. Ce basculement libère une nouvelle emprise de travaux, permettant de fermer la boîte par la réalisation des derniers panneaux de paroi moulée (phase 2 illustrée par la figure 10).

Entre les deux phases, le tunnelier traverse le volume de la future station « pleine masse », grâce notamment aux tympans en fibre de verre disposés à chaque extrémité de l'ouvrage. Cette méthode de construction en deux temps avec basculement de voirie permet de maintenir en activité l'ensemble des axes de circulation, réduisant ainsi les nuisances générées par le chantier.

Cependant, cette méthode implique un arrêt des travaux de la station compris entre 6 à 8 mois, temps nécessaire à la réalisation de la dalle portée, au dévoiement des réseaux et de la chaussée. Le terrassement de l'ouvrage et la réalisation des structures internes ne peuvent débuter qu'après la réalisation des derniers panneaux de paroi moulée en phase 2 (fermeture de la boîte pour

PUITS CACHIN - PLAN D'INSTALLATION DE CHANTIER - PHASE PAROI MOULÉE



permettre l'épuisement de la fouille). Sur ce point, le groupement a proposé une variante de phasage qui permet de concilier maintien de la circulation et poursuite des travaux de la station. À la fin de la phase 1, une paroi moulée provisoire transversale est réalisée, afin de fermer un volume représentant environ les deux tiers de la future station, baptisé « boîte principale ». Les travaux de basculement de la voi-

rie se poursuivent comme prévu, mais le terrassement et le gros-œuvre de la boîte principale peuvent démarrer immédiatement, indépendamment de la réalisation de la phase 2. Le coût de la réalisation et de la démolition de cet écran de soutènement provisoire est largement compensé par le gain engendré sur le planning général de la construction de la station, qui est environ d'un an.

GESTION DES RISQUES

Conformément aux préconisations de l'AFTES, le marché prévoit une gestion des risques partagée entre le titulaire et le maître d'ouvrage. Le risque concerne la non-maîtrise du débit d'exhaure, lors de la phase d'épuisement de la station pendant son terrassement. Il fait partie des risques majeurs identifiés pour la station et les puits.

Ainsi le marché prévoit-il une provision pour risque destinée à la réalisation d'un fond injecté dans le cas où les essais de pompage montreraient que le critère de débit imposé par l'arrêté « Loi sur l'eau » régulant le projet n'est pas respecté (200 m³/h maximum pour cet ouvrage).

Les reconnaissances hydrogéologiques complémentaires menées en début de chantier (notamment la réalisation d'essais au micro-moulinet) ont permis d'optimiser la profondeur de l'ancrage hydraulique dans la Calcaire Grossier.

Grâce à cette disposition, la surface de paroi à réaliser a été réduite, avec néanmoins un débit d'exhaure inférieur au critère marché précédemment défini.

Des dispositions constructives ont également été mises en œuvre, afin de garantir le débit d'exhaure : l'excavation à l'Hydrofraise de Soletanche Bachy permet de garantir une verticalité des panneaux de 0,5%.

En complément, les joints « water-stop » permettant de garantir l'étanchéité entre les panneaux sont descendus jusqu'au pied de paroi.

L'essai de pompage réalisé en fin de phase 1 au droit de la « boîte principale » a montré des débits d'exhaure de l'ordre de 20 à 30 m³/h, bien en-deçà des critères du marché. Le risque de non-maîtrise du débit d'exhaure a donc pu être levé.

L'OUVRAGE CACHIN : PUIITS DE SORTIE DU TUNNELIER

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage Cachin (initialement appelé Pleyel) est le premier puits de sortie du tunnelier.

Il est situé sur la commune de Saint-Denis, à plus de 1,5 km du puits de départ Glarner.

Cet ouvrage circulaire de 22 m de diamètre est constitué d'une paroi moulée de 1,2 m d'épaisseur.

Comme pour les précédents ouvrages, l'excavation est principalement réalisée à l'Hydrofraise.

L'emprise dédiée aux travaux est particulièrement exiguë, comme le montre la figure 11 (environ 2500 m²).

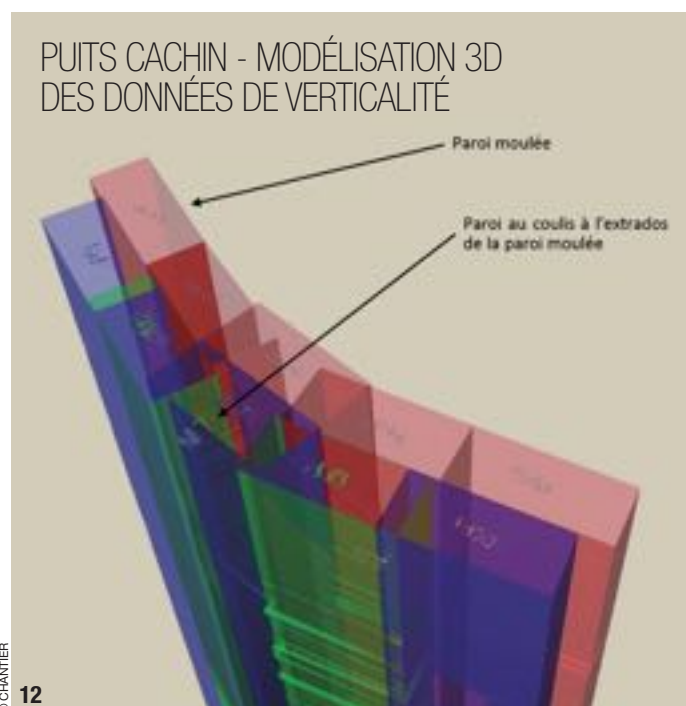
Cet ouvrage possède un tympan pour la sortie du tunnelier du lot T02, mais également un tympan en attente qui permettra de prolonger la ligne 14 jusqu'à la future gare du Grand Paris Express de Saint-Denis Pleyel, située à l'intersection des futures lignes 15 et 17.

11- Puits Cachin - Plan d'installation de chantier - phase paroi moulée.

12- Puits Cachin - Modélisation 3D des données de verticalité.

11- Cachin shaft - Site layout plan - diaphragm wall phase.

12- Cachin shaft - 3D modelling of verticality data.



LE TRAITEMENT DU TYMPAN DE SORTIE - PAROIS AU COULIS

Le dossier de consultation prévoyait le traitement des différents tympans de sortie et d'entrée en terre du projet par la réalisation d'un massif de jet-grouting réalisé à l'extrados des ouvrages précédemment réalisés en parois moulées.

Ce traitement a fait l'objet de variantes par le groupement titulaire du marché : les massifs de jet-grouting ont été remplacés au profit d'un sur-épaississement des parois au droit des tympans d'entrée et de sortie.

Dans le cas de l'ouvrage Cachin, ce sur-épaississement consiste à réaliser un écran étanche de type paroi au coulis non armée. Cet écran adossé à la paroi béton de l'ouvrage permet de

développer une épaisseur de 2,4 m nécessaire au scellement des derniers anneaux du tunnel lors du percement. La représentation en 3D des données de verticalité enregistrées à l'excavation des parois permet une première vérification du bon collage des parois (figure 12).

DIMENSIONNEMENT DE LA FICHE HYDRAULIQUE

Dans le cadre de la gestion contractuelle des risques et des opportunités du marché, la réduction de la fiche hydraulique de l'ouvrage Cachin a été envisagée dès la phase d'appel d'offres. L'ancrage de la paroi moulée dans le Calcaire Grossier à environ 60 m de profondeur présentait une opportunité d'être réduit à environ 40 m et prolongé

par une jupe injectée jusqu'à 60 m. Soulignons que le marché prévoit un mécanisme d'intéressement permettant de reverser au titulaire une partie des économies générées par les optimisations techniques. Cette clause incitative d'intéressement vertueux permet d'une part au titulaire de proposer des variantes innovantes, et d'autre part

au maître d'ouvrage d'optimiser le coût final de son ouvrage. Le remplacement de la fiche hydraulique en paroi moulée par une jupe injectée sur le puits Cachin s'inscrit dans cette démarche (figure 13).

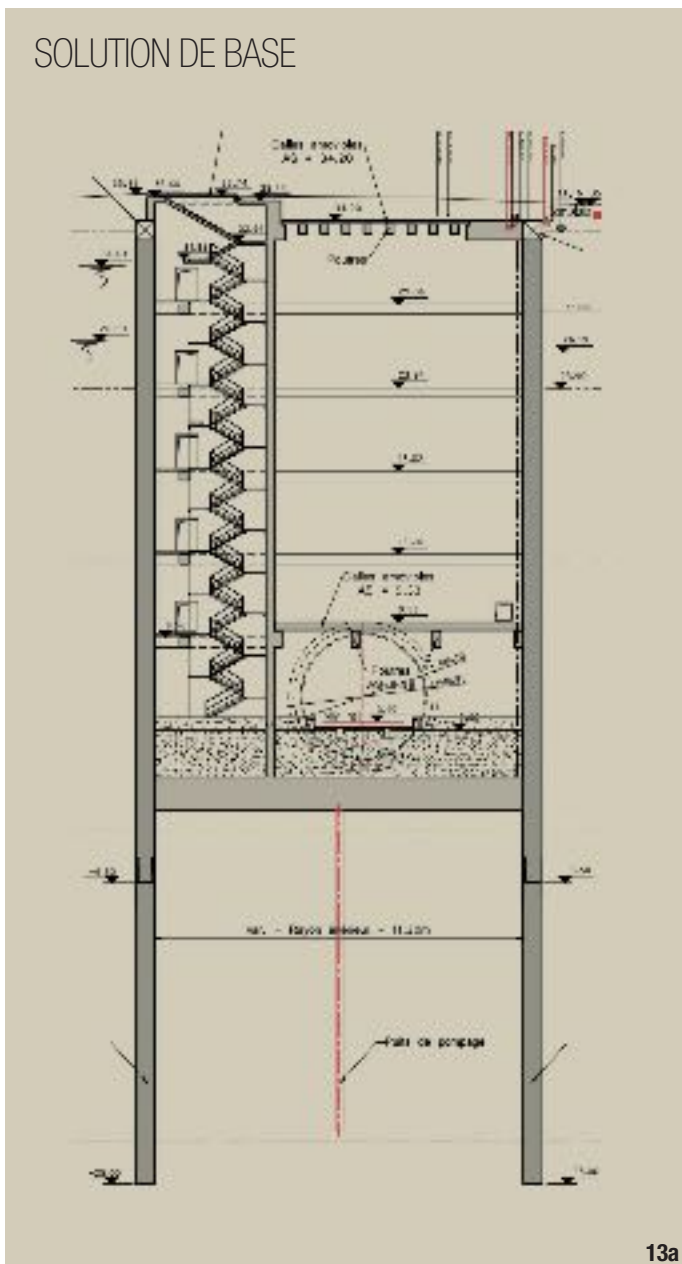
Afin de concrétiser cette opportunité, une campagne de reconnaissance hydrogéologique a d'abord été menée avant le démarrage des travaux dans le but de valider les hypothèses de dimensionnement et de stabilité hydraulique de l'ouvrage. Le débit d'exhaure maximum a été fixé par le marché sur cet ouvrage à 100 m³/h.

Une fois la paroi moulée réalisée, un essai de pompage préliminaire a permis d'estimer le débit d'exhaure à environ 160 m³/h. Suite à la réalisation de la jupe injectée, un second essai de pom-

13- Solution de base (gauche) - Optimisation de la fiche (droite).

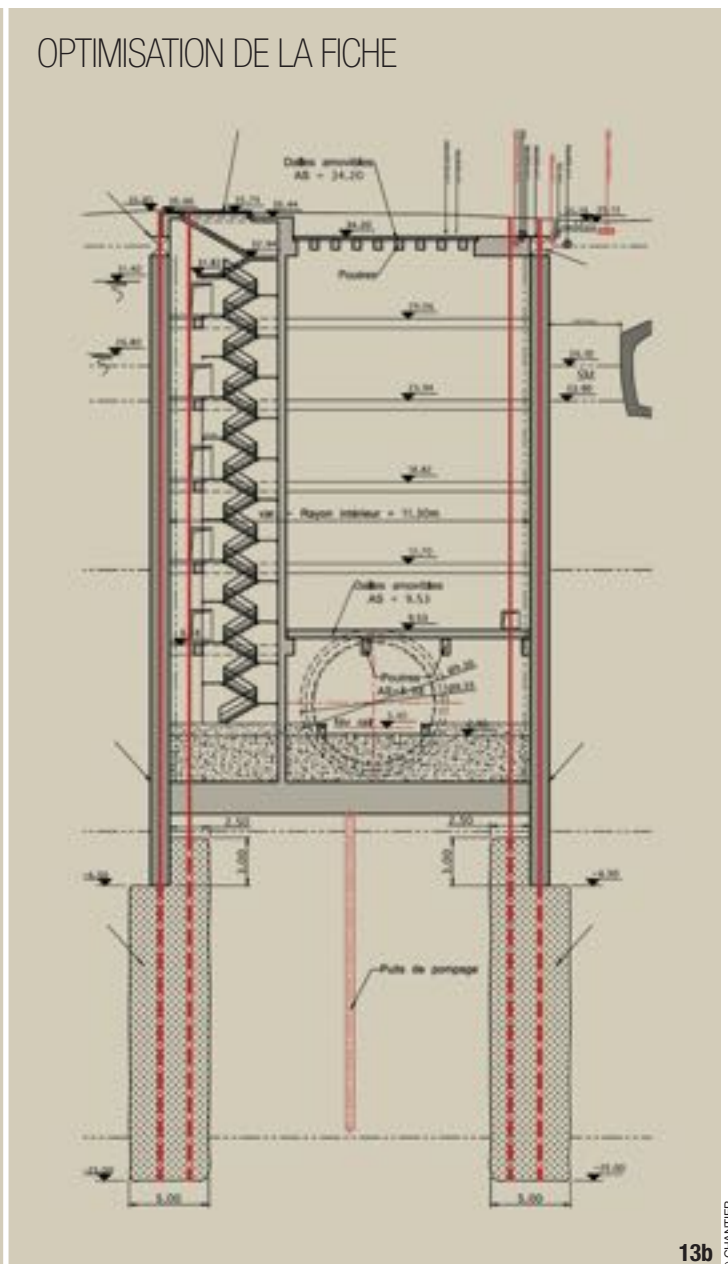
13- Standard solution (left) - Optimisation of the file (right).

SOLUTION DE BASE



13a

OPTIMISATION DE LA FICHE



13b

© CHANTIER



© CHANTIER
14

14- Puits Cachin immergé pour réception du TBM.

14- Cachin shaft submerged to receive the TBM.

page a été effectué : il a permis d'évaluer le débit d'exhaure final à 90 m³/h, ce qui a donc entraîné le terrassement de l'ouvrage et la réalisation du radier (figure 14).

L'opportunité a donc pu être validée, et a suscité un gain financier partagé entre le maître d'ouvrage et le titulaire. □

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

TUNNEL : 2 205 m - ø 7,75 m / 8,50 m

TUNNELIER : Tunnelier à pression de terre - ø 8,91 m

1 STATION (MAIRIE DE SAINT OUEN) :

- 120,5 m x 20 m x 26 m (fond de fouille)
- Parois moulées de 1,20 m d'épaisseur, ancrées à 48 m (fiche hydraulique)

3 OUVRAGES ANNEXES : Parois moulées de 1,20 m d'épaisseur

- Glarner : 54 m x (11 à 24 m) x 27 m (fond de fouille) / 42 m (fiche hydraulique)
- Cachin (Pleyel) : ø 22 m x 35 m (fond de fouille) / 42 m (fiche hydraulique) / 60 m jupe injectée
- Pierre : 27 m x 14 m x 17 m (fond de fouille) / 31 m (fiche hydraulique)

LES INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : RATP

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Systra

MONTANT : 164,9 M€ HT

OS : 2 juillet 2014

DÉLAI : 50 mois

GROUPEMENT D'ENTREPRISES :

- Bouygues Travaux Publics (mandataire)
- Soletanche Bachy France
- Bessac
- Soletanche Bachy Tunnel

ABSTRACT

EXTENSION OF LINE 14 TO SAINT-OUEN, WORK SECTION T02 - DIAPHRAGM WALL RETAINING STRUCTURES - ANALYSES AND OPTIMISATIONS

JERONI BOUDE, SOLETANCHE BACHY - MAXIME FONTY, SOLETANCHE BACHY - LAURENT DABET, BOUYGUES

The project for the northward extension of line 14 to Saint-Ouen was launched in 2014, with a view to the desaturation of Line 13 and integration into the future 'Grand Paris' network. Public contracts for the project were awarded under contracting authority RATP and project manager Systra. The consortium formed by Bouygues Travaux Publics, Soletanche Bachy France, Bessac and Soletanche Bachy Tunnels is executing about 2200 m of tunnel from Clichy-Saint-Ouen Station, the civil works for Mairie-de-Saint-Ouen Station and three deep-shaft type structures allowing the TBM to enter and exit. The contract is worth about €165 million and the work duration is 60 months. The station and the shafts include diaphragm walls of optimised design and sizing. □

PROLONGACIÓN DE LA LÍNEA 14 HASTA SAINT-OUEN, LOTE T02 - CONTENCIÓN POR PANTALLAS DE HORMIGÓN - ANÁLISIS Y OPTIMIZACIONES

JERONI BOUDE, SOLETANCHE BACHY - MAXIME FONTY, SOLETANCHE BACHY - LAURENT DABET, BOUYGUES

El proyecto de prolongación hacia el norte de la línea 14 hasta Saint-Ouen se puso en marcha en 2014 con el objetivo de descongestionar la línea 13 e integrarla en la futura red del Gran París. Ha sido objeto de licitaciones públicas lanzadas por RATP, con Systra como contratista principal. El consorcio formado por Bouygues Travaux Publics, Soletanche Bachy France, Bessac y Soletanche Bachy Tunnels se encarga de la realización de unos 2.200 m de túnel desde la estación Clichy-Saint-Ouen, de la ingeniería civil de la estación Mairie-de-Saint-Ouen y de tres construcciones de tipo pozo profundo que permiten la entrada y la salida de la tuneladora. El contrato está valorado en unos 165 millones de euros y la duración de las obras es de 60 meses. La estación y los pozos disponen de pantallas de hormigón, optimizadas en términos de diseño y dimensionamiento. □



© GROUPEMENT THAUMASIA

LES STATIONS SOUTERRAINES DE LA LIGNE 2 DU TRAMWAY DE NICE

AUTEURS : SÉBASTIEN TRICAUD, INGÉNIEUR RESPONSABLE MARCHÉ TGCEL, MAÎTRISE D'ŒUVRE ESSIA - FRANCK WEYLAND, DIRECTEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - LUCAS MOUTON, INGÉNIEUR ÉQUIPEMENTS, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

LE PROJET DE LA CONSTRUCTION DE LA NOUVELLE LIGNE DE TRAMWAY S'ÉTEND SUR 11,3 KM SUIVANT L'AXE EST/OUEST QUI ACCUEILLE LA PLUS GRANDE PART DES DÉPLACEMENTS SUR LE TERRITOIRE DE LA VILLE. IL SUIT LA BANDE LITTORALE POUR RELIER PRINCIPALEMENT L'AÉROPORT INTERNATIONAL ET LE PORT DE NICE. IL COMPREND 20 STATIONS DONT 4 CONSTRUITES EN SOUTERRAIN À L'APLOMB DU TUNNEL DE 3 KM QUI TRAVERSE LE CENTRE-VILLE.

CONTEXTE GÉNÉRAL

Le maître d'ouvrage a retenu d'appliquer sur ce projet l'annexe 4 de la loi MOP qui permet d'effectuer une consultation anticipée sur la base des études préliminaires établies en 2011 par le maître d'œuvre.

Lors de la procédure d'appel d'offre négociée, les candidats ont réalisé les études AVP. Le marché a ensuite été notifié au printemps 2014.

À la différence d'un marché de conception-construction, l'annexe 4 de la loi MOP ne modifie les missions habituelles du maître d'œuvre qu'en phase étude.

Le marché attribué au groupement consiste en la réalisation de la section souterraine de la ligne de tramway Est-Ouest (figure 2) se composant :

- D'un tunnel de 3 km excavé au tunnelier (diamètre excavé 9,7 m / diamètre revêtu intérieur 8,5 m) ;
- D'un puits de départ du tunnelier (puits Ségurane) ;
- D'un puits de sortie du tunnelier (puits Grosso) ;
- De 4 stations souterraines (Garibaldi / Durandy / Jean-Médecin / Alsace-Lorraine).

Le Marché comporte :

- Les études de projet et d'exécution pour le génie civil et le second œuvre ;
- La réalisation des travaux de génie civil et de second œuvre ;
- Les études, la fourniture et l'installation de certains équipements liés :
 - Ventilation et climatisation des locaux techniques,

1- Station Alsace Lorraine - Vue aérienne.

1- Alsace-Lorraine Station - Aerial view.

- Ventilation sécuritaire des stations (désenfumage),
- Système de relevage des eaux,
- Ascenseurs et escaliers mécaniques,
- Protection incendie par colonnes sèches,
- Éclairage des zones techniques.

Les stations sont conçues suivant le même principe architectural décliné selon la situation de la station et son articulation avec la surface.

Une station présente 3 niveaux principaux (figure 3) aménagés sur le principe générique des stations à quais latéraux :

- Un niveau bas correspondant au plan de roulement du tramway constituant les deux quais ;
- Un niveau médian constitué d'une mezzanine/passerelle permettant de distribuer les usagers sur chaque quai ;
- Un niveau supérieur de billetterie et de locaux techniques permettant de regrouper les usagers dans leur transit entre la surface et le niveau mezzanine.

TRACÉ TRAMWAY LIGNE T2



© MNCA

2

L'accès dans les stations depuis la voirie se fait :

- Par l'intermédiaire d'édicules couverts pour les stations Durandy et Alsace-Lorraine situées dans des parcs ;
- Par un local intégré au rez-de-chaussée d'un futur immeuble pour la station Garibaldi (figure 4) ;
- Par des escaliers entourés de garde-corps verre pour la station Jean-Médecin située sous un boulevard.

2- Tracé tramway ligne T2.

3- Station Jean-Médecin - Coupe de la station.

2- Alignment of tramway line T2.

3- Jean-Médecin Station - Cross section of station.

GÉOLOGIE

La ville de Nice est implantée dans un golfe dont le soubassement est constitué par des terrains de l'ère Secondaire (marnes sombres et gypsifères du Trias et les calcaires du Jurassique). Ce substratum secondaire affleure ponctuellement dans la ville basse où est localisé le projet (Colline du Château). À la faveur de fluctuations importantes du niveau marin, ce substratum a été d'abord largement déblayé, puis recouvert par des sédiments plio-qua-

ternaires. Ces sédiments ont ensuite été eux-mêmes largement érodés, puis surmontés ou remplacés par les alluvions modernes.

Les formations alluvionnaires sont composées d'argiles sableuses à graveleuses et de sables limoneux de compacité faible à moyenne ($pl^*_{\text{moy}} = 0,2$ à $1,3$ MPa). Sur l'ensemble des stations, elles ont été décomposées finement selon des faciès géotechniques (figure 5) suite à la réalisation de 357 forages et 14 345 m forés sur tout le linéaire du projet lors des différentes phases d'étude. Une centaine de sondages sont situés au droit des stations. Ces alluvions reposent sur un substratum marnieux du Keuper, sauf aux extrémités du tunnel où le projet est en contact avec les calcaires du Jurassique. Le toit du substratum possède une morphologie irrégulière due principalement aux cycles de transgression / régression marine et à l'action érosive de la rivière du Paillon. Il en résulte une épaisseur variable d'alluvions pouvant atteindre 80 m au niveau de la station Alsace-Lorraine.

Les reconnaissances menées avaient donc également pour objectif d'apprécier la variabilité du toit de ce substratum tant à l'échelle du tunnel qu'à l'échelle des stations Jean-Médecin et Durandy qui sont ancrées dans celui-ci. La station Garibaldi, située au pied de la colline du Château (massif calcaire du Jurassique), s'inscrit dans un contexte géologique particulier de blocs et graves calcaires dans une matrice sablo-argileuse, présentant une bonne compacité ($pl^*_{\text{moy}} > 2$ à 5 MPa). ▷



© ATELIER SCHALL

3



4- Station Garibaldi - Édicule accès.

5- Synthèse profil géologique.

6- Place Garibaldi - Centrale de retraitement déblais.

4- Garibaldi Station - Entrance.

5- Synthetic geological profile.

6- Garibaldi Square - Debris processing plant.

Le niveau de la nappe alluviale s'établit entre 2 et 3 m de profondeur au droit des stations Alsace-Lorraine, Jean-Médecin et Durandy, et s'approfondit entre 5 et 8 m de profondeur au droit de la station Garibaldi.

Comme autre conséquence des divagations du Paillon au cours des temps géologiques, des chenaux graveleux au sein des couches argileuses ont été recoupés par les sondages de nombreux endroits et en particulier au droit des stations Durandy et Jean-Médecin. Des dispositifs de transparence hydraulique permettront de rétablir les écoulements dans les chenaux interceptés par les parois moulées.

**TRAVAUX SPÉCIAUX
COMPLEXITÉ TEMPORELLE
ET GÉOGRAPHIQUE**

Hormis le puits de départ du tunnelier réalisé à partir de septembre 2014, les 4 stations enterrées et le puits de sortie ont été lancés pratiquement en même temps durant l'année 2015.

La montée en puissance des moyens matériels et humains a donc été extrêmement rapide avec un pic d'activité en 2016 se traduisant par la mobilisation de 150 personnes, 1 atelier hydrofraise, 3 ateliers bennes hydrauliques type KS, 1 atelier benne lourde type M8, 1 atelier de jet grouting et 5 ateliers de forage et d'injection.

De plus, 10 centrales à béton BPE (Nice, Menton, Antibes et Cannes) ont été sollicitées simultanément pour suivre les cadences des parois moulées sur les stations avec 1 200 m³/j en pointe.

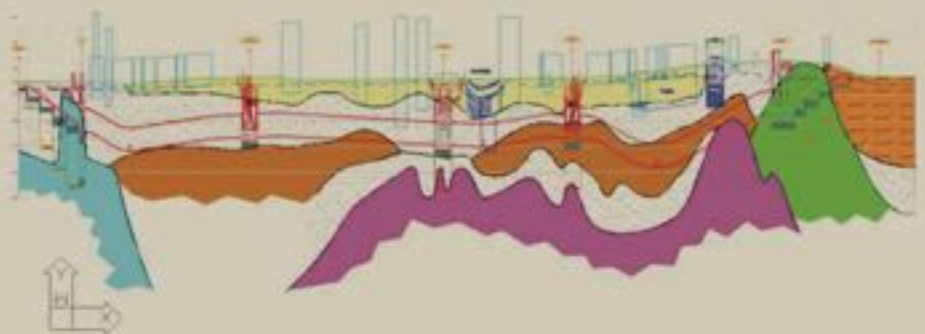
Sur toutes les stations les cages d'armatures sont acheminées en éléments préfabriqués au fil de l'eau, assemblées



4

© CABINET GOMIS

SYNTHÈSE PROFIL GÉOLOGIQUE



5

© GROUPEMENT THAUMASIA



6

© MNCA

et mises en œuvre par des grues de manutention de 160 t équipées de flèches supérieures à 60 m.

La multiplication des moyens au milieu d'un tissu urbain particulièrement dense a nécessité d'étaler les installations (base-vies, centrales, stockages) sur plusieurs kilomètres, entraînant des rétrécissements et fermetures d'axes de circulation, voire même d'occuper des sites historiques comme la place Garibaldi avec l'autorisation de l'Architecte des Bâtiments de France (figure 6) et l'intégration des palissades dans la ville (figure 7).

STATION GARIBALDI

La station Garibaldi est spécifique du fait de sa situation géographique, son planning de réalisation et les moyens mis en œuvre.

Sur le secteur Est du tracé, la station, située en contrebas de la colline du Château de Nice présente un terrain torturé comprenant des éboulis calcaires d'une extrême dureté.

En complément, cette station est positionnée sur un site archéologique avec la présence d'anciennes fortifications devant être traversées par les parois moulées.

Dans ce contexte, l'hydrofraise compacte (figure 8), est l'outil d'excavation le plus adapté, tant par son emprise limitée au sol que par sa faculté à assurer des cadences régulières pour une épaisseur de paroi de 1,50 m dans les matériaux les plus durs.

Première station qui sera traversée par le tunnelier, elle se retrouve aussi sur le chemin critique du projet. De cette criticité temporelle, il en découle une alternance d'injection et de phases de paroi moulée avec priorité sur les tympans.

La tranche supérieure de 6 m du terrain étant dévolue aux fouilles, les Services Archéologiques ont demandé le resserrement de tous les forages sur une largeur très réduite d'un mètre, entraînant la réalisation de forages auréolaires et azimutés (figure 9). Trois foreuses Hi-drill dont une équipée en longue course, type MRM (figure 10), ont été mobilisées pour cette 1^{re} phase de 16 km de forages à réaliser en 3 mois avant le passage du tunnelier.

STATIONS DURANDY, JEAN-MÉDECIN ET ALSACE-LORRAINE

Ces stations sont réalisées dans des terrains de faible compacité avec des bennes hydrauliques type KS et à proximité d'un bâti ancien sans fondation



7
© MNCA

7- Palissade stations : opération Street Art.

8- Hydrofraise compacte et benne N8.

7- Stations palissade: Street Art project.

8- Compact Hydrofraise and grab N8.

profonde dont il faudra minimiser les tassements.

Aussi, en premier lieu, les fouilles sont réalisées en taube avec coulage des dalles en descendant et à l'abri de parois moulées d'épaisseur 1,20 m et raidies par des contreforts jusqu'à 35 m de profondeur (figure 11). Cette technique éprouvée permet de réduire les déplacements de la paroi.

En second lieu et préalablement aux fouilles, une technique innovante permet de limiter les déplacements de la paroi sur les 10 m inférieurs (présence

8
© MNCA



du tunnel) sans butonnage et de pallier l'insuffisance de butée sur la fiche mécanique par la création depuis le TN d'un radier de sol provisoire d'épaisseur 4,50 m sous le fond de fouille.

Ce renforcement de sol est composé d'une part de barrettes bétonnées sur 4,50 m de hauteur et 1 m d'épaisseur, et transversales aux panneaux unitaires avec contrefort et, d'autre part, de colonnes jet grouting assurant le collage des barrettes avec la paroi moulée et le confortement des tympans (figure 12).

GÉNIE CIVIL ET SECOND ŒUVRE

Les quatre stations du tramway de Nice sont caractérisées par la création de trois espaces principaux : la zone technique (inaccessible au public), la mezzanine (plateau de distribution pour les circulations) et la zone des quais. L'accès aux stations se fait au moyen d'édicules couverts desservant la voirie publique.

Les dalles de séparation font environ 1,50 m de hauteur et représentent en moyenne 2000 m³ par dalle de béton armé. La dalle de couverture sera réalisée à l'air libre après le terrassement de plus de 3 m de profondeur. Les autres dalles seront réalisées avec une méthodologie nommée couramment « en taube ».

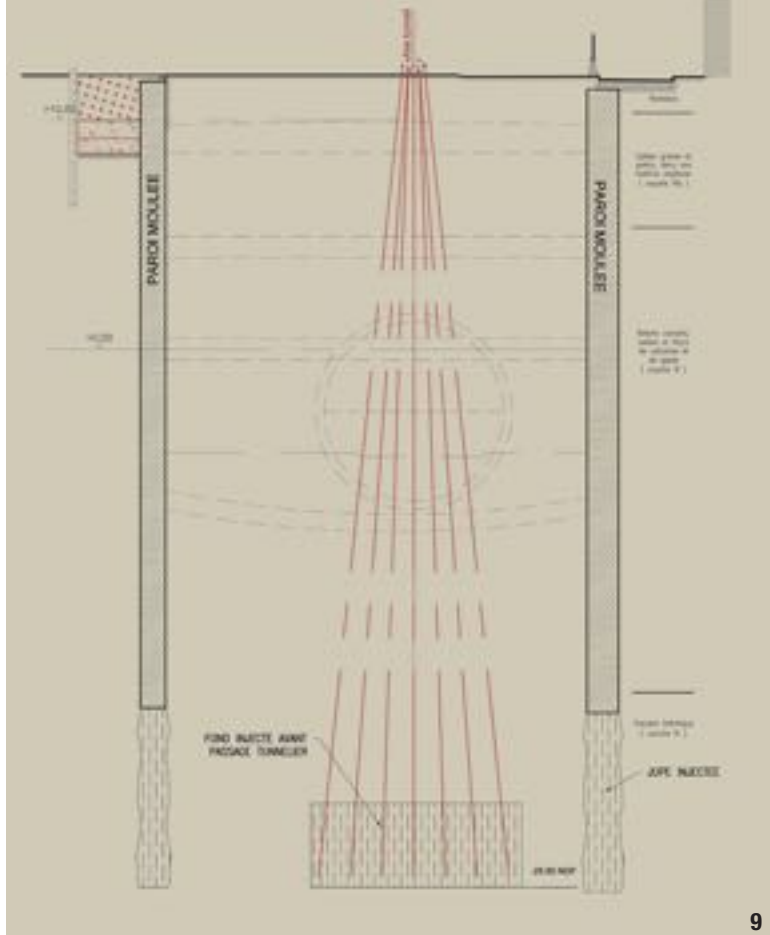
Cette méthodologie impose de terrasser sous dalles et de bétonner celles-ci de haut en bas (figure 13). Pour réaliser les bétonnages des dalles de couverture, nous avons prévu l'utilisation de pompes à béton depuis la surface à partir des remblais précédemment mis en place sur la dalle de couverture.

Le dernier ouvrage à réaliser est par conséquent le radier à environ 25 m de profondeur. Le radier d'épaisseur 1 m est en forme de voûte car soumis à la sous-pression en phase service. Une membrane PVC est positionnée sous le radier pour réaliser l'étanchéité de la station.

Dans la zone publiques au niveau des quais, des mezzanines et de tous les accès, des éléments architecturaux sont mis en place, notamment les parements en pierre et les faux plafonds cintrés (figure 14).

Les parements muraux sont caractérisés par de la pierre granitique sur toutes la hauteur visible par le public. Ils sont agrafés sur une structure solidement fixée aux parois moulées afin de pouvoir reprendre les efforts dus au séisme.

STATION GARIBALDI -
PHASE INJECTION SOUS TUNNEL



© GROUPEMENT THAUMASIA



© MNCA

9- Station Garibaldi - Phase injection sous tunnel.

10- Station Garibaldi - Foreuse longue course MRM.

11- Station Durandy - Contreforts paroi moulée.

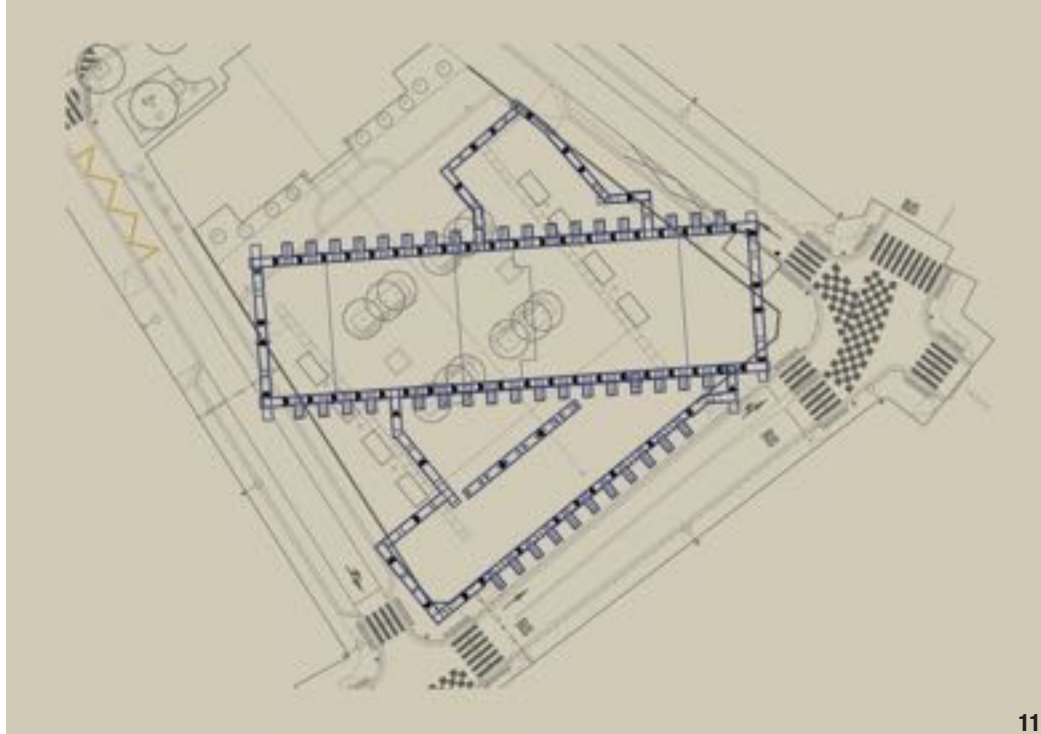
9- Garibaldi Station - Phase of injection under tunnel.

10- Garibaldi Station - MRM long-stroke drill.

11- Durandy Station - Diaphragm wall buttresses.

Une série de faux plafonds formant des îlots architecturaux indépendants et avec une fonction acoustique sont posés à 11 m de hauteur au-dessus des quais et auront une forme cintrée et constituée de panneaux perforés en plâtre.

STATION DURANDY - CONTREFORTS PAROI MOULÉE



11

© GROUPEMENT THAUMASIA

ÉQUIPEMENTS INTRODUCTION

La conception générale des ouvrages est élaborée en optimisant les aspects fonctionnels (accès, maintenance) et constructifs.

Il est à noter que le système de distribution et de gestion de l'énergie ainsi que nombre de lots "courants faibles" restent de la responsabilité

du maître d'œuvre et seront attribués lors de la passation de nouveaux marchés.

Néanmoins, le groupement, en tant que Concepteur-Constructeur, reste garant du respect des exigences réglementaires et contractuelles ainsi que de la démonstration et la validation des performances attendues sur les équipements prévus au marché.

Globalement, le périmètre des lots électromécaniques inclus au marché a permis, lors des études de synthèse, d'optimiser l'agencement des réseaux et fluides tout en maîtrisant l'aménagement des zones publiques et techniques des stations (figure 15).

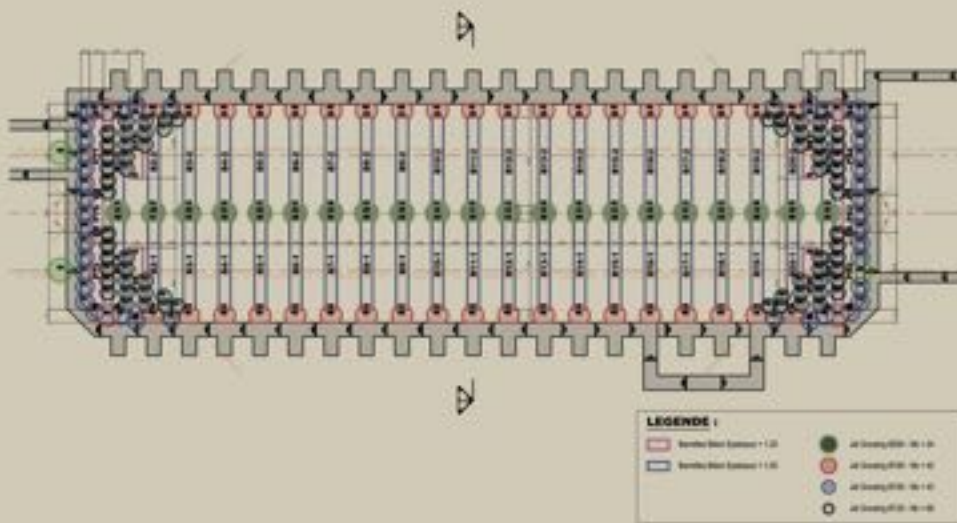
Les prestations à la charge du groupement ont été organisées en 6 lots d'équipements.

ASCENSEURS ET ESCALIERS MÉCANIQUES

Les équipements d'accès mécanisés facilitent la circulation verticale jusqu'aux quais en desservant les paliers accessibles aux usagers.

Un hyperviseur est déployé entre les différentes stations afin de permettre depuis le PCC la surveillance et le contrôle à distance des 12 ascenseurs ▷

STATION JEAN-MÉDECIN - BUTONNAGE FOND DE FUILLE



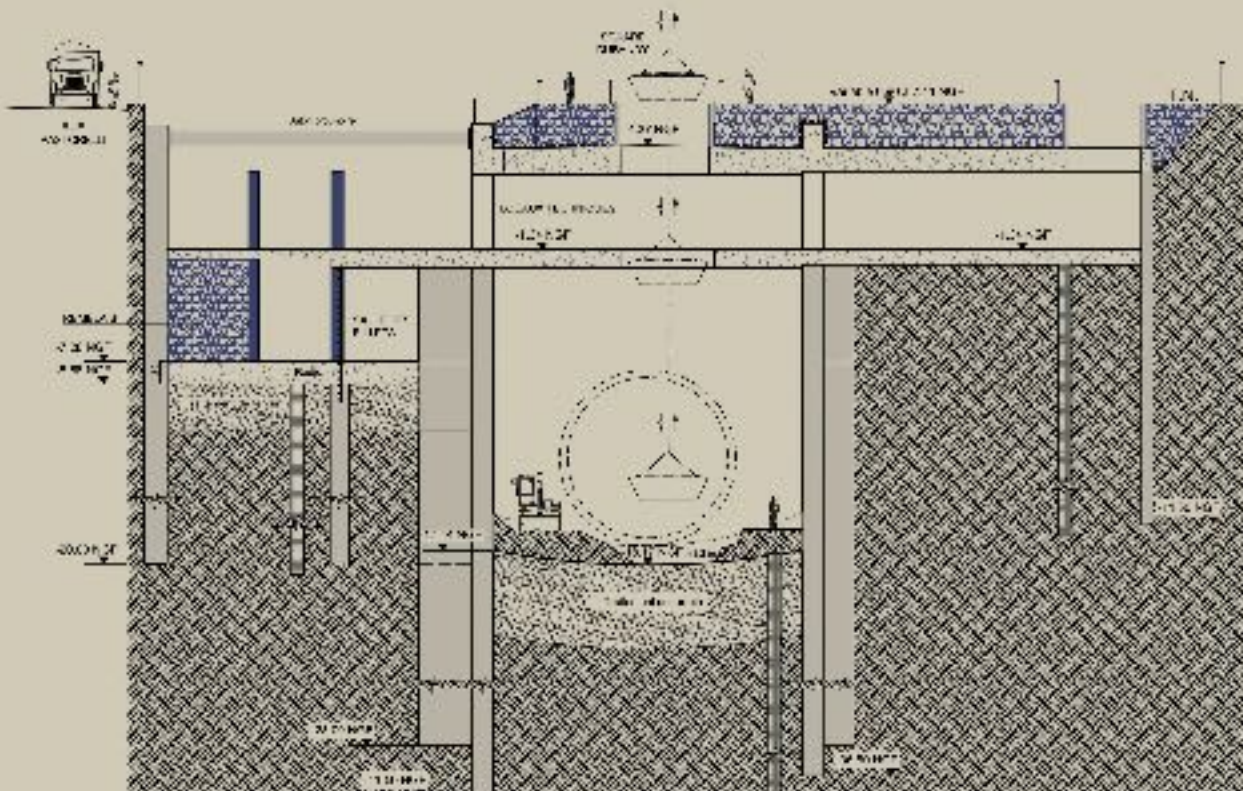
12- Station Jean-Médecin - Butonnage du fond de fouille.

13- Station Durandy - Terrassement de la station.

12- Jean-Médecin Station - Trench bottom shoring.

13- Durandy Station - Station earthworks.

STATION DURANDY - TERRASSEMENT DE LA STATION





et 29 escaliers mécaniques. Outre la vidéosurveillance déployée pour assister les opérateurs distants, un système de détection automatique des usagers permet le réarmement automatique des escaliers mécaniques en toute sécurité en cas d'arrêt intempestif.

**14- Station Durandy -
Vue intérieure avec
parement en pierre.**

**15- Station Durandy -
Synthèse réseaux et
équipements.**

**14- Durandy Station -
Interior view with
stone facing.**

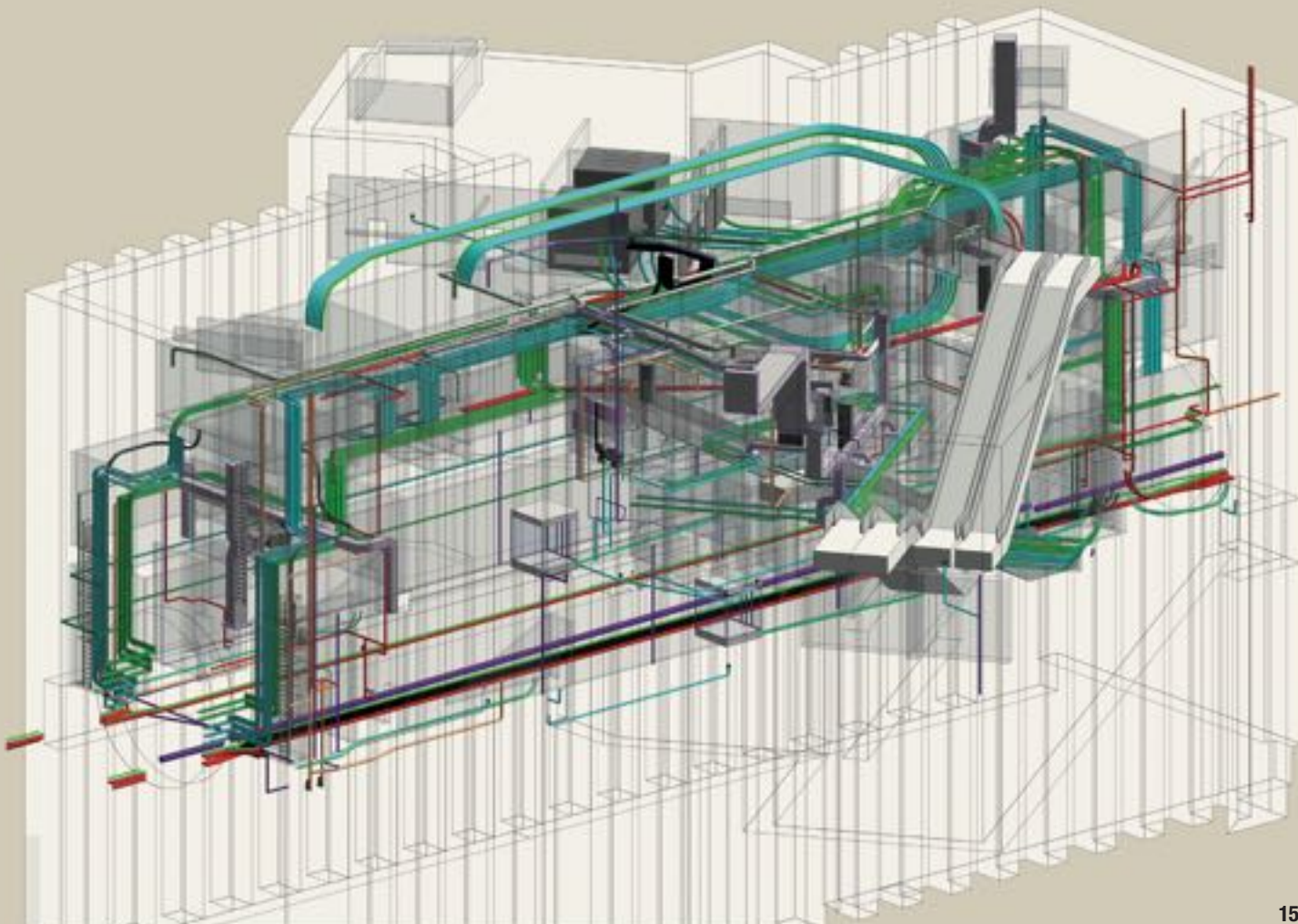
**15- Durandy Station -
Synthetic view of
networks and equip-
ment.**



14

© CABINET NIVAGGIONI

STATION DURANDY - SYNTHÈSE RÉSEAUX ET ÉQUIPEMENTS



15

© GROUPEMENT THAUMASIA

VENTILATION SÉCURITAIRE DES STATIONS

Les espaces publics sont protégés en cas d'incendie par des systèmes de désenfumage mécanique qui assurent des débits minimaux de renouvellement d'air de 15 volumes par heure dans la zone sinistrée.

Le volume quais/mezzanine est désenfumé à l'aide de 2 extracteurs redondants qui contribuent également au désenfumage du tunnel.

De même, 2 extracteurs assurent la protection de chaque salle de billetterie.

Tous ces ventilateurs sont réversibles et programmés de manière à garantir une surpression entre la zone saine et la zone sinistrée.

Au sein de ces volumes, des espaces d'attente sécurisés sont aménagés pour accueillir les personnes ne pouvant évacuer rapidement en cas d'incendie.

Des ventilateurs dédiés permettent de garantir une surpression au sein de ces locaux.

Afin de garantir la sécurité et la fiabilité de l'ensemble du système fonctionnel global, un système de contrôle commande désenfumage autonome est mis en œuvre.

ÉCLAIRAGE DES ZONES TECHNIQUES

Les prestations électriques englobent l'éclairage des locaux techniques et d'exploitation.

L'éclairage est calculé pour remplir les critères de niveaux d'éclairage, de durabilité et les obligations réglementaires.

Il couvre l'éclairage normal dit de confort ou ambiance et l'éclairage de sécurité dit de secours.

PROTECTION INCENDIE PAR COLONNES SÈCHES

Le groupement doit l'intégralité du réseau de colonnes sèches destiné à la lutte contre l'incendie. Chaque station est équipée de 2 colonnes sèches indépendantes alimentant chacune la station et une moitié de l'interstation adjacente.

SYSTÈME DE RELEVAGE DES EAUX COLLECTÉES EN STATION

Le groupement réalise le réseau d'assainissement et de collecte gravitaire de l'eau (pluviale et ruissellement) en station et des eaux usées jusqu'aux fosses de relevage.

La disponibilité de celles-ci est optimisée en intégrant 2 pompes et 2 colonnes de relevage par bache de pompage. Si elles fonctionnent de manière totalement autonome, les stations sont également configurées pour reporter à la GTC tout dysfonctionnement ou montée anormale des eaux.

VENTILATION ET CLIMATISATION DES LOCAUX TECHNIQUES

Le système a pour objectif de maintenir une température convenable dans l'ensemble des locaux techniques et d'exploitation afin d'assurer un fonctionnement satisfaisant des équipements. Selon les besoins, les locaux sont donc spécifiquement traités par ventilation de renouvellement d'air, climatisation et chauffage.

La technologie retenue pour la climatisation est un système par détente directe avec unités extérieures et intérieures à Débit de Réfrigérant Variable permettant d'ajuster finement la puissance de l'ensemble aux besoins thermiques réels. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

GÉNIE CIVIL ET FONDATIONS SPÉCIALES

BÉTON PAROIS MOULÉES : 55 200 m³

BÉTON DALLES DE STATION : 23 800 m³

ACIERS : 10 300 t

DÉBLAIS : 520 000 t

PERFORATION POUR INJECTION : 55 000 ml

PERFORATION POUR JET GROUTING : 17 000 ml

CIMENT POUR INJECTIONS ET JET GROUTING : 14 000 t

ÉQUIPEMENTS STATION

ASCENSEURS : 12 U

ESCALIERS MÉCANIQUES : 29 U

VENTILATION : 8 extracteurs axiaux 140 m³/s + 75 registres

CLIMATISATION : 5 groupes froid + 85 unités intérieures

ÉCLAIRAGE : 1 000 luminaires

RELEVAGE EP ET EV : 20 pompes + 1 km de conduites

COLONNES SÈCHES : 550 m

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :

Métropole Nice Côte d'Azur (MNCA) - Direction du Tramway et de la Mobilité Durable

MAÎTRE D'ŒUVRE :

Groupement Egis Rail / Stoa / Atelier Schall / Ingerop / Atelier Villes & Paysages (Essia)

GROUPEMENT D'ENTREPRISES THAUMASIA (COMPOSÉ DE 7 COTRAITANTS) :

- Bouygues Travaux Publics (mandataire)
- Bouygues Travaux Publics Régions France
- Solétanche Bachy France
- Solétanche Bachy Tunnels
- CSM Bessac
- Colas Midi Méditerranée
- Snaf

ABSTRACT

UNDERGROUND STATIONS FOR LINE 2 OF THE NICE TRAMWAY

S. TRICAUD, ESSIA - F. WEYLAND, SOLÉTANCHE BACHY FRANCE - L. MOUTON, BOUYGUES

The contract awarded to the consortium for the Nice tramway project concerns the underground part in the city centre and comprises the construction of a 3-km tunnel and four stations. In a special geological context, work on the four stations was started at the same time and therefore required major equipment resources for the foundation works (diaphragm walls, jet grouting, grout injection). The various levels (cover slab, plant-room slab, mezzanine and, finally, the foundation raft at the platform level) are executed by the top-down technique. The consortium is also responsible for part of the finishing work sections and equipment (lifts and escalators, smoke control, ventilation, lighting, fire protection, water lifting station). □

LAS ESTACIONES SUBTERRÁNEAS DE LA LÍNEA 2 DEL TRANVÍA DE NIZA

S. TRICAUD, ESSIA - F. WEYLAND, SOLÉTANCHE BACHY FRANCE - L. MOUTON, BOUYGUES

El contrato concedido al consorcio en el marco del proyecto del tranvía de Niza se refiere a la parte subterránea situada en el centro de la ciudad y consta de la realización de un túnel de 3 km y 4 estaciones. En un contexto geológico particular, la construcción de las 4 estaciones se ha iniciado simultáneamente, lo cual ha exigido importantes medios materiales para las obras de cimentación (pantallas de hormigón, jet grouting, inyecciones). Los diferentes niveles (losa de cobertura, losa de los locales técnicos, entresuelo y losa de cimentación a nivel de los muelles) se están realizando en sentido descendente. Asimismo, el consorcio se encarga de una parte de los lotes de obra menor, así como de los equipamientos (ascensores y escaleras mecánicas, extracción de humos, ventilación, alumbrado, protección contra incendios, extracción de aguas). □



© WILKINSON EYRE ARCHITECTS

CONCEPTION DU PONT SAINT-LAZARE

AUTEUR : RÉGIS BOUTES, INGÉNIEUR SENIOR, ARCADIS

SITUÉ SUR LE FAISCEAU FERROVIAIRE LE PLUS FRÉQUENTÉ DE PARIS, LE NOUVEAU PONT SAINT-LAZARE REPRÉSENTAIT UN DÉFI RELEVÉ PAR LE GROUPEMENT WILKINSON EYRE ARCHITECTS - ARCADIS - LIGHT CIBLES. LA CONCEPTION TECHNIQUE DE L'OUVRAGE A PERMIS DE CONCILIER UNE IMAGE ARCHITECTURALE FORTE ET DE NOMBREUSES CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT URBAIN ET FERROVIAIRE.

CONTEXTE

Dans le cadre de l'opération d'aménagement de la ZAC Clichy-Batignolles, plusieurs franchissements du faisceau Saint-Lazare sont prévus pour relier la ZAC au lotissement Saussure.

Parmi ces franchissements, un pont situé au-dessus des quais de la gare Pont-Cardinet a pour objectif de créer un lien piéton, cycliste et routier entre ces deux nouveaux quartiers (figure 2). Le programme de la Ville de Paris demandait un pont de 125 m de long avec une largeur utile de 14 m permettant le passage de bus articulés, le passage de réseaux et la possibilité de créer ultérieurement une connexion avec les quais de la gare.

Le marché de maîtrise d'œuvre du pont a fait l'objet d'un concours restreint entre fin août et fin novembre 2012.

Le groupement Wilkinson Eyre Architects - Arcadis - Light Cibles a été annoncé vainqueur au printemps 2013 avec une notification du marché en août 2013.

La phase conception s'est déroulée jusqu'en mars 2015 pour une notification du marché de travaux en juin 2015 au groupement Nge GC - Baudin-Chateaneuf - G.T.S. avec une fin du délai contractuel en août 2017.

PLAN DE REPÉRAGE



2

© PARIS BATIGNOLLES AMÉNAGEMENT

CONTRAINTES

L'environnement de l'ouvrage a pour conséquence d'imposer de nombreuses contraintes pour la conception de l'ouvrage dans sa disposition finale mais aussi pendant les phases de construction. L'ensemble des contraintes est représenté de façon schématique sur la figure 3.

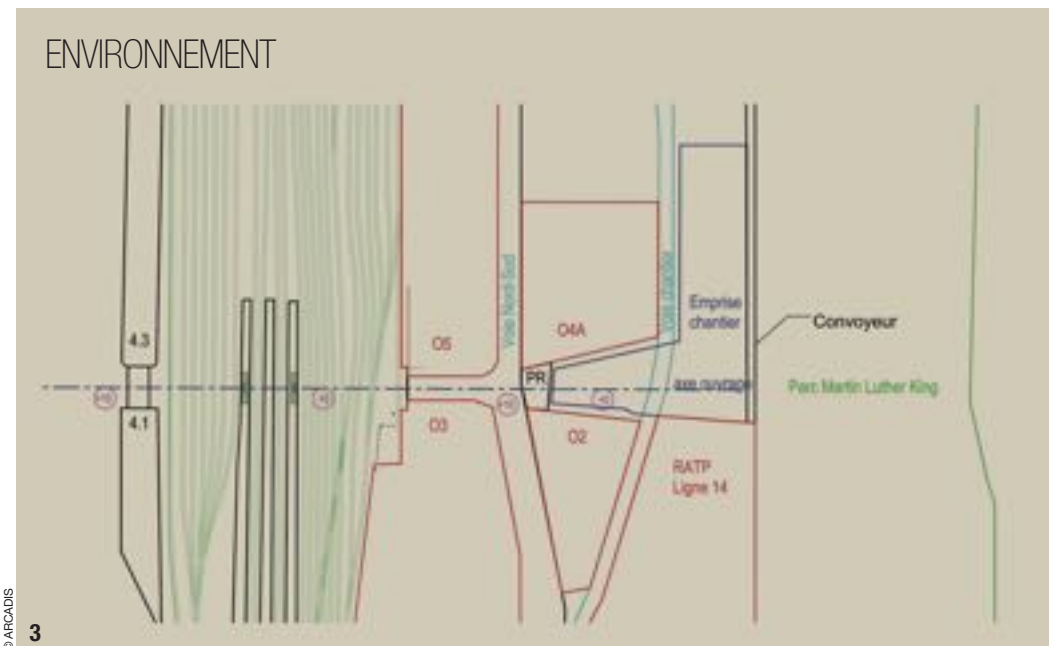
- 1- Vue du pont pour le concours.
- 2- Plan de repérage.

- 1- View of the bridge for the design contest.
- 2- Location drawing.

CONTRAINTES FERROVIAIRES

La gare Pont-Cardinet est située à 1,5 km au nord de la gare Saint-Lazare sur le faisceau le plus emprunté de la capitale. Large de 125 m au niveau du futur franchissement et encaissé en moyenne de 10 m par rapport au niveau de la voirie, il est composé de voies de maintenance et de voies circulées.

ENVIRONNEMENT



© ARCADIS
3

Les principales contraintes amenées par le franchissement du faisceau ferré sont :

- De limiter au maximum les interruptions de trafic ferroviaire, ce qui limite fortement les méthodes de mise en place envisageables ;
- De limiter les emplacements possibles des appuis intermédiaires aux trois quais existants ;
- De respecter le gabarit ferroviaire, de 8,5 m dans la partie la plus défavorable ;
- La nécessité de prévoir des écrans de protection caténaires et anti-vandalisme de 2,50 m de hauteur sur les rives de l'ouvrage, composés d'une partie pleine de 1 m de hauteur en partie basse et d'une partie supérieure constituée d'une maille serrée.

3- Environnement.
4- Réservations côté Batignolles.

3- Environment.
4- Wall pockets on Batignolles side.

CONTRAINTES LIÉES AUX STRUCTURES EXISTANTES

Côté Saussure, la voirie est retenue par deux murs de soutènement en sol renforcé successifs dont un en limite d'emprise, sur l'emplacement de la future culée du pont. La réalisation de

celle-ci a donc nécessité le démontage du premier mur. Cette zone est par ailleurs limitée en largeur à environ 20 m par la présence de deux bâtiments neufs (appelés 4.3 et 4.1).

Côté ZAC Batignolles, une structure en béton armé, appelée dalle Batignolles, couvre des voies de garage de la SNCF, à environ +10 m par rapport aux voies et à l'emprise chantier disponible à l'arrière de cette structure.

Deux emplacements sont réservés en tête du voile côté faisceau pour les bossages d'appuis du pont (figure 4). Un poste de redressement (PR) sur lequel il n'est pas possible d'appliquer de charges se situe à l'arrière de la dalle Batignolles.

Enfin, le parc Martin Luther King constitue la limite arrière de l'emprise chantier.

CONTRAINTES LIÉES AUX STRUCTURES EN COURS DE CONSTRUCTION

Côté Batignolles, deux bâtiments (03 et 05) sont en cours de construction en même temps que les travaux du pont, libérant ici aussi une largeur d'environ 20 m pour le passage de l'ouvrage. Une voie de circulation (voie Nord-Sud) permet l'approvisionnement des chantiers de la zone à l'arrière de ces bâtiments.

En contrebas de la dalle Batignolles, une autre voie de chantier doit rester en permanence ouverte.

Le long de la limite du parc Martin Luther King est situé un convoyeur à bandes permettant l'évacuation des déblais du tunnelier de la ligne 14.

CONTRAINTES LIÉES AUX RÉSEAUX

Le pont doit permettre le passage de nombreux réseaux, en particulier le réseau de chauffage urbain constitué de deux gaines Ø 350 et le réseau de collecte pneumatique constitué d'une gaine Ø 500.

SOLUTION DU CONCOURS

La solution présentée au concours par le groupement était un ouvrage entièrement métallique s'appuyant sur deux des quais de la gare, conduisant à une répartition des travées de 43 m - 24 m - 54 m.

L'ouvrage présentait une largeur totale variable de 16,4 m sur les culées à 17,5 m au droit des piles. Le respect des niveaux de voirie et du gabarit ferroviaire conduisait à retenir un profil en long variable (figure 5).

Le tablier était constitué de deux caissons métalliques de hauteur variable incluant les supports latéraux des écrans de protection.

La hauteur sous chaussée était égale à 1,3 m. Des entretoises espacées de 3 m relient les caissons principaux. Une dalle orthotrope supportait la chaussée.

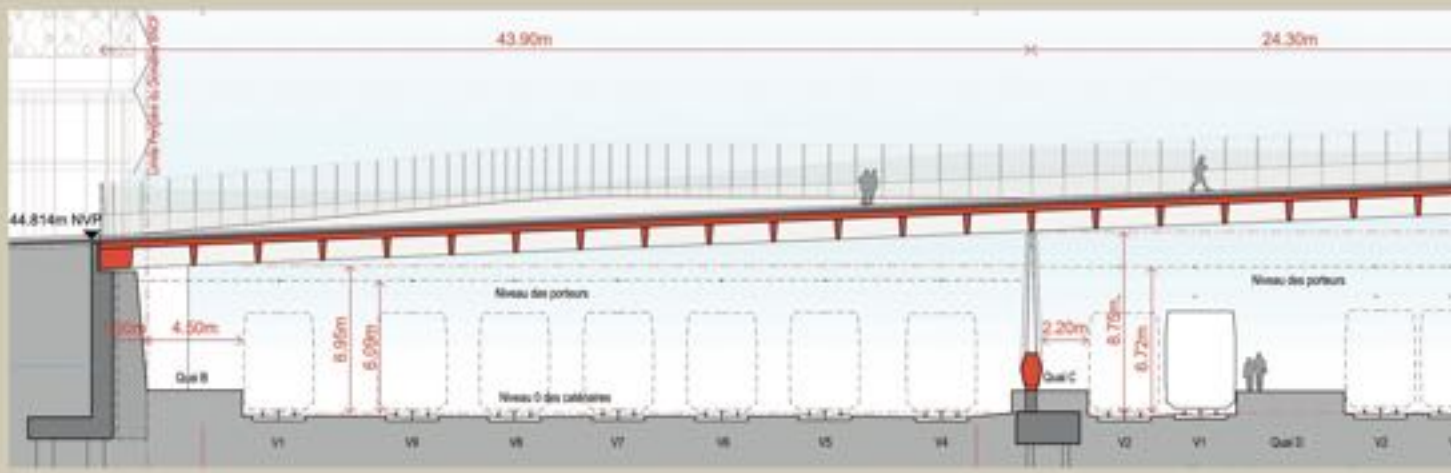
Des écrans verticaux variables en hauteur et en inclinaison équipaient les rives du tablier.

Les piles métalliques étaient constituées de caissons métalliques d'inertie variable formant un V. Le tablier était prévu encasté en tête de ces piles afin d'éviter les problèmes de maintenance d'appareils d'appui au milieu des voies ferroviaires. Les piles étaient fondées sur micropieux, avec une largeur limitée par les contraintes de maintien de circulation sur les quais pendant les phases travaux (figure 6).



© ARCADIS
4

COUPE LONGITUDINALE CONOURS



5

© WILKINSON EYRE ARCHITECTS

Une mise en lumière du pont était réalisée par la mise en œuvre des dispositifs d'éclairage intégrés dans les protections verticales. L'ensemble du dispositif d'éclairage du pont était compatible avec les besoins de l'exploitation ferroviaire.

Le tablier était assemblé au sol perpendiculairement à l'axe de l'ouvrage, levé à l'aide de chariots automoteurs dans l'alignement définitif puis lancé au-dessus de la dalle Batignolles et du faisceau ferroviaire.

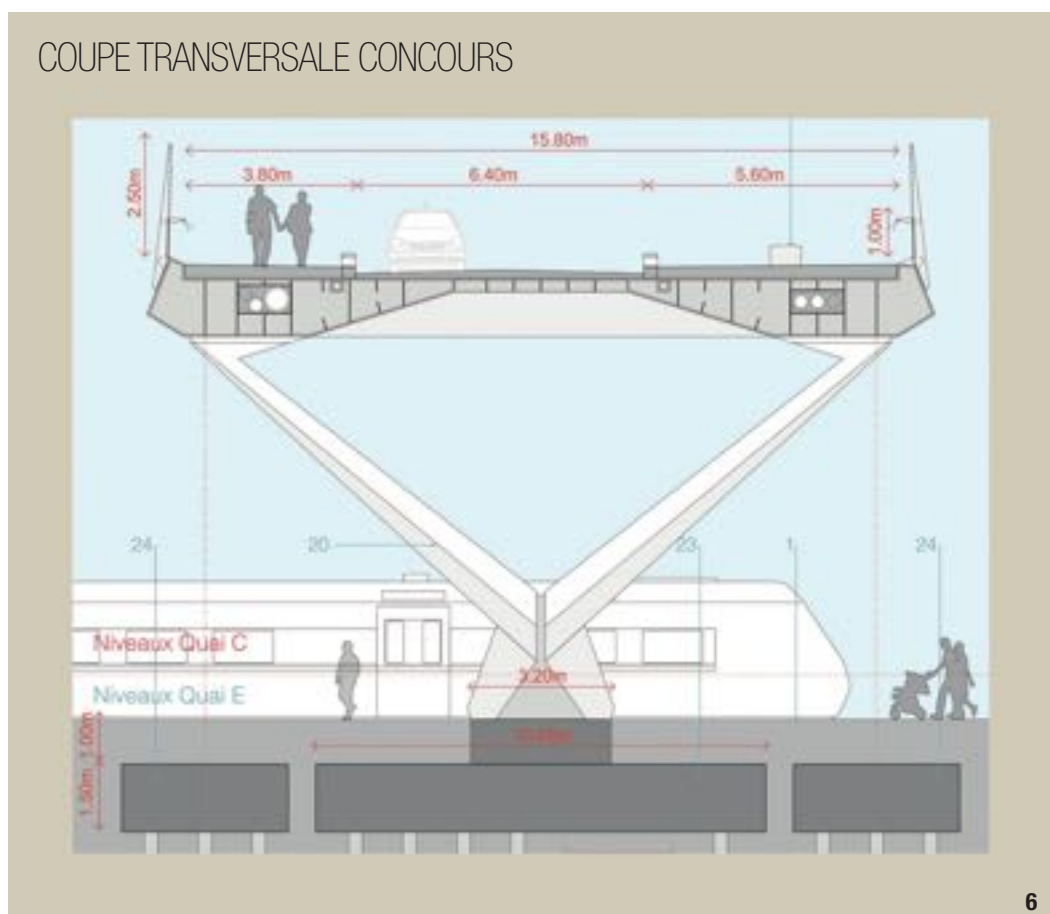
ÉVOLUTION DE LA CONCEPTION

Les différentes phases de la conception ont vu évoluer certaines parties de l'ouvrage, l'objectif principal restant de conserver le parti architectural initial. Ainsi, les principes généraux tels que la répartition des travées, les variations du tablier ou la forme des piles sont restées conformes à la solution présentée au concours.

COUPE TRANSVERSALE

Les premières analyses de la section transversale ont montré que le fonctionnement global des différents éléments des caissons et de la dalle orthotrope était difficile à appréhender, en particulier à cause des hauteurs variables des supports d'écran et de la prise en compte des sections de classe 4 de l'Eurocode 3.

La structure du tablier a donc été simplifiée en retenant deux caissons rectangulaires sous les trottoirs pour reprendre la flexion générale. Les caissons latéraux ne participent plus à la résistance d'ensemble et maintiennent les écrans en flexion locale. Ces caissons ont cependant dû être raidis lors



6

© WILKINSON EYRE ARCHITECTS

des études d'exécution pour empêcher leur voilement, notamment au cours des phases de lancement.

La dalle support de la chaussée, proche du centre de gravité des caissons latéraux, a, elle aussi, été négligée pour la résistance en flexion longitudinale du tablier. Elle reprend par contre les charges routières pour les transmettre aux entretoises puis aux caissons latéraux. Pour des raisons de coût, il a

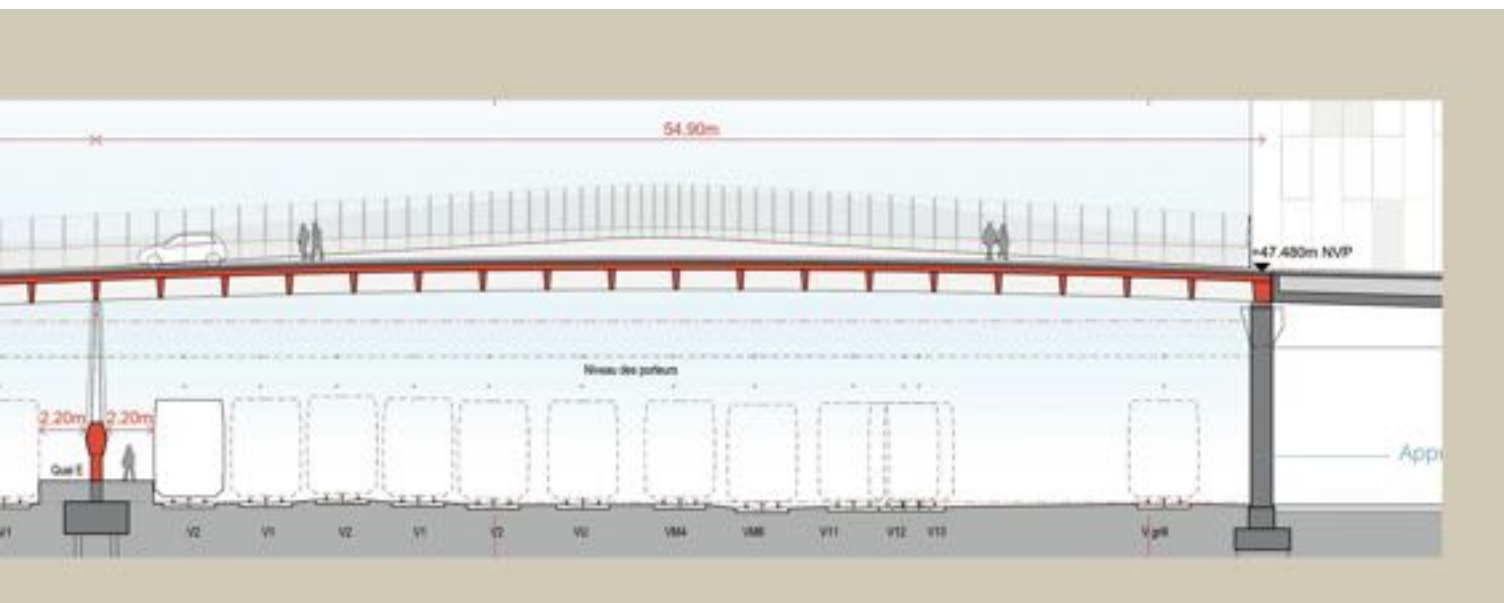
5- Coupe longitudinale concours.
6- Coupe transversale concours.

5- Design-contest longitudinal section.
6- Design-contest cross section.

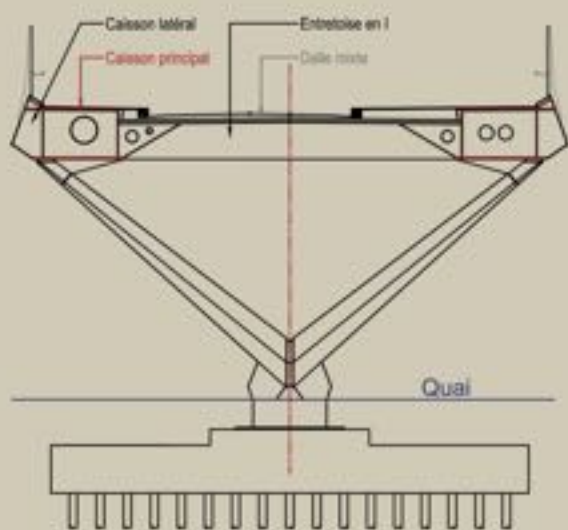
d'abord été envisagé de remplacer la dalle orthotrope par une dalle en béton armé, ce qui posait des problèmes de poids et de coulage du béton au-dessus des voies.

Finalement, une dalle mixte a été retenue, ce qui permet de résoudre ces deux points.

La section finale est présentée sur la figure 7. La figure 8 montre le caisson lors de sa réalisation en atelier.



COUPE TRANSVERSALE PROJET



7

LIAISON PILE TABLIER

La volonté architecturale était d'avoir des piles les plus fines possible à la liaison avec le tablier. Il s'est avéré que, sous l'effet des déformations imposées, essentiellement dues à la température, il n'était pas possible de trouver une section permettant de reprendre les efforts induits. En effet, le renforcement de la section réduite conduisait

à augmenter la raideur de la section et par conséquent les efforts à reprendre, ce qui imposait à nouveau de renforcer la section.

La première solution envisagée a été de mettre en place des appareils d'appui en tête des branches des piles. Cette approche remettait cependant en question l'idée initiale de ne pas avoir d'appareils d'appui à inspecter et maintenir sur les quais. Par ailleurs, compte tenu de l'inclinaison des branches et de la nécessité de placer les appuis horizontalement, il aurait été nécessaire d'ajouter un tirant en tête de la pile, ce qui ne correspondait pas à l'approche architecturale.

La solution retenue est de mettre en place un appareil d'appui à balancier à appui ponctuel au sens de la norme NF EN 1337-6, plus communément appelé « appui à grain ». Ce type d'appui est constitué d'une surface sphérique convexe roulant sur une surface sphérique concave de rayon plus important. Ces appareils d'appuis sont placés selon l'axe des branches de la pile, ce qui permet d'utiliser l'entretroise sur appui comme tirant, comme dans la solution encadrée.

Ces appareils d'appui ne demandent pas de maintenance particulière.

7- Coupe transversale projet.
8- Caisson en atelier.

7- Project cross section.
8- Box section in workshop.



8

FONDATION DES PILES

Les piles sont situées au droit des quais de la gare. Compte tenu de la nature des sols présents sur le site, des fondations profondes ont été envisagées dès le début de la conception. Le maintien de la circulation sur les quais, imposant une semelle de largeur réduite et donc un espace de travail très limité, ont conduit naturellement à des micro-

Initialement, au stade du concours, les fondations de la pile définitive et des palées provisoires au droit des caissons étaient séparées. Les calculs menés au cours des phases ultérieures ont eu pour conséquence de mettre en place une semelle unique, donnant une image surprenante de cette fondation.

AMÉNAGEMENT DE LA CULÉE BATIGNOLLES

Comme indiqué précédemment, des réservations pour les bossages d'appuis étaient ménagées dans la dalle Batignolles. Ils présentaient cependant deux soucis majeurs. D'une part, ils n'étaient pas centrés par rapport à l'axe de l'ouvrage projeté et, d'autre part, ils ne permettaient que la mise en place de poutres principales, sans la hauteur disponible pour l'entretoise d'about. Il a donc été nécessaire de réaménager la dalle Batignolles en déplaçant une des réservations et en abaissant le niveau général de la dalle dont la couverture est constituée de poutres de grande hauteur et de dalles à des niveaux variables (figure 10). Un portique de protection de la voie SNCF la plus proche a été mis en place pour effectuer les travaux de démolition.

MISE EN PLACE DES STRUCTURES MÉTALLIQUES PILES

Chaque pile représentait un poids d'environ 30 t et a été découpée en 3 éléments (embase plus deux branches) d'une dizaine de tonnes chacun.

La difficulté principale était l'acheminement de ces éléments sur les quais ainsi que leur mise en place proprement dite.

Un approvisionnement par rail a été envisagé mais le poids des éléments n'était pas compatible avec une grue sur rails. L'amenée d'une grue de capacité suffisante sur les quais posait elle aussi de nombreux problèmes.

La solution retenue pour le projet a donc été de mettre en place une grue de très forte capacité (700 t) côté Sausure, permettant d'amener les éléments de 10 t à 80 m, distance séparant la position de la grue du quai le plus éloigné (figure 12). Des palées provisoires, servant à maintenir les piles avant leur assemblage et à soutenir le tablier pendant les phases de lancement, sont amenées de la même façon.

Ces opérations sont faites sous interruption des circulations ferroviaires pour les voies surveillées.

Cette solution a effectivement été mise en œuvre sur chantier.



9 © ARCADIS

TABLIER

La solution d'une mise en place par lancement s'est imposée dès le concours afin de limiter les interruptions de circulation ferroviaire.

La première contrainte rencontrée concerne l'emprise chantier.

En effet, celle-ci est environ 10 m plus bas que le niveau de la dalle Batignolles

9- Réalisation des micropieux.

10- Travaux culée Batignolles.

9- Execution of micropiles.

10- Work on Batignolles abutment.

et du niveau définitif de l'ouvrage. La solution de d'assemblage au sol et de levage puis déplacement par chariots automoteurs prévue au concours a dû être abandonnée. L'ajout du poste de redressement et du convoyeur à bandes entre la phase concours et les études de projet conduisaient à prévoir de nombreuses manœuvres très serrées.

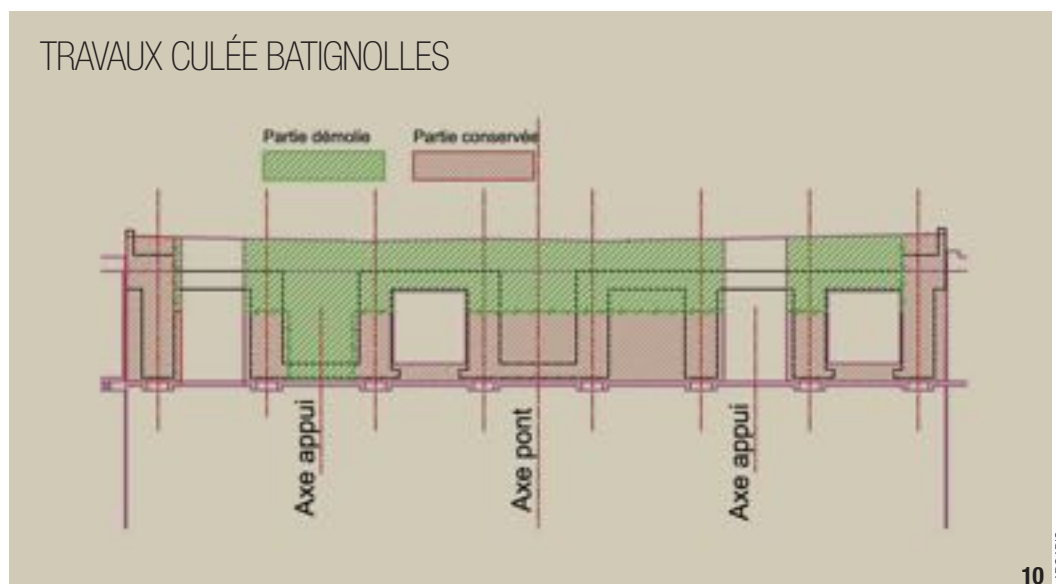
La solution retenue a donc été de prévoir une plateforme de montage au même niveau que la dalle Batignolles et dans l'alignement de l'ouvrage en situation finale.

De plus, la longueur de l'emprise chantier était limitée par le poste de redressement d'un côté et le parc Martin Luther King de l'autre.

Le montage de la charpente a donc dû se faire en deux phases, avec un lancement intermédiaire entre ces deux phases.

Trois appuis de lancement étaient placés sur la dalle Batignolles, au plus proche des voiles supports afin de ne pas avoir à renforcer la dalle sous l'effet des charges importantes sur ces appuis lors de certaines phases (environ 400 t). Au cours du chantier, seuls deux appuis ont été mis en place sur la dalle, avec l'ajout d'un étai sous la dalle Batignolles au droit d'un des appuis de lancement.

Ces réactions d'appuis importantes sont notamment liées au profil en long non uniforme du tablier qui provoque des décollements d'appui pendant certaines phases, conduisant parfois à n'avoir plus que deux appuis actifs. Il est important de noter que lors du lancement au-dessus de la dalle Batignolles, les deux chantiers de bâtiments



10 © ARCADIS



11

© ARCADIS

avoisinants ont dû être interrompus afin de disposer d'un espace suffisant pour le tablier avec une marge d'environ 2 m entre celui-ci et les emprises des bâtiments.

Le passage au-dessus du faisceau ferroviaire était prévu le week-end du

11- Lancement.
12- Mise en place des piles.

11- Launching.
12- Placing the piers.

13 août 2016, date retenue trois ans auparavant auprès de la SNCF.

Il nécessitait la coupure progressive des circulations ferroviaires au fur et à mesure de l'avancée du tablier, jusqu'à la fermeture de l'ensemble du faisceau pour le franchissement de la dernière travée.

Le tablier a bien été mis en place lors de ce week-end.

La figure 11 (déformée) permet de se rendre compte des contraintes rencontrées lors du lancement.

Une fois le lancement terminé, le tablier se trouvait à environ 2 m au-dessus de sa position définitive.

La réglementation ferroviaire impose pour ces phases aussi l'interruption des

circulations ferroviaires sur la totalité du faisceau.

Ces opérations étaient prévues sur 3 semaines en utilisant des coupures de nuit et de week-end.

CONCLUSION

Malgré un environnement très contraint, les principales phases de réalisation de la structure de l'ouvrage ont pu être réalisées conformément aux principes définis lors de la conception sans rencontrer d'incident notable.

Il est important de garder en mémoire que cela n'a pu être fait que dans le cadre d'un dialogue permanent entre les différents intervenants autour du projet. □



12

© VILLE DE PARIS

PRINCIPALES QUANTITÉS (PROJET)

BÉTON DE STRUCTURE : 900 m³

ARMATURES POUR BÉTON ARMÉ : 117 t

MICROPIEUX POUR STRUCTURE DÉFINITIVE : 3 000 m

CHARPENTE MÉTALLIQUE : 1 120 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Ville de Paris

MAÎTRE D'ŒUVRE GÉNÉRAL : Wilkinson Eyre Architects - Arcadis - Light Cibles

MAÎTRE D'ŒUVRE DALLE BATIGNOLLES : Concrete

INGÉNIERIE DES SOLS : Technosol

GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Nge GC - Baudin-Chateauneuf - G.T.S.

BUREAU DE CONTRÔLE : Socotec

COORDONNATEUR SPS : Becs

CONTRÔLE EXTÉRIEUR : loa

ABSTRACT

DESIGN OF SAINT-LAZARE BRIDGE

RÉGIS BOUTES, ARCADIS

The design of Saint-Lazare Bridge meets numerous constraints: *crossing of the busiest railway sidings in the city, an environment constrained by buildings already existing or in construction, and compliance with the architectural image presented in the design contest. The solution adopted is a structure 125 m long and with a maximum width of 17.5 m. The deck is formed of steel box sections bearing a composite slab. The V-shaped piers are also in steel and are supported on foundations consisting of several rows of micropiles. From the outset the design factored in the requirements entailed by railway operations, in particular for definition of the construction phases.* □

DISEÑO DEL PUENTE SAINT-LAZARE

RÉGIS BOUTES, ARCADIS

El diseño del puente Saint-Lazare plantea numerosos desafíos: *el cruce de la red ferroviaria más concurrida de la ciudad, un entorno limitado por edificios construidos o en fase de ejecución y el respeto de la imagen arquitectónica presentada a concurso. La solución elegida es una construcción de 125 m de longitud por una anchura máxima de 17,5 m. El tablero está formado por cajones de acero que soportan una losa mixta. Los pilares en forma de V también son de acero y están soportados por varias filas de micropilotes. El diseño ha integrado desde el principio las exigencias relativas a la operativa ferroviaria, en particular en la definición de las fases de construcción.* □



1

© HUGO HÉBRARD

LES STATIONS SOUTERRAINES DU TRAMWAY T6 À VIROFLAY

AUTEUR : DANIEL LOURD, DIRECTEUR DE PROJET, EGIS

LES STATIONS SOUTERRAINES DE VIROFLAY ACCUEILLENT UN TRAMWAY SUR PNEUS. EN ASSURANT TOUTES LES FONCTIONS NÉCESSAIRES À UNE STATION SOUTERRAINE, SEMBLABLES À CELLES D'UN MÉTRO, ELLES PRÉSENTENT UNE ARCHITECTURE AMBITIEUSE, COMBINANT DES PAROIS MOULÉES APPARENTES, DES ARCHES COMPLEXES EN BÉTON CLAIR, ET DES PLANCHERS MÉTALLIQUES SUSPENDUS. LES FINITIONS DES ESPACES PUBLICS PRÉSENTENT AUSSI DES PLANCHERS ET FAUX-PLAFONDS EN BOIS, DES GARDES-CORPS EN VERRE PINCÉ ET DES GAINES D'ASCENSEURS VITRÉES.

INTRODUCTION

La sixième ligne de tramway du réseau RATP relie Châtillon (Hauts-de-Seine) à Viroflay (Yvelines). Longue de 14 km, cette ligne nouvelle de tramway sur pneus à guidage central s'enterre sur 1 800 m pour passer sous le bâti

dense et majoritairement pavillonnaire de Viroflay.

Elle possède deux stations souterraines profondes d'une longueur de 44 m, au contact des deux gares de RER Viroflay-Rive-Gauche et Viroflay-Rive-Droite. Leurs accès ont été implantés en pre-

1- Viroflay-Rive-Gauche, vue depuis un quai.

1- Viroflay-Rive-Gauche, view from a platform.

nant en considération l'exiguïté du site et la nécessité de créer un lien direct avec les gares ferroviaires existantes pour faciliter les correspondances.

À l'intérieur des stations, le groupement de maîtrise d'œuvre Egis Rail/Pierre Schall a opté pour la transparence

2- Image de l'offre de groupement Egis Rail/Pierre Schall remise lors du concours.

3- Paroi moulée Viroflay-Rive-Gauche.

4- Paroi moulée station Viroflay-Rive-Droite.

5- Ferrailage du pied d'un poteau de voile de contreventement.



© CG YVELINES - ARTEFACTO

2- Picture of the offer of the Egis Rail/Pierre Schall consortium submitted for the design contest.

3- Viroflay-Rive-Gauche diaphragm wall.

4- Viroflay-Rive-Droite Station diaphragm wall.

5- Reinforcing bars for the base of a shear-wall column.

en concevant des stations de type « cathédrale », ouvertes entre le niveau quai et la dalle des locaux techniques situés sous la voirie. D'élégantes arches enjambant la plate-forme du tramway font écho aux arcades du pont ferroviaire situé à proximité et symbole de Viroflay. Les mezzanines, espaces permettant l'orientation des flux de voyageurs, sont métalliques et suspendues aux arches. Le caractère brut des parois moulées apparentes contraste avec le béton clair des arches et avec le raffinement des équipements et des maté-

riaux de revêtement : quais en basalte et en granite, parquets des mezzanines et faux-plafonds en chêne, tympans des stations en pierre (figure 2).

LES ÉTUDES

Le tracé de la section souterraine recoupe quasiment l'ensemble des couches sédimentaires du tertiaire de la région parisienne. La topographie locale relativement vallonnée conduit à traverser une grande variété de terrains sédimentaires, allant des dépôts du quaternaire au calcaire Lutétien

de l'Éocène (Tertiaire), en balayant les étages marneux et sableux.

Les études se sont déroulées de 2006 à 2012, en prenant en compte :

→ Une exigüité extrême du site des stations et des voies d'accès étroites ;

→ Le maintien des voies de circulation piétons et véhicules au droit des futurs ouvrages, pendant toute la durée du chantier.

Les stations sont de forme rectangulaire et mesurent 50 m de long sur 14 à 20 m de large, pour une profondeur moyenne de 25 m. La surface intérieure de chaque station est d'environ 950 m².

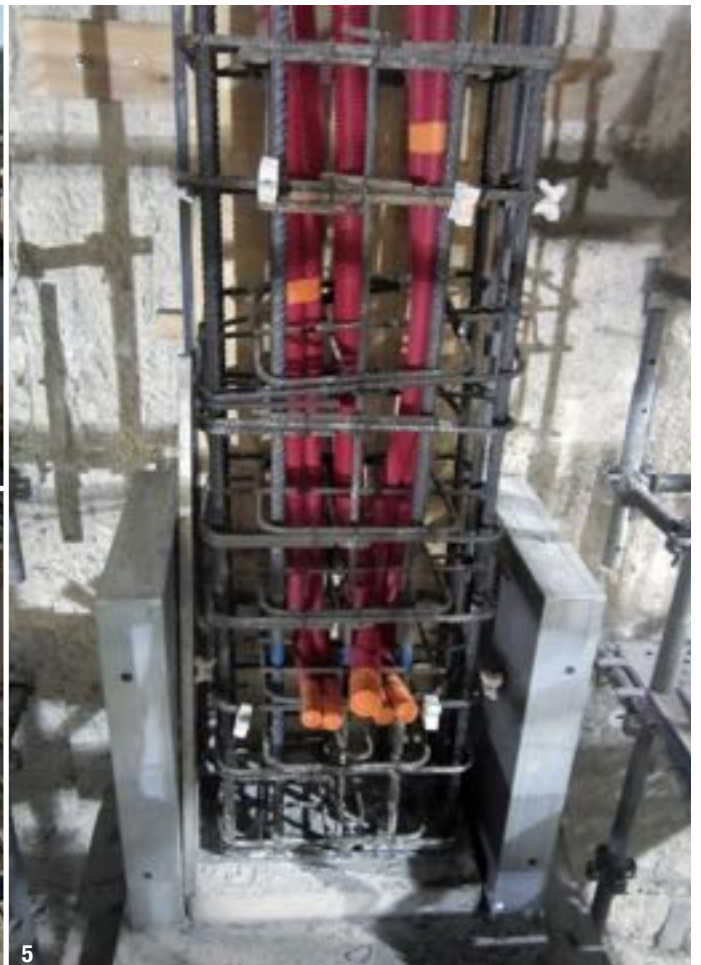
Les particularités des deux sites (exigüité très forte, proximité des avoisnants, présence de nombreux réseaux, contexte urbain très dense, travail à proximité et à l'intérieur du domaine SNCF) a exigé la préparation d'une organisation et d'un suivi de travaux rigoureux. En effet, les stations ont intégré de nombreuses difficultés : délai d'exécution très court, faibles emprises de stockage et de circulation, interfaces avec les ouvrages SNCF, réalisation d'arches intérieures de 15 m de haut. ▷



© EGIS



© EGIS



5



La période de préparation a permis d'élaborer les méthodes de fond, afin d'optimiser au maximum le phasage et le planning.

Cette période de préparation s'est achevée par la mise en place de différentes solutions : travail en postes et gestion des travaux pouvant se dérouler en temps masqué, établissement de carnets de phasage et de circulation sur chaque site particulièrement approfondis (cinq grandes phases sur la station Viroflay-Rive-Gauche et 10 grandes phases sur Viroflay-Rive-Droite).

LES CHOIX CONSTRUCTIFS ET LES TRAVAUX

Le creusement du tunnel a été fait à l'aide d'un tunnelier Herrenknecht à pression de terre, préalablement utilisé sur le chantier du prolongement de la ligne 12 (9,17 m de diamètre pour une galerie finie de 8,00 m), légèrement plus large que demandé dans la consultation. Le groupement

d'entreprises a pris à sa charge les conséquences sur les stations et la plate-forme du matériel roulant.

La méthodologie de réalisation des deux stations a été :

- 1- Réalisation de la dalle de couverture après l'achèvement des parois moulées, puis remblaiement de la dalle, afin de rétablir les réseaux, puis travail en taupe.
- L'ensemble du terrassement et génie civil est réalisé en sous-œuvre.
- 2- Excavation des terres en taupe jusqu'au radier en réalisant un butonnage provisoire pour garantir la stabilité des parois moulées.
- 3- Réalisation du radier, afin de permettre à Viroflay-Rive-Gauche la traversée du tunnelier et à Viroflay-Rive-Droite son démontage.
- 4- Après le passage du tunnelier, réalisation du génie civil (arches, dalle des locaux techniques reposant sur les arches, ...).

6- Coffrage d'un pilier de voile de contreventement.

7- Vue de dessus du coffrage des grandes arches.

8- Coffrage coulissant des grandes arches.

9- Voiles de contreventement avec leurs piliers.

6- Formwork for a shear-wall pillar.

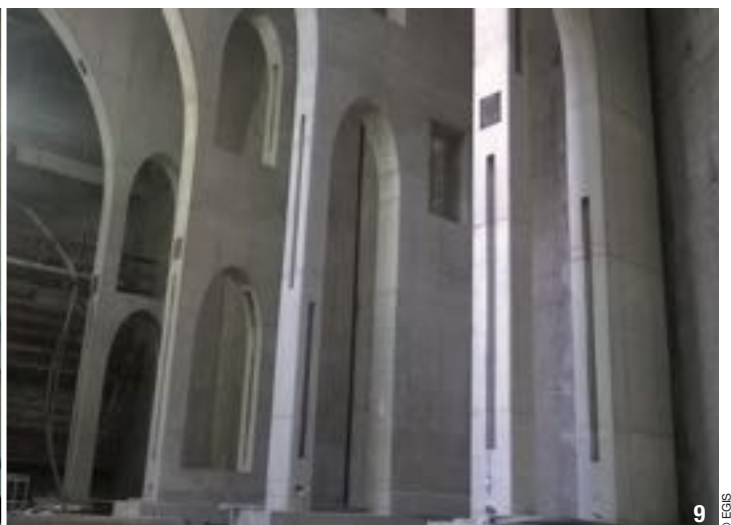
7- Plan view of formwork for the large arches.

8- Sliding formwork for the large arches.

9- Shear walls with their pillars.

Chaque station dispose de deux accès à réaliser. Ces accès permettent de relier le tramway aux gares existantes. Pour réaliser les parois des stations, il a été choisi des parois périmétrales d'épaisseur 1,0 m, descendue à 30 m, et ancrée dans le Calcaire grossier. Compte tenu de la proximité des bâtiments tiers (ouvrages SNCF ou propriétés riveraines), l'offre de Soltanche Bachy France, avec un outillage de type Hydrofraise, a été acceptée afin de limiter les vibrations engendrées par la perforation dans le Calcaire grossier. Les couches de nature marneuse, voire argileuse, des terrains entre 0 et 15-20 m environ n'étant pas favorable à une perforation à la fraise, elles ont été préalablement perforée avec une benne hydraulique de type KS (figures 3 et 4).

Trois grues sur chenilles ont dû évoluer sur des emprises réduites de l'ordre de 1400 m², exigeant les mesures particulières suivantes :





© EGIS
10

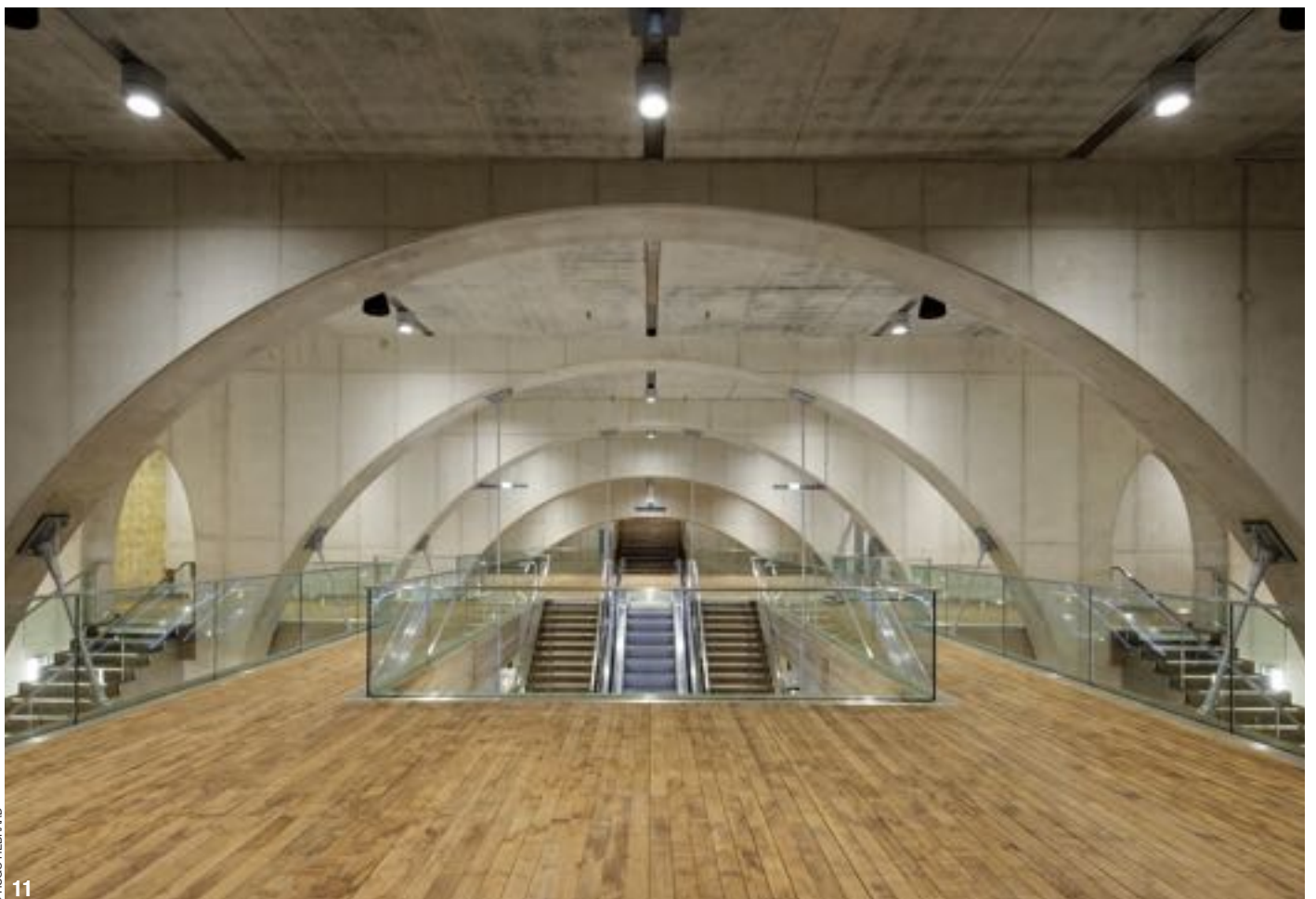
10- Montage des mezzanines métalliques.

11- Viroflay-Rive-Gauche, vue de la mezzanine haute.

10- Assembly of metallic mezzanines.

11- Viroflay-Rive-Gauche, seen from the upper mezzanine.

- Anticipation de chaque mouvement d'engin ;
- Alternance de phases de perforation et des phases de bétonnage : la perforation a rarement pu coexister avec des bétonnages ;
- Mise en œuvre d'une grue télescopique sur chenilles (contrairement aux grues treillis de manutention habituelles) de façon à ce qu'elle puisse agir, quelle que soit sa position dans l'emprise ;
- Stockage impossible des cages d'armatures, et donc livraison et équipement dans le panneau le jour même ;



© HUGO HÉBRARD
11



12

© HUGO HÉBRARD

- Décantation impossible des déblais de paroi sur site, utilisation du site du puits de secours comme zone de décantation avant reprise et évacuation en décharge ;
- Stationnement provisoire des touppies de béton sur une zone définie en concertation avec la ville de Viroflay, la zone étant distincte et éloignée de l'emprise des travaux ;
- Création d'une base arrière pour les ateliers de mécanique et de soudure, et pour le stockage des pièces de rechange sur le site du puits de secours.

L'installation de fabrication et de traitement de boue n'a pas été en reste, puisque les systèmes de fabrication, de traitement et de stockage des 450 m³ de boue ont dû tenir sur une petite emprise de 150 m² sur chaque station. Ceci a nécessité des moyens de manutention lourds et une procédure adaptée pour installer le matériel sur 5 niveaux.

Les voiles de contreventement et de soutien étaient prévues habillées de peaux préfabriquées, pour garantir

l'homogénéité des surfaces visibles. Des difficultés dans le monde de la préfabrication ont obligé le groupement d'entreprises Eiffage TP/Soletanche Bachy France, titulaire du marché de génie civil, à proposer des arches coulées en place, en béton clair. La solution des voiles avec arches coulées en place a permis l'intégration de la reprise des efforts de poussée des parois moulées, en plus des charges verticales issues du poids des mezzanines et des locaux techniques.

Mais les difficultés de réalisation ont été nombreuses, avec, au niveau des piliers, une grande abondance de fourreaux de passages de câbles à faire cheminer dans des ferrillages serrés (figure 5), et l'impossibilité de réaliser le plancher des locaux techniques à l'avancement de terrassement, puis d'assembler les arches en dessous. Pour les voiles de contreventement coulées en place, ce plancher aurait été une gêne très importante pour le bétonnage, alors qu'une grande qualité architecturale était requise (figure 6). Les voûtes ont nécessité la fabrica-

12- Viroflay-Rive-Gauche, escalator sous les petites arches.

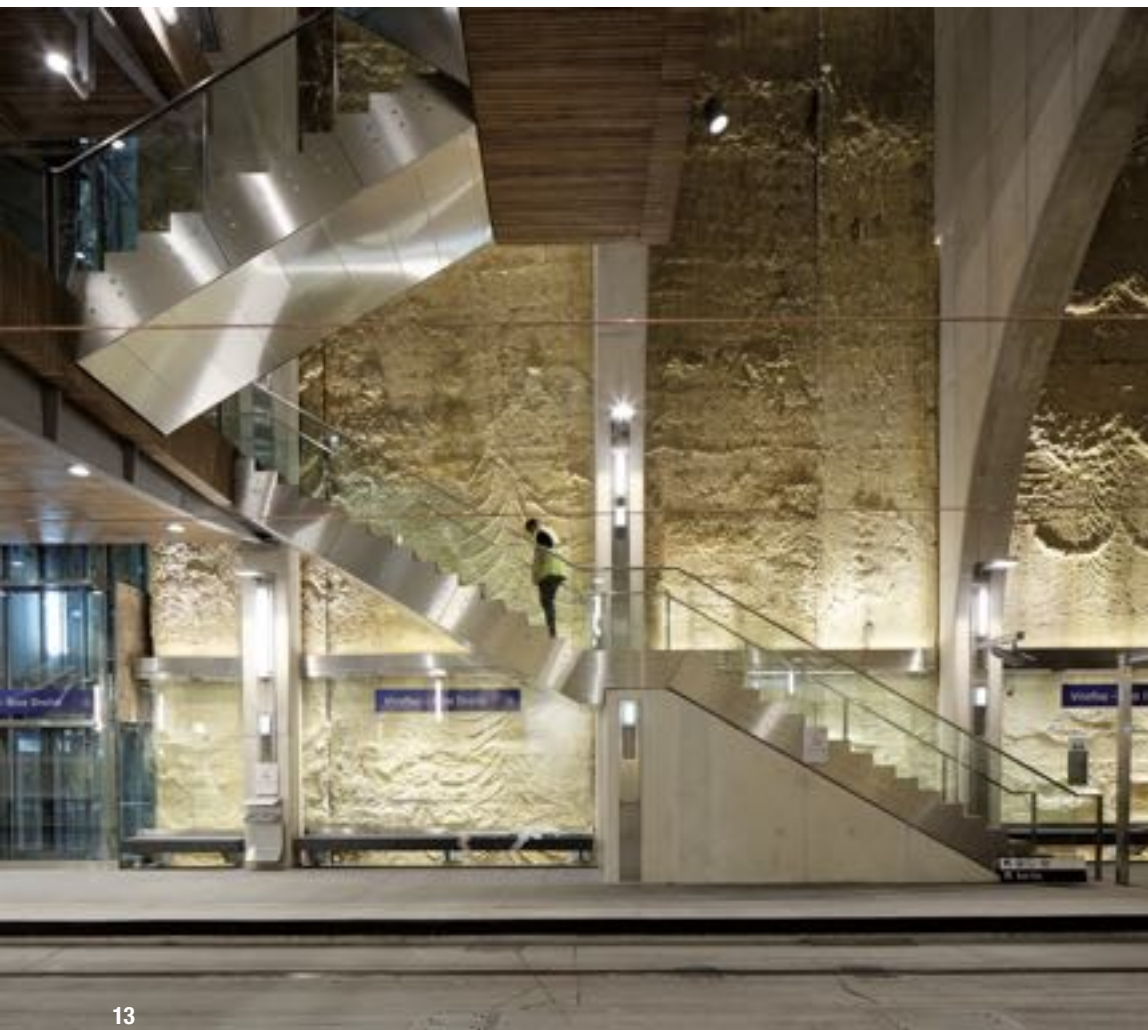
12- Viroflay-Rive-Gauche, escalator under the small arches.

tion d'un coffrage coulissant articulé (chaque arche est différente - figure 7) avec plateforme de travail. Ce coffrage, pour ne pas bloquer le déroulement du chantier, possédait en dessous un espace au gabarit routier (figure 8). Là aussi, le positionnement des ferrailles et des liaisons avec les arches et les parois moulées a exigé une grande précision.

Traités en béton clair brut de décoffrage, les voiles, positionnés de manière régulière perpendiculairement à l'axe des voies sont percés en leur axe par des arches afin de libérer un passage

pour la circulation des tramways et des visiteurs venant de la surface. Ces voiles sont à la fois contreventements pour les parois moulées, éléments d'accroche des mezzanines suspendues et escaliers, et supports des éléments de second œuvre. Le résultat final a été très positif (figure 9), l'entreprise ayant surmonté toutes les difficultés, hormis celle des délais qui ont été dépassés. Afin d'offrir un espace le plus fluide possible, les mezzanines sont limitées à leur stricte fonctionnalité. Ce sont des éléments à structure acier. Elles sont suspendues aux voiles béton par des tirants d'acier, et sont volontairement désolidarisées de ces voiles. Les pièces ont été approvisionnées par la trémie d'accès laissée dans la dalle supérieure de chaque station (figure 10).

Les sols sont de deux natures en fonction de leur position dans l'espace : des revêtements en bois pour les mezzanines (figure 11), et des revêtements granite pour les quais et les escaliers venant de la surface (figure 1). Les plafonds sont en bois, doublés d'un absorbant acoustique (figure 12).



13

© HUGO HÉBRARD

Les escaliers venant de la voirie sont traités en granite, dans la continuité des espaces de la voirie en surface. Tous les autres escaliers ont des marches en bois. Montants et mains courantes des garde corps des mezzanines sont en inox et supportent des parois vitrées pincées hautes de 1 m. Tous les éclairages des zones publiques sont à LED. Les parois et plafonds sont éclairés indirectement, les parois moulées sont mises en valeur par un éclairage rasant et les cheminements sont éclairés par une lumière directe. Les LED sélectionnées tant pour leur durée de vie que pour leur rendu lumineux, assure à la fois un niveau d'éclairage sécuritaire, confortable, et une bonne restitution des couleurs (figure 13). □

13- Viroflay-Rive-Droite, le contraste entre les parois moulées, le béton clair et le verre.

13- Viroflay-Rive-Droite, the contrast between the diaphragm walls, light-coloured concrete and glass.

PRINCIPALES QUANTITÉS

PAROIS MOULÉES : 8 000 m³

TERRASSEMENTS : 7 000 m³

TERRASSEMENTS EN SOUS-ŒUVRE : 42 000 m³

BÉTON DES DALLES ET RADIERS : 8 000 m³

BÉTON CLAIR DES ARCHES : 2 000 m³

STRUCTURES DES PLANCHERS MÉTALLIQUES SUSPENDUS : 130 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Conseil départemental des Yvelines et RATP
MAÎTRISE D'ŒUVRE GÉNÉRALE DU GÉNIE CIVIL ET DES ÉQUIPEMENTS NON LIÉS AU SYSTÈME DE TRANSPORT :

Egis Rail et Pierre Schall architecte

ENTREPRISES DE GÉNIE CIVIL : Eiffage / Soletanche Bachy

ENTREPRISES DE SECOND-ŒUVRE, ÉLECTRICITÉ, DÉSENFUMAGE, CLIMATISATION, FLUIDES : Briand, Calgagni, Sdel, Cegelec

ABSTRACT

THE UNDERGROUND STATIONS OF TRAMWAY T6 IN VIROFLAY

DANIEL LOURD, EGIS

The Viroflay underground stations receive a tyre-mounted tramway.

Providing all the functions necessary for an underground station, similar to those of an underground railway, they offer an ambitious architecture, combining visible diaphragm walls, complex arches in light-coloured concrete, and suspended metallic floors. The work on the shear walls with arches was difficult, but the functional and aesthetic requirements were met. The finishes for public spaces have wooden floors and suspended ceilings, clamped glass guard rails, and glazed lift shafts. This ultimately results in very friendly areas for users. □

LAS ESTACIONES SUBTERRÁNEAS DEL TRANVÍA T6 EN VIROFLAY

DANIEL LOURD, EGIS

Las estaciones subterráneas de Viroflay acogen un tranvía sobre ruedas.

Realizan todas las funciones propias de una estación subterránea, similares a las de un metro, al tiempo que presentan una arquitectura ambiciosa que combina pantallas de hormigón desnudas, complejos arcos de hormigón claro y pisos metálicos colgantes. Las obras de las velas de arriostramiento con arcos han sido difíciles, pero se han respetado las exigencias funcionales y estéticas. Los acabados de los espacios públicos presentan pisos y falsos techos de madera, parapetos de vidrio pincado y pozos de ascensor acristalados. El resultado final ofrece un ambiente muy acogedor para los usuarios. □



1
© SYSTRA

LES OUVRAGES EN TRANCHÉE DU PROLONGEMENT DE LA LIGNE 4 À BAGNEUX

AUTEUR : CHRISTOPHE BLOUET, CHEF DE PROJET, SYSTRA

LA PHASE 2 DU PROLONGEMENT DE LA LIGNE 4 DU MÉTRO PARISIEN DESSERVIRA BIENTÔT LA COMMUNE DE BAGNEUX EN TRANSPORT LOURD. LONGUE DE 1 800 M, CETTE PHASE EST, SUR 60% DE SON LINÉAIRE, RÉALISÉE EN TRANCHÉE COUVERTE PAR DES MÉTHODES VARIÉES TENANT COMPTE DES CARRIÈRES SOUTERRAINES, OMNIPRÉSENTES DANS LE SECTEUR. PARMIS CES OUVRAGES, LA FUTURE STATION BAGNEUX, NOUVEAU TERMINUS DE LA LIGNE, SERA EN CORRESPONDANCE AVEC LA LIGNE 15 DU GRAND PARIS EXPRESS.

PRÉSENTATION DU PROJET

De 1910 à 2012, la ligne 4 du métro traverse Paris de Porte-de-Clignancourt au nord à Porte-d'Orléans au sud. Elle est en correspondance avec toutes les autres lignes de métro et de RER et dessert les gares du Nord, de l'Est et Montparnasse, tout en restant strictement dans Paris intra-muros.

Depuis mars 2013, la première phase du prolongement au sud est en service. Long de 1 500 m, ce premier tronçon, entièrement souterrain, passe sous le boulevard périphérique et relie Porte-d'Orléans à la nouvelle station Mairie-de-Montrouge. La seconde phase du projet, elle aussi souterraine, permettra, à l'horizon 2020, de desservir deux sta-

1- Ferrailage d'un radier sur le prolongement de la ligne 4.

1- Reinforcing bars for a foundation raft on the line 4 extension.

tions supplémentaires, provisoirement dénommées Verdun-sud et Bagneux. La première est une station intermédiaire située dans un quartier résidentiel dense en limite des communes de Montrouge et Bagneux. La seconde, nouveau terminus de la ligne, sera intégrée au cœur de la future ZAC Éco-quartier Victor-Hugo comprenant des

VUE EN PLAN DE LA STATION BAGNEUX



© SYSTRA

2

logements, un pôle commercial et du stationnement souterrain. Un centre de dépannage situé sous l'avenue Henri-Barbusse, en arrière gare de la station Bagneux, permettra les opérations de maintenance des rames de métro.

Tout en améliorant la desserte locale des communes traversées, la seconde phase du prolongement de la ligne 4, d'une longueur de 1 800 m, permettra également le maillage avec la future gare de la ligne 15 du Grand Paris Express.

D'un coût total estimé à 380 M€ aux conditions économiques de 2011, la phase 2 du projet est financée par l'État (26%), la région Île-de-France (60%) et le Conseil Départemental des Hauts-de-Seine (14%).

La RATP, maître d'ouvrage de l'opération, assure la conduite du projet pour le compte du STIF. Elle a confié en 2010 à Systra l'ensemble des missions de maîtrise d'œuvre des infrastructures (conception et réalisation). Faisant suite aux études d'avant-projet, une nouvelle enquête publique s'est déroulée début 2012 afin d'intégrer des évolutions substantielles du projet.

De 2013 à 2015, plusieurs bâtiments ont été démolis et les nombreux réseaux enterrés interceptés par les ouvrages à réaliser depuis la surface ont été déviés. Ces travaux préliminaires ont permis de lancer les travaux de génie civil en avril 2015.

La mise en service du prolongement à Bagneux est prévue pour fin 2020, parallèlement avec l'entrée en service progressive des rames automatiques, la RATP ayant décidé d'automatiser la ligne 4.

2- Vue en plan de la station Bagneux.

3- Coupe géologique au droit du centre de dépannage.

2- Plan view of Bagneux Station.

3- Geological section at the level of the repair centre.

LE CONTEXTE DES TRAVAUX

Du nord vers le sud, le projet s'inscrit tout d'abord dans le secteur densément bâti du sud de Montrouge et de l'avenue de Stalingrad à Bagneux. Ce tronçon, qui comprend la station Verdun-sud, est long d'environ 770 m et fait l'objet du lot T1. Il est entièrement réalisé en souterrain, à partir de quatre puits d'attaque. Le groupement d'entreprises titulaire de ces travaux est constitué de Spie Batignolles Tpci (mandataire), Dodin Campenon Ber-

nard, Chantiers Modernes Construction, Sogea Tpi, Spie Fondations et Botte Fondations.

Viennent ensuite la station Bagneux et ses entonnements, situés dans le quartier des Martyrs-de-Chateaubriand (figure 2). La démolition de plusieurs bâtiments a permis de libérer l'espace nécessaire pour réaliser ces ouvrages en tranchée couverte. C'est l'objet du lot T2 dont le groupement Demathieu Bard Construction (mandataire), Guinotoli, Nge Génie Civil, G.T.S. et Pizzarotti est titulaire.

Plus au sud, le projet se termine avec un tunnel en cul-de-sac destiné au garage des trains et à leur maintenance dans le futur centre de dépannage. Situés sous l'avenue Henri-Barbusse à Bagneux, ces ouvrages font l'objet du lot T3 et sont réalisés par le même groupement que le T2.

L'ensemble des ouvrages en tranchée couverte, constituant les lots T2 et T3, représente un linéaire total d'environ 1 050 m.

Entièrement situé au-dessus des nappes aquifères actives, le projet s'inscrit dans des horizons bien connus du sud du bassin parisien. On rencontre ainsi, sous les remblais plus ou moins récents, le Calcaire de Saint-Ouen, les Sables de Beauchamp et les Marnes et Caillasses. À l'approche du cul-de-sac, les ouvrages du lot T3, situés à une cote plus élevée, rencontrent les Marnes Infragypseuses au-dessus du Calcaire de Saint-Ouen.

Les carrières souterraines se situent dans les Calcaires Grossiers, sous-jacents aux Marnes et Caillasses.

Déjà rencontrées sur la première phase du projet dans les secteurs de Porte-d'Orléans et de Montrouge, les carrières constituent la caractéristique majeure du contexte géotechnique de la phase 2 à Bagneux, puisqu'on les trouve sur un, voire deux niveaux, sur la totalité des 1 800 m du tracé.

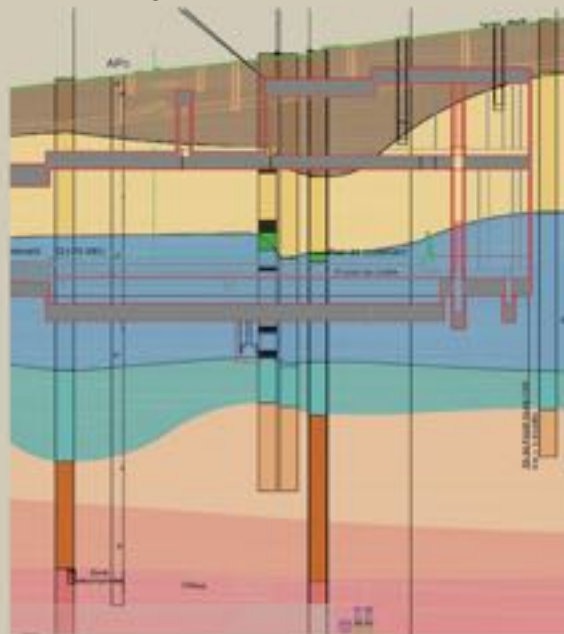
La manière d'appréhender la problématique des carrières souterraines dépend de plusieurs critères :

- Leur position par rapport aux ouvrages à excaver ;
- Leur état et le nombre de niveaux ;
- La sensibilité des ouvrages futurs ;
- La vulnérabilité des avoisinants.

L'impact des carrières sur les ouvrages réalisés en souterrain (lot T1) est d'autant plus important qu'elles sont souvent très proches du radier, voire au niveau des tunnels à réaliser, ce qui suppose des mesures préventives spécifiques pouvant aller jusqu'au confortement à pied d'œuvre.

© SYSTRA

COUPE GÉOLOGIQUE AU DROIT DU CENTRE DE DÉPANNAGE



3



Pour les ouvrages en tranchée, les carrières souterraines sont généralement situées entre 10 et 20 m sous le radier. Afin d'assurer la pérennité des infrastructures du métro, un traitement de grande ampleur est nécessaire pour s'affranchir des tassements sur le long terme et éviter la remontée de fontis jusqu'au radier des ouvrages enterrés.

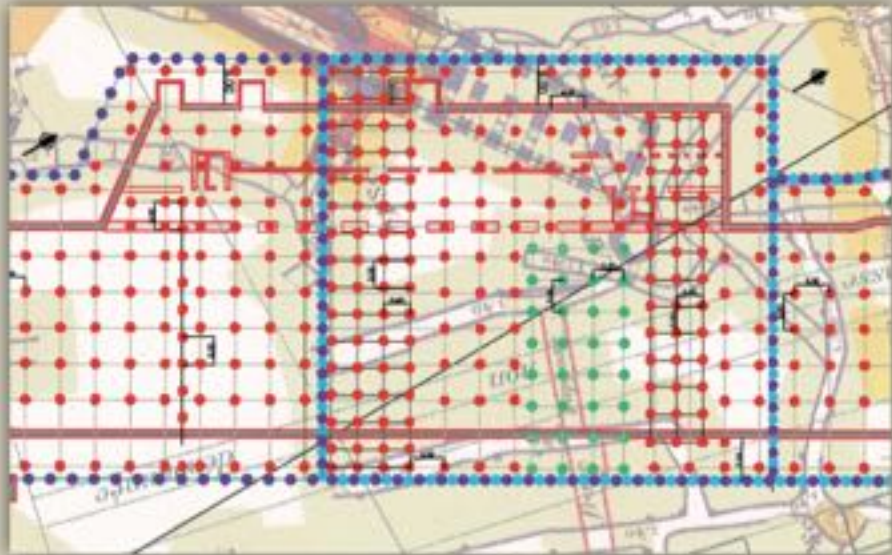
LES OUVRAGES À CIEL OUVERT

Les derniers 1 000 m du prolongement sont implantés sur la commune de Bagneux dans un environnement urbain moins dense que d'autres secteurs de la petite couronne. Sous réserve de remonter le profil en long vers la surface, ces ouvrages peuvent ainsi être construits en tranchée, à l'abri d'écrans de soutènements, avant d'être recouverts d'une dalle de couverture permettant l'utilisation du niveau voirie par le public.

Du nord, à l'interface avec les ouvrages réalisés en souterrain, vers le sud, où se situe le centre de dépannage, les principaux ouvrages à ciel ouvert sont constitués de :

- **La station Bagneux** : avec ses deux entonnements permettant de passer du tunnel métro de 8 m de large aux 35 m de portée maximale, la station Bagneux est un ouvrage cadre de plus de 300 m de longueur réalisé en parois moulées. Afin de disposer d'emprises suffisantes pour les travaux, le terrassement s'effectue sous la dalle de couverture reposant sur les parois moulées (terrassement en taupe).
- **Le tunnel d'arrière gare** : long de 500 m, large de 11 à 15 m et d'une profondeur comprise entre 12 et 15 m, ce tunnel, principalement réalisé à l'abri de parois berlinoises,

MAILLAGE DES FORAGES D'INJECTION DE LA STATION BAGNEUX



4

© G.T.S.

permettra le remisage des trains sur 3 voies. Afin de limiter l'impact sur la circulation piétonne et les commerces, les travaux se déroulent par tronçons alternés d'une centaine de mètres.

- **Le centre de dépannage des trains** : d'une longueur de 130 m, cet ouvrage est équipé de deux voies surélevées permettant les opérations de maintenance sous les trains. Il comprend également des locaux destinés au personnel de la RATP, des locaux techniques sur deux niveaux et deux monte-charge. D'une largeur variant de 13 à 24 m, l'ouvrage cadre est réalisé à l'aide de pieux jointifs en béton faisant

4- Maillage des forages d'injection de la station Bagneux.

5- Machines de forages d'injection.

6- Forages et centrale d'injection (2nd plan).

4- Network of grouting drill holes at Bagneux Station.

5- Grout injection drilling machines.

6- Drill holes and grouting plant (background).

office de soutènement provisoire pendant les travaux puis de revêtement définitif. Le fond de fouille se situe généralement à 15 m de la surface, avec des zones approfondies à 17 m au droit de passages sous voie.

LE TRAITEMENT DES CARRIÈRES

Les méthodes en tranchée sont proportionnellement moins coûteuses et plus rapides que les procédés de creusement en souterrain, ce qui amène les donneurs d'ordre à les préférer lorsque le contexte urbain le permet.

Dans le cas du prolongement de la ligne 4, les ouvrages en tranchée permettent à la fois de réduire les volumes



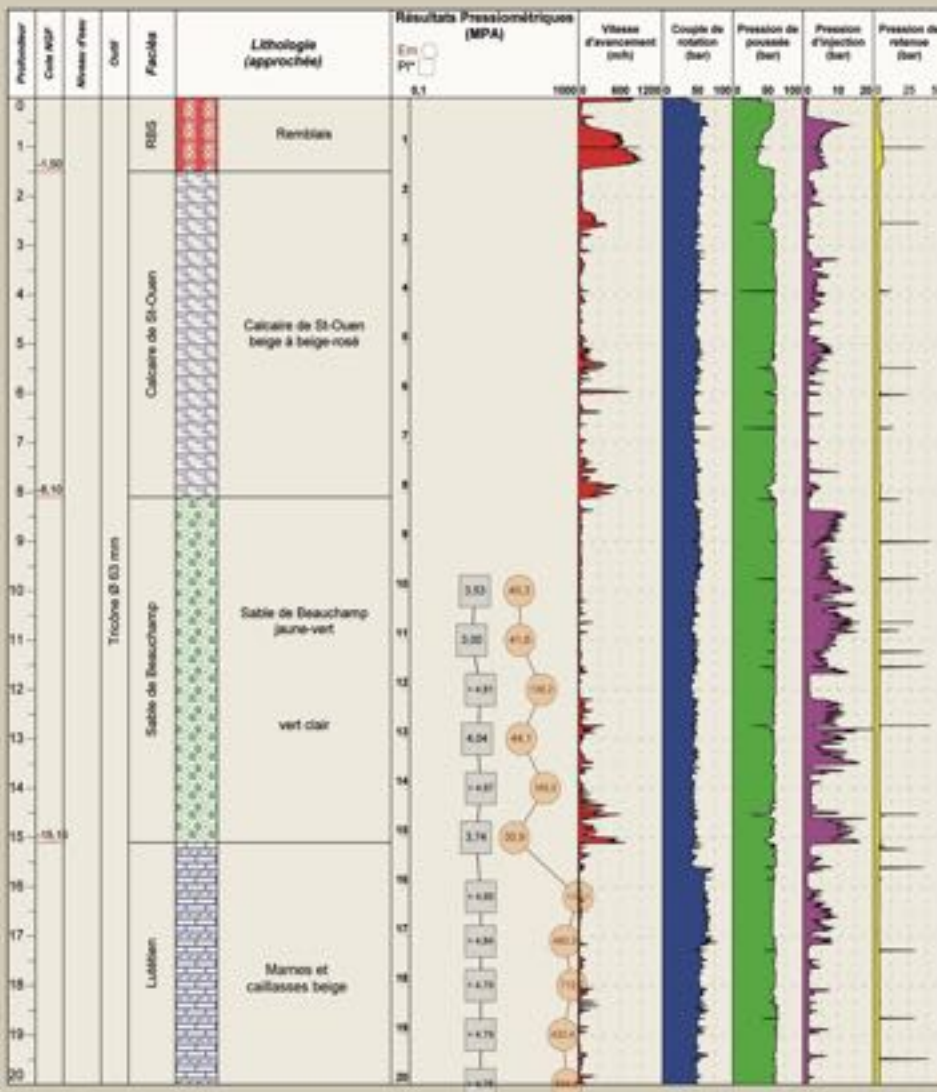
5



6

© SYSTRA

LOG DE SONDAGE DE CONTRÔLE (enregistrement des paramètres - essais pressiométriques)



7- Log de sondage de contrôle (enregistrement des paramètres - essais pressiométriques).
8- Coupe de la station Bagneux à 3 voies.

7- Test boring log (recording of parameters - pressuremeter tests).
8- Cross section of Bagneux Station with 3 tracks.

terrassés en remontant le profil et de s'éloigner des carrières souterraines qui se retrouvent alors à plus de 10 m sous les radiers (figure 3).

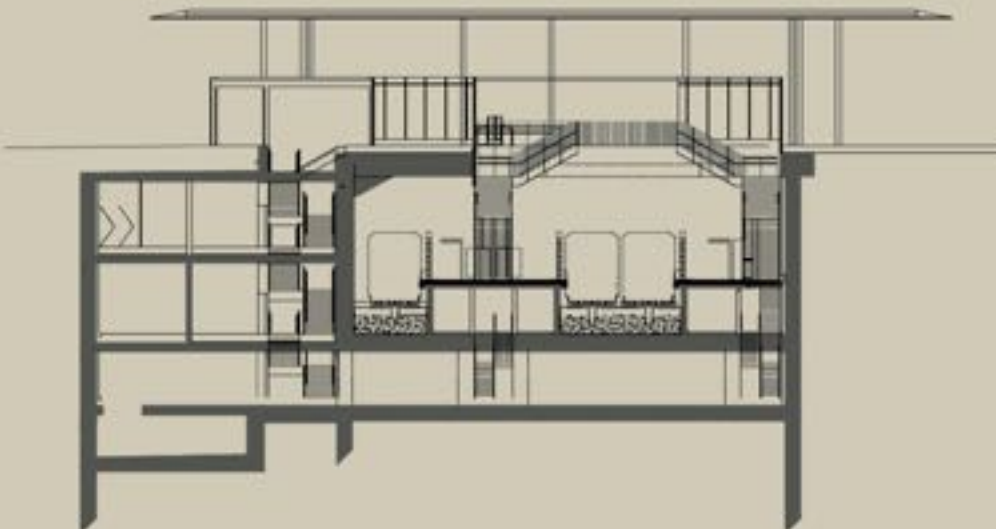
Comme le préconise l'Inspection Générale des Carrières (IGC), les carrières font l'objet d'un traitement par injection de coulis de ciment destiné à remplir les vides résiduels et à consolider les remblais occupant la majeure partie du volume généré par l'exploitation de la roche calcaire jusqu'au siècle dernier. Ce traitement, réalisé depuis la surface, se décompose en plusieurs phases (figure 4) :

→ **Injections de barrage** : le périmètre de la zone à traiter, à cinq mètres de l'extrados des ouvrages, est ceinturé par un barrage réalisé au moyen d'un coulis visqueux ou d'un béton maigre. Ce barrage est destiné à éviter la diffusion du coulis fluide des phases suivantes au-delà du périmètre. Les forages de barrage peuvent être légèrement inclinés lorsque la zone à traiter sort de l'emprise de surface. Les forages sont distants de 2,5 m, voire moins lorsque des vides importants sont rencontrés (figure 5).

→ **Injections de comblement** : les vides francs sont traités en premier par un comblement gravitaire jusqu'au refus ou à l'atteinte d'un critère de volume préalablement établi.

→ **Injections de clavage** : destinées à remplir les vides résiduels laissés entre le comblement et le ciel des carrières, les injections de clavage sont réalisées sous pression, le critère d'arrêt étant le volume ou la pression.

COUPE DE LA STATION BAGNEUX À 3 VOIES





9

© LIN

→ **Injections de traitement** (figure 6) : en cas d'anomalie géotechnique détectée lors de précédents forages, lorsque le fond de fouille est proche des carrières ou pour certains ouvrages sensibles, les remblais des carrières sont traités sous pression par injection d'un coulis fluide à travers des tubes à manchettes. Le critère d'arrêt peut être, là encore, le volume ou la pression. Le maillage des forages de comblement, clavage ou traitement, est généralement de 4x4 m, mais peut aller jusqu'à 3x3 m dans certains cas.

→ **Forages de contrôle** : après séchage du coulis, des forages de contrôle sont exécutés afin de vérifier la qualité des traitements. Ces contrôles consistent à enregistrer les paramètres de forage, ce qui

permet de détecter d'éventuelles anomalies tout au long de la formation. Des essais pressiométriques sont également réalisés dans les forages de contrôle afin, notamment, de vérifier la pression limite des remblais traités (figure 7).

Afin d'augmenter encore la sécurité des ouvrages, les radiers sont calculés de telle manière qu'ils puissent résister à des conditions de fontis (rigidité du terrain sous-jacent nulle) équivalentes à la formation d'un vide de 4x4 m.

LA STATION BAGNEUX

La station Bagneux sera en correspondance avec la ligne 15 du Grand Paris Express dont la gare sera située à quelques mètres de la station RATP L4. Le terminus de la ligne aura un accès principal donnant sur le parvis proche de l'avenue Henri-Barbusse ainsi qu'un

9- Vue architecturale de l'accès principal de la station Bagneux.

10- Benne à câble pour l'excavation des parois moulées.

11- Pré-dalles de béton ondulé.

9- Architect's view of main entrance to Bagneux Station.

10- Cable grab for diaphragm wall excavation.

11- Precast corrugated concrete slabs.

accès secondaire, plus au nord, donnant sur l'avenue Stalingrad (gymnase, groupe scolaire). La station comportera trois voies et deux quais ; un quai latéral pour les arrivées, un central pour les départs (figure 8).

Les quais seront situés à environ 6 m sous la dalle de couverture, sans niveau intermédiaire jusqu'au parvis qui sera desservi par 5 escaliers mécaniques. Deux ascenseurs permettront l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite. Les locaux techniques et les espaces dédiés au personnel seront disposés sur deux niveaux. Une machine à laver les trains sera installée dans l'entonnement sud de la station. Le cabinet franco-allemand Lin, architecte du projet, a choisi de donner une identité forte aux deux stations par la réalisation de grandes toitures circulaires au-dessus des accès (figure 9) et de surfaces



10



11

© SYSTRA



ondulées dans les espaces publics. Ces surfaces sont tantôt constituées de tôle ondulée émaillée, tantôt de béton ondulé. Ce dernier est exécuté grâce à l'utilisation d'une matrice en fond de coffrage.

Quant au déroulement des travaux, les principales phases, depuis le lancement en avril 2015, ont été les suivantes :

- **Forages et injection des carrières** : juin 2015 à mars 2016, à la suite des démolitions d'immeubles et des déviations de réseaux.
- **Parois moulées** : réalisées à la benne à câble de novembre 2015 à juin 2016 (figure 10). L'étendue

12- Mise en œuvre des pré-dalles ondulées.

13- Terrassement en taupe de la station Bagneux.

12- Placing pre-cast corrugated slabs.

13- Underground earthworks for Bagneux Station.

du chantier a permis de lancer les travaux de parois moulées alors que les injections étaient toujours en cours sur d'autres secteurs.

- **Dalle de couverture** : la sous-face de dalle est constituée de modules de béton ondulé de 6 à 8 m de long et 10 cm d'épaisseur, pré-fabriqués sur site (figure 11). Ces modules ont été disposés sur un lit de sable avant de ferrailer et de couler le béton structurel par-dessus (figure 12). Ces travaux se sont déroulés de mars à octobre 2016.
- **Terrassement en taupe** : le terrassement a débuté en août 2016

et doit se poursuivre jusqu'en avril 2017 (figure 13).

→ **Structures internes** : une fois la boîte terminée, les structures internes (radiers, quais, escaliers, émergences en voirie...) seront réalisées de mars à novembre 2017, date qui marquera la livraison du gros-œuvre de la station.

Viendront ensuite les travaux de pose des voies et de l'ensemble des corps d'état secondaires (maçonnerie, métallerie, haute et basse tension, ventilation, électromécanique...), qui travailleront de concert jusqu'à la mise en service prévue fin 2020. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

VOLUME TERRASSÉ : 180 000 m³
FORAGE DE TRAITEMENT DE CARRIÈRES : 82 000 m
VOLUME D'INJECTION DE CARRIÈRES : 32 000 m³
LINAIRE DE PIEUX : 21 000 m
SURFACE DE PAROIS MOULÉES : 10 000 m²
BÉTON DE STRUCTURE : 45 000 m³
POIDS ACIERS HA : 5 000 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : RATP
MAÎTRE D'ŒUVRE INFRASTRUCTURE : Systra
MAÎTRE D'ŒUVRE SYSTÈME : RATP / Ing
ARCHITECTE : Lin GmbH
ENTREPRISE DE TRAVAUX : Groupement Demathieu Bard Construction (mandataire), Guintoli, Nge Génie Civil, G.T.S., Pizzarotti

ABSTRACT

TRENCH WORKS FOR THE EXTENSION OF LINE 4 TO BAGNEUX

CHRISTOPHE BLOUET, SYSTRA

After the commissioning of phase 1 of the extension of Paris metro line 4 in March 2013, work has been performed on phase 2 since April 2015. This project, 1800 metres long, which will provide access to the Bagneux district, comprises two stations and a train repair centre. The 1050 metres of cut-and-cover tunnel include the construction of Bagneux Station, the turnaround tunnel and the repair centre. Due to the existence of old underground quarries, the methods employed must be adapted, in particular by plugging the residual voids through extensive grouting, in order to ensure a long service life for the structures. □

LAS OBRAS EN ZANJA DE LA PROLONGACIÓN DE LA LÍNEA 4 EN BAGNEUX

CHRISTOPHE BLOUET, SYSTRA

Tras la entrada en servicio de la fase 1 de la prolongación de la línea 4 del metro de París en marzo 2013, las obras de la fase 2 se desarrollan desde abril de 2015. Con una longitud de 1.800 m, este proyecto, que llevará la red de metro hasta el municipio de Bagneux, está formado por dos estaciones y un centro de asistencia para los trenes. Los 1.050 m de zanja cubierta tienen como finalidad construir la estación de Bagneux, el túnel posterior de la estación y el centro de asistencia. La presencia de antiguas canteras subterráneas obliga a adaptar los métodos operativos, en especial rellenando los huecos residuales mediante importantes campañas de inyección, para garantizar la durabilidad de las construcciones. □



LES TROIS DERNIÈRES STATIONS DU MÉTRO SOUTERRAIN DE SINGAPOUR

AUTEURS : BRUNO SARRET, DIRECTEUR DU DÉPARTEMENT ARCHITECTURE, SYSTRA - NICOLAS FOUCHER, ARCHITECTE, SYSTRA - VALENTINA GASTALDI, ARCHITECTE, SYSTRA

LES PREMIERS TRONÇONS DE LA LIGNE CIRCULAIRE DU MÉTRO DE SINGAPOUR ONT ÉTÉ MIS EN SERVICE EN 2009 SOUS LA DIRECTION DU CLIENT FINAL, LAND TRANSPORT AUTHORITY. POUR COMPLÉTER LA BOUCLE, L'ÉTUDE DU 6^e TRONÇON A ÉTÉ LANCÉE EN 2015, CE TRONÇON D'UNE LONGUEUR D'ENVIRON 4 KM COMPREND TROIS STATIONS. LE MONTAGE COMPLEXE DE MAÎTRISE D'ŒUVRE A NÉCESSITÉ UN GROS TRAVAIL DE COORDINATION DU FAIT DES NOMBREUSES INTERFACES TECHNIQUES. LE CLIENT LTA A RÉUSSI À INTÉGRER LES PRINCIPES DU PROCESSUS DE CONCEPTION, PERMETTANT AINSI DE TERMINER LE PROJET AVEC SUCCÈS.

- 1- Station CC31
Vue générale.
- 2- Plan de la Circle Line de Singapour.
- 3- Plan tronçon CC06 de la Circle Line avec les trois stations CC30, CC31 et CC32.

- 1- Station CC31
General view.
- 2- Map of Singapore's Circle Line.
- 3- Plan of section CC06 of the Circle Line with the three stations CC30, CC31 and CC32.



INTRODUCTION

La Circle Line du métro de Singapour est une ligne de métro automatique souterrain, d'une longueur commerciale de 35 km, incluant trente-quatre stations.

La ligne a été mise en service en 2009 et a, depuis, connu plusieurs étapes de développement, y compris une première extension en 2012.

La vitesse commerciale moyenne est de 75 km/h, avec un trafic voyageur de près de 400 000 voyageurs par jour.

La Circle Line est une ligne circulaire permettant de créer une boucle périphérique à Singapour, créant un lien intermodal avec d'autres lignes radiales existantes et futures (figure 2).

Le lot CC06 concerne la réalisation des 3 dernières stations de la ligne (CC30, CC31 et CC32), refermant ainsi la boucle que décrit la Circle Line, ainsi que 4 km de tunnel.

Le complexe montage de maîtrise d'œuvre oblige à une séparation des différents lots techniques, ne facilitant pas le travail de coordination entre les nombreux acteurs du projet :

→ Aecom, bureau d'étude d'ingénierie, est en charge du lot génie civil du tunnel ainsi que des stations. De plus, en tant que mandataire du marché principal de maîtrise d'œuvre, il supervise les autres acteurs du projet.



CC30



4

© SYSTRA

4- CC30 Plan de masse.

5- CC30 Vue depuis le quai central.

6- CC30 Vue extérieure.

4- CC30 Layout plan.

5- CC30 View from the central platform.

6- CC30 Exterior view.

→ Arup, bureau d'études techniques, est en charge des études des corps d'état techniques pour le tunnel et les stations : fluides, électricité, plomberie, sécurité incendie.

→ Systra, associé au BET d'architecture local Rdc, est en charge de la conception des trois stations de la ligne ainsi que des ouvrages annexes entre stations (figure 3).

Cet article présente le design des trois dernières stations de la Circle Line de Singapour. Les choix ayant permis d'aboutir au design final ont été pris selon les contraintes légales, techniques ainsi que les paramètres fonctionnels de conception. Il ne s'agit cependant pas uniquement de critères quantifiables : des critères plus subjectifs de conception (esthétiques, conceptuels) ont dû aussi être intégrés dans la réflexion afin d'obtenir une identité propre à chaque station de la Circle Line.



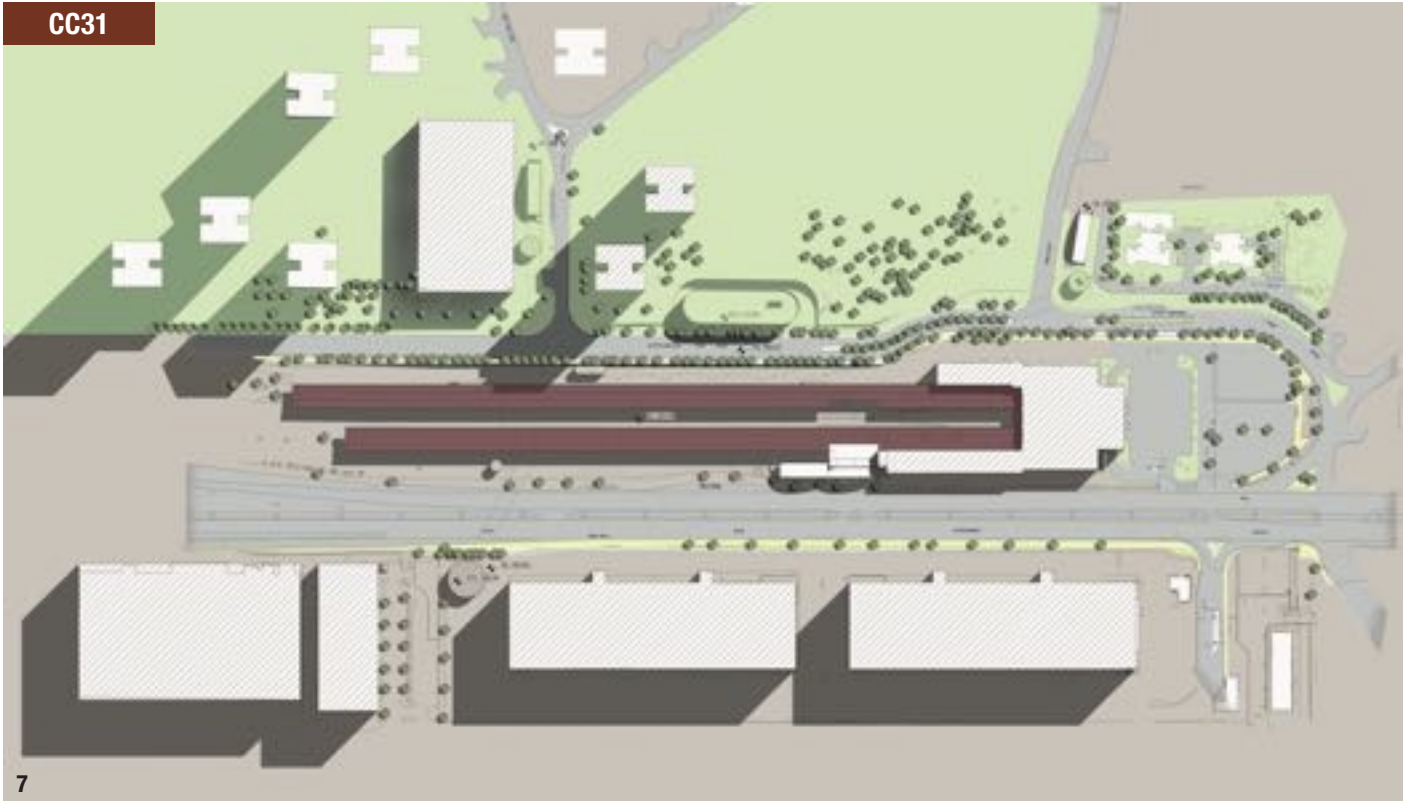
5

© SYSTRA / MARIA ANGELA CORSI



6

© SYSTRA / MARIA ANGELA CORSI



Cet article présente également le cadre organisationnel du projet, ainsi que les processus de conception ayant permis une conception optimale répondant aux besoins de l'exploitant, mais aussi aux attentes du public.

L'insertion du tronçon CC06 de la Circle Line dans la zone située au sud-est de Singapour le long d'une artère principale (autoroute urbaine en viaduc) est

7- CC31 Plan de masse.
8- Croquis CC31.

7- CC31 Layout plan.
8- Sketch CC31.

soumise à de nombreuses contraintes techniques prises en compte dès le démarrage du projet :

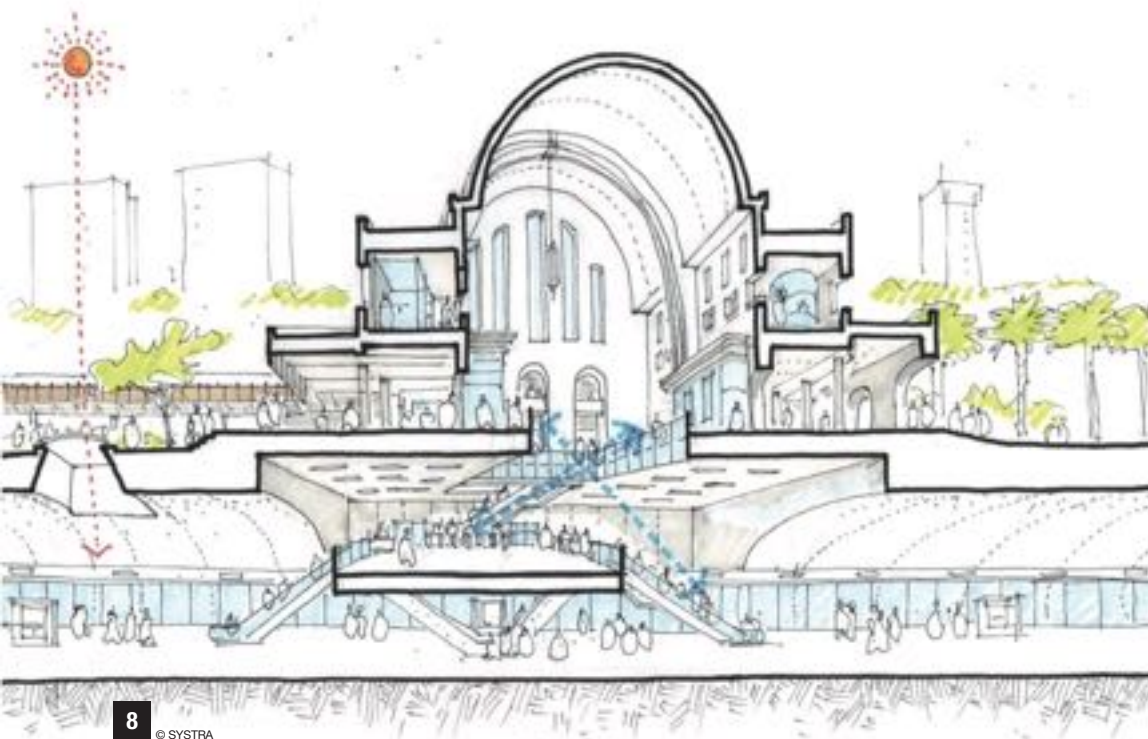
- Les activités portuaires de la zone PSA où se situe le tronçon CC06 Port ;
- Le viaduc de Keppel Road, avec une zone très dense de fondations ;
- La proximité de sites historiques (gare KPF, sites religieux) ;

- Les incertitudes concernant les futurs développements prévus dans la zone par l'URA (Urban Redevelopment Authority) pour l'état-cité de Singapour ;
- L'interconnexion de la ligne avec des réseaux de transport en pleine mutation (bus, train, ...) ;
- L'interconnexion de la ligne à des futurs tunnels/ligne en construction dans le même horizon ;
- Les contraintes de profil en long ;
- Les interventions de nombreux acteurs publics (NParks, URA, LTA, ...).

Une vision globale, partagée par tous les acteurs du projet, est nécessaire afin d'obtenir, in fine, la satisfaction de toutes les parties prenantes.

Le projet s'inscrit dans le développement d'un réseau de métro reconnu au niveau mondial - tant pour ses qualités intrinsèques d'optimisation des déplacements urbains, d'amélioration des liens entre les nombreuses communautés qui constituent la ville de Singapour, que pour son respect des questions environnementales, du confort et de la sécurité des usagers.

Les objectifs généraux pour la Circle Line, ont été définis dans les documents de l'appel d'offre. Ils sont étroitement liés à la vision du gouvernement de Singapour pour le développement global de l'état-cité. ▷





Les cibles sont identifiées et réparties en trois grandes familles: société, économie et l'environnement :

Cibles Sociétales :

- Assurer les besoins de transport pour la population locale et les touristes - dans un contexte de forte croissance démographique ;
- Fournir un excellent niveau d'accessibilité à des quartiers existants ainsi qu'à des zones en devenir ;
- Améliorer les connections entre l'est et l'ouest de Singapour tout en créant de nouveaux pôles d'attractivité dans le sud de la ville ;
- Améliorer l'intermodalité entre les réseaux de transports de Singapour.

Cibles Économiques :

- Soutenir le développement économique du pays ;
- Fournir un accès public facile aux équipements de travail, religieux, éducatifs, médicaux, commerciaux, de loisirs, ...

Cibles Environnementales :

- Réduire la pollution et protéger l'environnement ;
- Réduire le nombre d'incidents graves liés aux déplacements ;
- Développer un réseau de transport qui soit partie prenante dans la démarche écologique de la ville.

Les objectifs directement liés aux stations de la ligne sont en phase avec le reste des lignes de métro singapouriennes, et ont été clairement énoncés. Ces objectifs ont été précisés durant les phases de conception :

- Les espaces intérieurs des stations doivent impérativement être lisibles, accessibles et faciles d'utilisation pour l'ensemble des voyageurs.
- L'exploitation des stations (coût d'exploitation, système de billetterie intégré, maintenance, sûreté et sécurité) se doit d'être simple et efficace.
- Le bien-être des voyageurs est directement impacté par la conception et la qualité environnementale. Le concept doit donc être envisagé comme la combinaison des critères agissant sur le confort voyageur : performance, accessibilité et fonctionnalité.
- Le rapport qualité/prix, dans la conception et l'organisation des stations doit inclure les facteurs environnementaux, écologiques, de recyclage et de développement.
- Au cœur du projet de conception des stations de métro se trouve la nécessité d'allier la facilité d'utilisation et d'exploitation à la performance du rapport qualité/prix.



© SYSTRA / MARIA ANGELA CORSI

9

LA CONCEPTION DES STATIONS

La conception des trois stations (CC30, CC31 et CC32) est le résultat d'études collaboratives qui prennent en compte :

- Les obligations d'urbanisme imposées par l'agence publique d'aménagement ;
- Les obligations paysagères imposées par le NParks ;

- Les règles imposées par d'autres autorités publiques : BCA, NHB, PUB, PBS ;
 - Les études des corps d'état techniques faites par Arup ;
 - Les études de génie civil faites par Aecom ;
 - Les impositions de maintenabilité du LTA.
- Un échange itératif permanent entre

les différentes parties prenantes a été mené au fil du projet afin de garantir la satisfaction de tous et le respect des règles en vigueur. Le tracé du tronçon CCL6 de la Circle Line a pour objectif de créer un lien fluide et direct entre les parties Est et Ouest de Singapour. Le long de cet axe, chaque station est une opportunité de recréer une relation aujourd'hui per-



10

© SYSTRA

9- CC31 Vue depuis le quai central.

10- Gare existante de Tanjong Pagar située au-dessus de la station CC31.

9- CC31 View from the central platform.

10- Existing station Tanjong Pagar located above station CC31.



© SYSTRA

11

due entre le passé historique de la ville et les futurs développements prévus dans la zone Sud (zone portuaire PSA) qui annonce le Singapour de demain. Cette logique, partagée par les trois stations, n'empêche en rien une prise en compte de la spécificité de chaque site, avec à la fois ses propres caractéristiques techniques, géographiques et sociales.

Les nombreux échanges avec le client (LTA) mais aussi avec les agences locales d'urbanisme ont permis de très rapidement caler trois concepts distincts pour les stations :

Station CC30 "Paysage" :

Le thème de la "station organique" met en valeur le caractère très végétal propre à ce site (parc adjacent).

Le paysage prend une place particulière dans la conception de la station, en offrant des espaces chaleureux et rassurants pour l'usager, tout en respectant une des caractéristiques les plus fortes du quartier qu'il dessert.

11- CC32 Plan de masse.

12- CC32 Hall principal.

11- CC32 Layout plan.

12- CC32 Main hall.

Station CC31 "Patrimoine" :

La gare KTM, monument historique datant de 1920, est un élément architectural et urbain fort de ce quartier. À la demande du LTA, nous avons fortement ancré le langage de la nouvelle station en relation directe avec la station KTM, en intégrant l'arche centrale qui reproduit celle de la gare KTM, créant ainsi une relation évidente entre la gare du passé et la station du futur.

Station CC32 "Histoire" :

Cette station d'interconnection entre deux lignes, est composée de quais superposés, nécessitant une organisation interne plus complexe. Cependant, l'identité de la station s'appuie fortement sur le passé du site : ancien port de pêche de Singapour au XIX^e siècle devenu un centre d'affaire à très forte densité. L'introduction d'éléments rappelant la forme et les matériaux des anciens bateaux, ainsi que des références nombreuses au monde maritime, permet de recréer ce lien avec le passé du quartier.

STATION CC30

La station CC30 est située au cœur du quartier PSA (Singapore Port Authority land). Le LTA a fait l'acquisition d'une partie assez large de cette zone en vue de construire la station et de redéfinir l'environnement direct de celle-ci. Des développements liés à la mutation du quartier entier suivront à moyen

terme : d'une zone de stockage de fret maritime, le quartier doit devenir une ville nouvelle proposant services, commerces, bureaux et logements.

La conception de la station est en grande partie affectée par cette situation : en effet l'activité du port doit être maintenue durant la construction et la première étape d'exploitation de la ligne.

La position des entrées de la station ainsi que les liens intermodaux prévus sont donc contraints par le fonctionnement à court terme du quartier.

Pour cette raison, les entrées sont resserrées autour de la station, dans un périmètre très restreint, et des provisions sont prises en compte pour que le futur développement de la station accompagne le développement du quartier.

Dans un premier temps, deux entrées sont prévues au-dessus des deux extrémités des quais (entrées A et B), ainsi qu'un accès de l'autre côté de l'autoroute urbaine West Coast Highway (entrée C).

Des accès futurs sont prévus en lien direct avec les développements envisagés. À cette fin, des réservations dans les murs d'enceinte de la station sont intégrés dans la conception afin de créer de nouveaux couloirs d'accès (les KOP, ou Knock Off Panels) (figure 4). Malgré la proximité du port encore opérationnel durant la première phase d'exploitation de la ligne, la zone de chalandise de 400 m de rayon correspond au futur quartier et non à l'existant. Les entrées sont généreuses, intégrant systématiquement 2 escalators, 2 escaliers fixes et un ascenseur par entrée.



© SYSTRA

12



13

© RDC

Des entrées supplémentaires seront étudiées lorsque les premiers projets d'aménagement du nouveau quartier vont débuter.

L'entrée souterraine proposée côté Nord permet un accès direct depuis le quartier résidentiel de Kampong Barhu, sans avoir à traverser l'autoroute urbaine qui coupe en deux le quartier.

La station est un des premiers éléments de développement urbain, annonçant une densification et une requalification de toute la zone. Elle se doit donc de donner une première impression « mémorable » pour tout le quartier. L'idée d'une station "organique", présentant des éléments de végétation (toiture, murs végétaux, formes organiques), vient à la fois du contexte existant (végétation dense, parc à proximité), mais aussi du souhait de donner un caractère très végétal à la première pierre de l'édifice : en espérant qu'ainsi les futurs développements suivent à leur tour cette direction donnée.

Cette expression organique s'exprime particulièrement dans la conception des édicules de surface (entrées). Les poteaux, en forme d'arbre, supportent

une toiture végétalisée à géométrie organique (origami), proposant des facettes multiples qui semblent pousser du sol pour accommoder ainsi l'entrée de la station (figures 5 et 6).

STATION CC31

La station CC31 est située sous l'ancienne gare de Tanjong Pagar (KPM Station), à proximité d'une zone résidentielle. Le caractère historique unique de ce quartier repose sur cette gare de 1920, aujourd'hui inutilisée mais qui va profiter du renouveau urbain du quartier. En effet la nouvelle station de MRT est susceptible de reconnecter les activités du quartier existant avec ce site patrimonial important actuellement fermé au public, et de ramener de la vie dans une zone d'activité autrefois liée au fonctionnement de la gare.

Lors de l'étape de conception préliminaire, l'agence d'urbanisme URA a exprimé le souhait d'un réaménagement ambitieux intégrant la gare existante. URA a également demandé que la station CC31 inclue 2 niveaux de commerce (B1 et B2) au-dessus du niveau billettique de la station. Cette

13- CC32 Vue depuis le quai central.

13- CC32 View from the central platform.

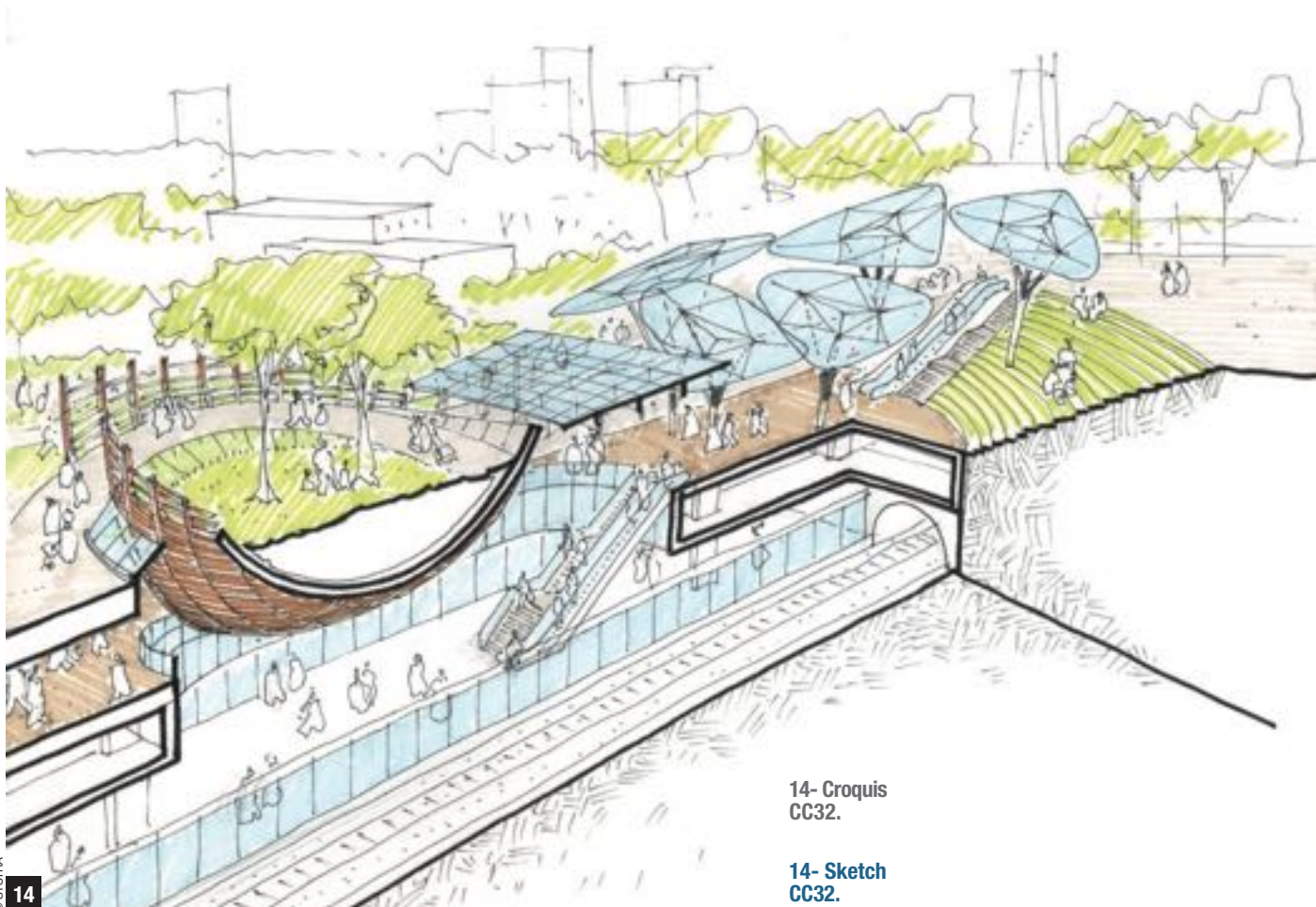
zone de commerce reliera directement la station à la gare existante.

La zone de chalandise de 400 m autour de la station met en évidence la séparation en deux du site par le viaduc de l'autoroute urbaine de Keppel Road. Obstruction physique et visuelle, elle sépare la zone portuaire de la ville résidentielle plus au sud. La nouvelle station permettra de relier ces deux quartiers aujourd'hui autonomes. Élément central du développement du quartier, la station va aussi revitaliser le contexte historique de la gare KTM (figure 7). Mémoire patrimoniale : depuis le démarrage du projet, il a été posé comme obligation d'éviter une architecture en rupture ou en concurrence

avec l'ancienne gare KTM, mais plutôt de respecter la nature patrimoniale du site en magnifiant la gare existante. Un dialogue est donc instauré entre la future station et la gare KTM, en reprenant dans le langage de la station des éléments forts de la gare : la grande arche de la gare KTM, couvrant l'ensemble de la zone publique, est reprise au-dessus des quais de la station. De plus, le même matériau, le béton, est utilisé dans une expression cependant plus moderne : un béton blanc à finition soyeuse. L'espace des quais devient ainsi un espace très large, ouvert, offrant une perspective intéressante pour les usagers. La réutilisation des vitraux de la gare KTM, aujourd'hui déposés et stockés, dans la nouvelle station, renforce encore plus le lien direct entre ces deux infrastructures de transport (figures 8, 9, 10).

STATION CC32

Cette station d'interconnexion entre la Circle Line et la ligne Sentosa se situe dans une zone résiduelle, dense et particulièrement complexe en termes d'identité.



14- Croquis
CC32.

14- Sketch
CC32.

En effet, située au cœur d'un quartier d'affaire, cette zone comprend deux sites religieux majeurs à proximité : un temple bouddhiste et une mosquée située environ 100 m au sud de la station.

La station se situe de plus dans le quartier du port Kampor de Singapour, aujourd'hui complètement disparu et très souvent même oublié par les habitants. Cette zone regagnée sur le bord de mer, fut à l'origine du développement de la ville à partir de cet ancien port de pêche. L'agence publique d'aménagement a exprimé le souhait de pouvoir conserver la mémoire du site au travers la nouvelle station.

La zone de chalandise englobe une grande partie du business district de Singapour : de très larges complexes tertiaires, des bâtiments historiques religieux significatifs, mais aussi des stations existantes de métro (Tanjong

Pagar MRT Station, Thomson Line Station sur Maxwell Road). L'entrée principale de la station CC32 doit s'insérer entre les deux édifices religieux, en plus d'une entrée située directement dans la tour Bestway (figure 11).

Le concept proposé pour cette station s'appuie entièrement sur le souhait de raviver la mémoire du site et son passé significatif pour Singapour : le port de Kampor, aujourd'hui disparu au profit d'un territoire regagné sur la mer afin de construire des tours de bureaux, se situe à cet emplacement. Aucune trace physique ne reste aujourd'hui de ce port, ni même de son activité pourtant à l'origine même du développement de la ville (figures 12, 13, 14).

L'architecture de cette station s'inspire donc très librement de cet environnement maritime oublié, par une multitude de références plus ou moins directes. Le choix des matériaux, des couleurs,

le profil des faux plafonds en forme de vague, les volumes de certains éléments directement inspirés de coques de bateau, la très grande paroi courbe du bloc central renfermant les locaux d'exploitants, contribuent à créer un environnement rappelant ces activités maritimes.

CONCLUSION

Dans un contexte de projet difficile, dû aux nombreuses interfaces techniques à gérer entre plusieurs bureaux d'études travaillant en parallèle, à de très nombreuses parties prenantes aux intérêts souvent divergents et au contexte urbain très dense, la conception des trois dernières stations de la Circle Line a été maîtrisée par les bureaux d'architectes dans un réseau de transport connu pour son efficacité et sa modernité. Une mise en place de réunions hebdomadaires pendant

les études, ainsi qu'une production entièrement réalisée sous BIM (Revit) a facilité la gestion des interfaces techniques.

Client exigeant, le LTA reste cependant un client « sachant », qui maîtrise parfaitement tous les aspects du projet : les questions d'insertion urbaine, les exigences techniques, la gestion de flux dans les stations, alimenté par une longue expérience de gestionnaire de réseau.

Le projet final est un succès dans la mesure où les équipes de Systra associé à Rdc, Aecom et Arup, et sous la gouvernance du LTA, ont réussi à bien identifier le rôle de chacun, à intégrer dans le processus de conception les temporalités des différentes études, ainsi qu'à coordonner leur efforts pour un produit final cohérent allant parfois au-delà des exigences du cahier des charges initial (figure 1). □

ABSTRACT

THE LAST THREE STATIONS OF THE SINGAPORE UNDERGROUND RAILWAY

BRUNO SARRET, SYSTRA - NICOLAS FOUCHER, SYSTRA - VALENTINA GASTALDI, SYSTRA

After commissioning of the first sections of the Singapore metro Circle Line in 2009, design of the sixth section started in 2015. This section, 4000 metres long, closes the loop for the line, and includes three stations. The technical work packages are coordinated between the numerous project players, Aecom, Arup and Systra together with local architectural firm RDC. The last three stations are consistent with the general objectives of the Circle Line defined by the client (the Land Transport Authority). By agreement with the client and with the local urban development agencies, the stations were designed according to three separate concepts: Landscape, Heritage and History. □

LAS TRES ÚLTIMAS ESTACIONES DEL METRO SUBTERRÁNEO DE SINGAPUR

BRUNO SARRET, SYSTRA - NICOLAS FOUCHER, SYSTRA - VALENTINA GASTALDI, SYSTRA

Tras la entrada en servicio de los primeros tramos de la línea circular del metro de Singapur en 2009, el diseño del 6º tramo comenzó en 2015. Con una longitud de 4.000 m, este tramo, que contiene el bucle de la línea, está formado por tres estaciones. Los lotes técnicos se han coordinado entre los numerosos actores del proyecto: Aecom, Arup y Systra, asociada esta última al gabinete de arquitectos local Rdc. Las tres últimas estaciones se ajustan a los objetivos generales de la línea circular definidos por el cliente (Land Transport Authority). De acuerdo con el cliente y las autoridades locales de urbanismo, las estaciones se han diseñado sobre la base de tres conceptos: paisaje, patrimonio e historia. □



1

© BACHY SOLETANCHE SINGAPORE

CONSTRUIRE LE MÉTRO DE SINGAPOUR : TERRAINS GAGNÉS SUR LA MER, DENSITÉ URBAINE ET CONGESTION SOUTERRAINE

AUTEURS : PHILIPPE VANCAPEROLLE, DIRECTEUR TECHNIQUE, BACHY SOLETANCHE SINGAPORE - CHRISTIAN SANYAS, RESPONSABLE D'OFFRES PROJETS SPÉCIAUX, BACHY SOLETANCHE SINGAPORE - STÉPHANE CARAYOL, DIRECTEUR GÉNÉRAL, BACHY SOLETANCHE SINGAPORE

L'ESPACE EST PRÉCIEUX À SINGAPOUR, ET L'IDÉE DE CONSTRUIRE UN MÉTRO Y EST AUSSI VIEILLE QUE LE PAYS LUI-MÊME. LA QUESTION SERA FINALEMENT TRANCHÉE PAR LE GOUVERNEMENT EN 1982 APRÈS QUINZE ANS D'ÉTUDES CONTRADICTOIRES. ARRIVÉ À SINGAPOUR À LA MÊME PÉRIODE POUR Y DÉPLOYER SON SAVOIR-FAIRE DANS LES TRAVAUX SOUTERRAINS, BACHY SOLETANCHE PARTICIPE AU DÉVELOPPEMENT ININTERROMPU DU RÉSEAU, EN INTERVENANT AUJOURD'HUI SUR CINQ STATIONS DE LA FUTURE THOMSON-EAST COAST LINE, DANS UN ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL DE PLUS EN PLUS CONTRAINT.

En 1819, la ville moderne de Singapour est fondée et un port franc y est établi. Celui-ci s'impose rapidement comme la principale plateforme d'échanges en Asie du sud-est, et les premières opérations d'assèchement des zones côtières et de récupération de terrain sur la mer sont lancées dès 1822 pour assainir les zones économiques centrales de la ville, puis permettre le développement d'in-

frastructures portuaires plus efficaces et enfin repousser les limites imposées par la faible superficie de l'île. Les terrains récupérés sur la mer représentent aujourd'hui 25 % de la superficie originale de l'île. À terme les projets planifiés porteront cette proportion à 40 %, et ces terrains accueillent aujourd'hui des infrastructures emblématiques de la vie économique singapourienne comme les zones portuaires et indus-

1- Travaux sur la station Orchard, juillet 2015.

1- Work on Orchard Station, July 2015.

trielles de la côte sud-ouest, l'aéroport de Changi ou les trois tours du Marina Bay Sands.

Préoccupation permanente du développement de Singapour, l'optimisation des terrains en surface est également l'argument qui, en 1982, a amené le gouvernement à lancer le développement d'un réseau urbain ferroviaire, enterré en centre-ville, plutôt qu'une solution exclusivement routière qui aurait rapi-

TRACÉ DE LA THOMSON-EAST COAST LINE

Les stations en rouge figurent les interventions de Bachy Soletanche Singapore



© LAND TRANSPORT AUTHORITY

2

dement congestionné les réseaux de l'île. Aujourd'hui les extensions et les créations de lignes de métro de Singapour visent à densifier la couverture du territoire, notamment sur les terrains gagnés sur la mer, d'occupation plus récente. C'est en particulier le cas de la Thomson-East Coast Line, dernière

ligne mise en travaux (voir son tracé en figure 2), qui desservira notamment les rives de Marina Bay et Marina Reservoir (ancienne baie des rivières Singapour, Kallang et Geylang convertie en retenue d'eau douce) et la bande côtière sud-est de l'île, regagnée sur la mer sur une largeur allant jusque 600 m.

Présent en Asie dès les années 30 au Vietnam, Bachy Soletanche s'établit à Singapour dans les années 70 où il est impliqué dans la construction du métro depuis les premières investigations spécifiques au début des années 80. Outre les stations de Gardens by the Bay, Tanjong Rhu et Orchard mentionnées

ci-après et traitées en groupement d'entreprise générale, il réalise actuellement comme entreprise de génie civil spécialisé les parois moulées de la station Upper Thomson et la protection de croisement de tunnels par réalisation d'une voûte parapluie au niveau de la station Shenton Way. La localisation de la station de Gardens by the Bay, sur la rive sud de Marina Reservoir (figure 3) se traduit par une géologie spécifique, où se succèdent de 10 à 25 m de remblai, puis 20 à 25 m d'argiles marines, avant d'atteindre les couches plus profondes d'alluvions anciennes. Dans ce terrain, Nishimatsu Construction et Bachy Soletanche Singapore réalisent en entreprise générale la station longue de 280 m représentant 41 000 m² de paroi moulée, le tunnel bi-tube de 680 m dont 350 sous Marina Reservoir et le puits de sortie du tunnelier (figure 5). Ce terrain a pour principaux défauts, d'une part, que les argiles marines ne sont pas consolidées et présentent des zones de resserrement important autour de 20 m de profondeur et, d'autre part, des sur-pressions interstitielles équivalentes à une colonne d'eau culminant à 5 à 10 m au-dessus du terrain naturel. De plus, malgré les explorations de sol préalables à la conception et l'expérience des travaux dans la zone (figure 4, Bachy Soletanche Singapore a réalisé en 2007 les fondations du Marina Bay Sands à l'arrière-plan), ▷

2- Tracé de la Thomson-East Coast Line - les stations en rouge figurent les interventions de Bachy Soletanche Singapore.

3- Extrait de la carte géologique de Singapour autour du Marina - les terrains gagnés sur la mer sont figurés en blanc.

2- Alignment of the Thomson-East Coast Line - the stations in red indicate work performed by Bachy Soletanche Singapore.

3- Excerpt from the geological map of Singapore around the Marina - the reclaimed land is shown in white.

EXTRAIT DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DE SINGAPOUR AUTOUR DU MARINA

Les terrains regagnés sur la mer sont figurés en blanc



© DEFENCE SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY

3


4

© BACHY SOLETANCHE SINGAPORE

ces caractéristiques restent très variables sur l'étendue du projet.

Également, le bon déroulement des excavations reste aléatoire et requiert la définition et la mise en œuvre de mesures préventives et correctives à effet immédiat (excluant la mise en œuvre d'une surcharge ou d'un rabattement), variables selon la criticité de la situation rencontrée dans chaque zone, voire pour chaque panneau.

Ces mesures préventives sont de différentes natures et portent tout d'abord sur les conditions de réalisation des excavations : de manière à maximiser la pression de travail dans les tranchées, les plateformes de travail sont surélevées de 1 m par rapport au terrain naturel, la hauteur des murettes-guides est augmentée jusqu'à 900 mm au-dessus des plateformes et, enfin, la densité des boues bentonitiques est légèrement accrue. Ces mesures portent également sur le mode constructif des ouvrages et incluent la diminution de la dimension des panneaux de 6 m à 3,4 m pour les plus longs.

Les mesures préventives de réalisation portent également sur les travaux préalables à l'excavation : pour 20% des 246 panneaux, outre la mise en place de puits de décompression visant à diminuer la pression interstitielle, l'excavation de la paroi moulée est précédée d'une campagne d'amélioration de sol sur deux à trois rideaux de colonnes de sol mixing et/ou de jet grouting de part et d'autre de la paroi, voire, dans les zones les plus défavorables, la réalisation d'une tranchée au coulis sur une et parfois deux faces de la paroi. Sur les ouvrages les plus sensibles, un risque de resserrement jugé trop important peut amener à revoir la nature elle-même des ouvrages, en réalisant les


5

© BACHY SOLETANCHE SINGAPORE

GARDENS BY THE BAY STATION TE22 (CONTRAT T228)

LOCALISATION : <http://tinyurl.com/TE22-GardensByTheBay>

TRAVAUX : Fondations, génie civil et finitions de la station et de ses trois accès ; percement du tunnel bi-tube vers la station en aval ; puits de sortie du tunnelier

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Land Transport Authority

MAÎTRE D'ŒUVRE DE CONCEPTION : Arup Singapore

MAÎTRE D'ŒUVRE DE SUPERVISION : Tritech Engineering & Testing

ENTREPRISE GÉNÉRALE : groupement Nishimatsu Construction / Bachy Soletanche Singapore

DURÉE PRÉVISIONNELLE : juillet 2014 - décembre 2020

(fin des structures principales en septembre 2018)

CONDITIONS DE SOL : 10 à 25 m de remblais, puis 20 à 25 m d'argiles marines, puis alluvions anciennes

PRINCIPALES QUANTITÉS

PAROIS MOULÉES : 41 000 m², excavés à la benne hydraulique

PIEUX FORÉS : 310 u, profondeur max. 95 m

AMÉLIORATION DE SOL : 120 000 m³

TUNNELS : 2 x 680 m (dont 2 x 350 m sous Marina Reservoir)

parois de soutènement en pieux forés sécants plutôt qu'en paroi moulée. Les ouvrages d'accès à la station sont, quant à eux, réalisés en utilisant des soutènements provisoires par palplanches renforcées par l'assemblage avec une membrure en « I », réalisé sur chantier (figure 6).

L'utilisation des palplanches ainsi renforcées permet d'augmenter sensiblement l'inertie de l'ouvrage de soutènement, autorisant des excavations plus profondes, tout en conservant la souplesse de mise en œuvre, d'extraction et de réemploi des palplanches du commerce.

4- Travaux sur la station Gardens by the Bay, en arrière-plan les tours du Central Business District, le Marina Bay Sands et les supertrees du parc de Gardens by the Bay, avril 2015.

5- Implantation de la station Gardens by the Bay.

4- Work on Gardens by the Bay Station, in the background the towers of the Central Business District, Marina Bay Sands and the supertrees of Gardens by the Bay park, April 2015.

5- Location of Gardens by the Bay Station.

Au moment où les ouvrages de soutènement et de fondation de la station Gardens by the Bay se terminent, ils commencent de l'autre cote du Marina Reservoir sur la station Tanjong Rhu (figure 3) où Bachy Soletanche Singapore et Wai Fong Construction réalisent en entreprise générale, avec des conditions géologiques comparables, la station d'une longueur de 190 m, et 770 m de tunnel en tranchée couverte, qui croisera par le dessus l'autoroute enterrée Kallang-Paya Lebar Expressway (KPE) (figure 8). Si la station Gardens by the Bay se situe dans une zone encore peu bâtie, la station Tanjong Rhu se construit dans un quartier résidentiel (figure 7), où le prix moyen des transactions immobilières des trois dernières années s'élève à 13 400 S\$/m² (environ 8 800 €/m²) pour un total de 30 000 m² échangés. Cette localisation impose le phasage précis des travaux afin de maintenir l'innervation (accès, réseaux d'eaux, d'énergie et de communication) des bâtiments existants et du chantier malgré les conflits de ces réseaux et accès avec les ouvrages à réaliser.

La simplicité et la fluidité de ce phasage, ainsi que la qualité de l'information qu'en auront les riverains, participent à la minimisation des nuisances à ceux-ci. Cette minimisation passe également par la mise en œuvre de modes constructifs adaptés, comme la construction en top & down du tunnel en tranchée couverte, et la prise de précautions permanentes

6- Assemblage des palplanches à inertie renforcée sur le chantier de la station Gardens by the Bay, mai 2015.

6- Assembly of high-inertia sheet piling on the site of Gardens by the Bay Station, May 2015.

traquées par des agences nationales comme le Land Transport Authority (LTA) et le National Environment Agency (NEA) concernant la propreté des véhicules quittant le chantier, les nuisances sonores ou encore les rétentions d'eau stagnante (sites potentiels de reproduction de moustiques vecteurs de maladies tropicales).

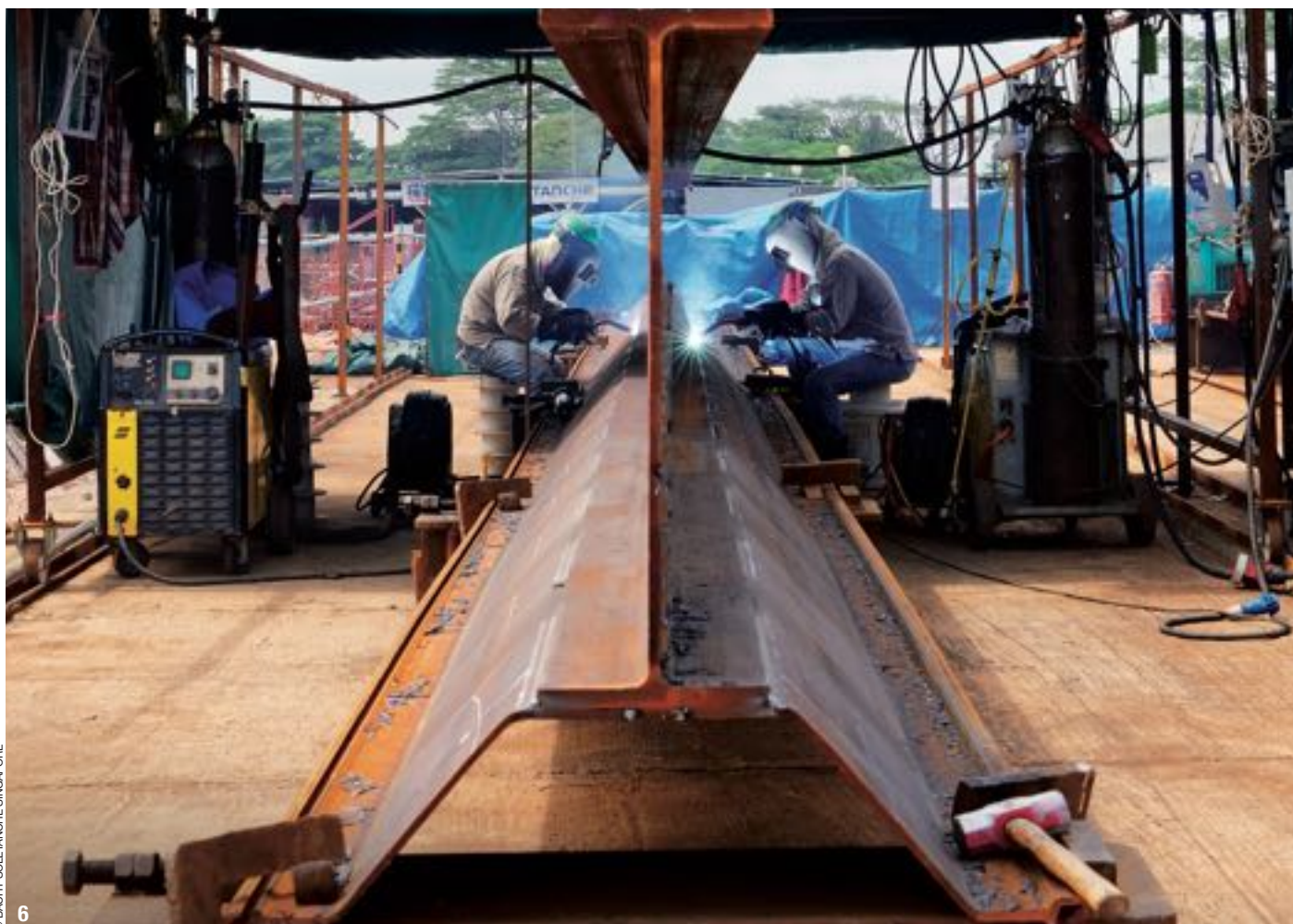
Si la station de Tanjong Rhu peut s'appuyer sur le retour d'expérience de Gardens by the Bay sur les aspects techniques des travaux souterrains en raison de la similarité des sols rencontrés, la station Orchard en constitue une référence naturelle en cours concernant l'intégration dans son environnement urbain.

En effet, réalisée en entreprise générale par Penta Ocean Construction et Bachy Soletanche Singapore, celle-ci vient assurer la correspondance entre la Thomson-East Coast Line et la North-South Line et la desserte par la Thomson-East Coast Line d'un des principaux centres de commerces, de bureaux et de logements de haut de gamme de la ville (figures 1, 9 & 10) avec des prix

à la vente de 28 900 S\$/m² (environ 18 900 €/m²) dans les immeubles résidentiels avoisinants sur les trois dernières années, pour un total de 23 000 m² échangés. En revanche, sur cette implantation plus à l'intérieur de l'île, la géologie est totalement différente de celle des terrains regagnés. Elle est constituée de granites de moins en moins altérés, jusqu'à atteindre les couches saines à environ 35 m sous le terrain naturel.

Les contraintes de conception et d'exécution, liées au terrain, à l'environnement du projet et à la préexistence d'une autre ligne à connecter, sont donc ici très concentrées, et s'appliquent à tous les ouvrages distincts qui forment le projet :

- La nouvelle station proprement dite, de dimensions 210(L) x 40(P) x 35(H) m ;
- La tranchée couverte vers la station Great World, de 250 m de longueur ;
- Les deux tunnels jusqu'à la station Orchard Boulevard, de 840 m de longueur et 6,6 m de diamètre extérieur ;



© BACHY SOLETANCHE SINGAPORE

6



7

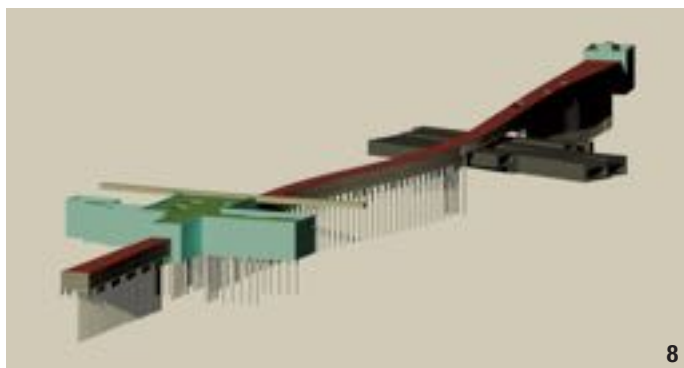
© BACHY SOLETANCHE SINGAPORE

- Les accès à la nouvelle station et l'amorce d'une future traversée piétonne sous Orchard Boulevard ;
- La plateforme d'échange avec la station sur la North-South Line, de dimensions 91(L) x 14(P) x 7(H) m ;
- La galerie de connexion entre cette plateforme et la nouvelle station, de dimensions 41(L) x 15(P) x 9(H) m.

Les soutènements et les fondations de la station et de la tranchée couverte aval sont constituées sans surprise de parois moulées, de barrettes et de pieux forés, réalisés selon une conception fournie par le client. La perméabilité des roches altérées impose un traitement du sol par injections, préalablement aux excavations pour les structures.

Les ouvrages annexes comme les trois nouveaux accès ont leur plancher le plus bas à 11 m sous le terrain naturel. Situés en grande partie sous les cinq voies d'Orchard Boulevard, ils sont excavés puis réalisés en trois étapes successives nécessitant autant de coupures partielles d'Orchard Boulevard derrière un soutènement provisoire par un rideau de palplanches éventuellement renforcées côté fouille, selon une conception et un phasage mis au point par Penta Ocean Construction, Bachy Soletanche Singapore et leur bureau d'études Mott MacDonald Singapore. Les deux tunnels amont, de diamètre 6,6 m en extérieur et 5,8 m en intérieur, constituent l'intégralité de la liaison avec la station Orchard Boulevard, soit environ 840 m.

Les deux tubes sont percés avec le même tunnelier à pression de boue,



8

© BACHY SOLETANCHE SINGAPORE

TANJONG RHU STATION TE23 (CONTRAT T303)

LOCALISATION : <http://tinyurl.com/TE23-TanjongRhu>

TRAVAUX : Fondations, génie civil et finitions de la station et de ses deux accès ; tranchée couverte vers la station en aval, croisant une auto-route enterrée ; tranchée couverte vers les stations en amont et en aval ; fondations et génie civil d'un poste de distribution électrique

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Land Transport Authority

MAÎTRE D'ŒUVRE DE CONCEPTION : Mott MacDonald Singapore

MAÎTRE D'ŒUVRE DE SUPERVISION : GWC Consulting

ENTREPRISE GÉNÉRALE : groupement Bachy Soletanche Singapore / Wai Fong Construction

DURÉE PRÉVISIONNELLE : janvier 2016 - février 2023
(fin des structures principales en juin 2020)

CONDITIONS DE SOL : 5 à 10 m de remblai, puis 30 à 35 m d'argiles marines, puis alluvions anciennes

PRINCIPALES QUANTITÉS

PAROIS MOULÉES, REFENDS MOULÉS ET BARRETTES : 105 000 m², d'épaisseur 800 à 1 200 mm, excavés à la benne hydraulique

PIEUX FORÉS : 220 u, profondeur max. 75 m

AMÉLIORATION DE SOL : 80 000 m³

7- Lancement des travaux de la station Tanjong Rhu, août 2016.

8- Structures de la station Tanjong Rhu.

7- Start of work for Tanjong Rhu Station, August 2016.

8- Structures of Tanjong Rhu Station.

baptisé Theia en août 2016 (figure 11). Theia est lancé depuis un puits dans la station Orchard, perce le premier tube jusqu'à atteindre la paroi moulée de la station Orchard Boulevard sans la traverser, puis remonte le tunnel pour être reconditionné à la station Orchard avec une nouvelle jupe de tête pour percer le deuxième tube, avant que soient réalisés en dernier lieu les ouvrages singuliers de liaison transversale et de puisage en point bas.

Theia a été conçu et réalisé par le constructeur Herrenknecht.

Il est piloté par Bessac, filiale du groupe Soletanche Bachy, concepteur-constructeur de micro-tunneliers et opérateur de tunneliers de tous diamètres.

Bessac intervient également sur la station Orchard sur la réalisation de la galerie de connexion entre les sta-

9- Travaux en 1984 sur la station Orchard sur la North-South Line - le chantier actuel de la station Orchard sur la Thomson-East Coast Line occupe la butte boisée au deuxième plan.

10- Vue en 2007 sur Orchard Road, Paterson Road et Orchard Boulevard pendant la construction des fondations du ION Tower, 2007, avec l'implantation de la nouvelle station Orchard sur le Thomson-Esat Coast Line.

11- Descente de la jupe de tête du tunnelier Theia sur la station Orchard, mai 2016.

9- Work in 1984 on Orchard Station on the North-South Line - the current site of Orchard Station on the Thomson-East Coast Line is on the small wooded hill in the background.

10- View in 2007 of Orchard Road, Paterson Road and Orchard Boulevard during construction of the foundations of the ION Tower, 2007, with the location of the new Orchard Station on the Thomson-East Coast Line.

11- Lowering the head skirt of the Theia TBM at Orchard Station, May 2016.



© BACHY SOLETANCHE SINGAPORE

ORCHARD STATION (THOMSON EAST COAST LINE) TE14 (CONTRAT T219)

LOCALISATION : <http://tinyurl.com/TE14-Orchard>

TRAVAUX : Fondations, génie civil et finitions de la nouvelle station, de ses trois accès et de la connexion avec la station existante ; percement du tunnel bi-tube vers la station en amont ; tranchée couverte vers la station en aval

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Land Transport Authority

MAÎTRE D'ŒUVRE DE CONCEPTION : Aecom Singapore

MAÎTRE D'ŒUVRE DE SUPERVISION : Ecas-EJ Consultants

ENTREPRISE GÉNÉRALE : groupement Penta Ocean Construction / Bachy Soletanche Singapore

DURÉE PRÉVISIONNELLE : août 2014 - décembre 2020 (fin des structures principales en juin 2018)

CONDITIONS DE SOLS : 0 à 5 m de remblais, puis 30 à 40 m de granit altéré à très altéré, puis granit peu à pas altéré

PRINCIPALES QUANTITÉS

PAROIS MOULÉES, REFENDS MOULÉS ET BARRETTES : 100 000 m² (60 000 m² pour la station, 40 000 m² pour la tranchée couverte), d'épaisseur 800 à 1 200 mm, excavés à la benne hydraulique et à la fraise hydraulique

PIEUX FORÉS : 7 100 m, de diamètre 600 à 1 500 mm

MICRO-PIEUX : 4 600 m, de diamètre 250 à 500 mm

AMÉLIORATION DE SOL : 33 000 m³

TUNNELS : 2 x 840 m, diamètre extérieur 6,6 m

EXCAVATION MINÉE SOUS LA STATION EXISTANTE : 8 500 m³

tions sur Thomson-East Coast Line et North-South Line, réalisée 27 m sous le terrain naturel en traversée d'Orchard Boulevard dont le trafic ne peut pas être interrompu ni dévié.

Compte tenu de ces contraintes, la solution mise au point par Bachy Soletanche Singapore, Bessac et Mott MacDonald Singapore est de réaliser une voûte parapluie en perçant et tubant 27 tubes métalliques de 1 270 mm de diamètre à l'aide d'un micro-tunnelier conçu, fourni et opéré par Bessac, lancé depuis un puits situé côté Thomson-East Coast Line, puis rétracté à travers le forage réalisé, avant de procéder au passage suivant. Le volume ainsi protégé peut alors être excavé de manière traditionnelle, avec mise en place du soutènement à l'avancement, avant la réalisation du génie civil définitif de l'ouvrage.

Une fois excavée, la galerie sert également de voie d'amenée et repli pour l'excavation de la plateforme de correspondance sous le radier des voies de la North-South Line, à travers les fondations profondes de ce radier et du bâtiment en surplomb. Cette implantation originale est imposée, d'une part, par l'infaisabilité économique de neutraliser certaines surfaces commerciales qui jouxtent et/ou surplombent la station existante et, d'autre part, par la volonté de créer une zone tarifée unique pour les stations des deux lignes, sans interruption par ces mêmes espaces commerciaux.

La conception des fondations de la station existante et des bâtiments en surplomb n'intègre pas la possibilité de travaux ultérieurs sous œuvre.

Les transferts de charge et les déformations qui en résultent doivent donc être anticipés et limités pour garantir l'intégrité et le drainage des structures existantes, permettre le maintien en fonctionnement du métro existant et des commerces attenants. ▶



© BACHY SOLETANCHE SINGAPORE





Ces contraintes imposent la mise au point par Bachy Soletanche Singapore et Mott McDonald Singapore d'un ordonnancement très précis des tâches à réaliser pour l'excavation de la plateforme :

- 1- Stabilisation du front et du côté d'excavation par des clous en fibre de verre (pour un linéaire total de 10 km de clous sur l'ensemble de l'excavation) ;
- 2- Excavation par passes réduites (de l'ordre de grandeur du mètre) de la partie haute de la plateforme ;
- 3- Sous-étalement à l'avancement, y compris les fondations nécessaires

pour un total d'environ 160 micro-pieux (figure 12) ;

- 4- Excavation de la partie basse de la plateforme ;
- 5- Réalisation des structures finales ;
- 6- Destruction des anciennes fondations profondes mises à nues et en conflit avec la plateforme ;
- 7- Percement du radier existant pour réaliser les circulations et innervations verticales de la plateforme de transit.

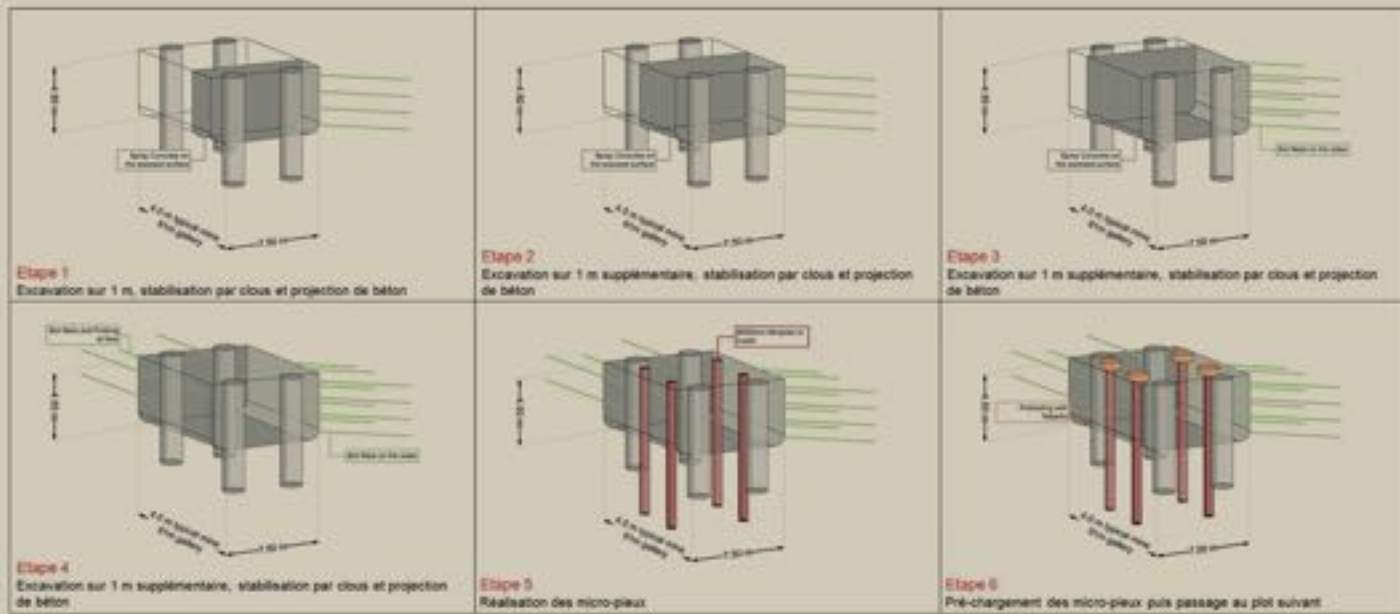
Singapour, souvent prise en référence pour son développement urbain, envisage à nouveau la mise en valeur de son sous-sol, pour pallier l'absence de terrains en surface dans un milieu déjà

12- Phasage de l'excavation de la partie haute de la plateforme de liaison North-South Line-Thompson-East Coast Line à la station Orchard.

12- Work sequencing for excavation of the top part of the North-South Line/Thompson-East Coast Line connecting platform at Orchard Station.

congestionnés. Cette mise en valeur se traduit par des projets dont l'exemple des stations Orchard, Gardens by the Bay et Tanjong Rhu démontre la complexité et la diversité des situations rencontrées, imposant aujourd'hui aux concepteurs et aux constructeurs de travailler de manière intégrée pour proposer les solutions techniquement et économiquement les plus efficaces, dans un foisonnement d'idées à l'échelle mondiale passant par la maîtrise de procédés pointus et spécifiques, et par la compréhension et la satisfaction de contraintes de plus en plus nombreuses et variées. □

PHASAGE DE L'EXCAVATION DE LA PARTIE HAUTE DE LA PLATEFORME DE LIAISON NORTH-SOUTH LINE-THOMPSON-EAST COAST LINE À LA STATION ORCHARD



ABSTRACT

BUILDING THE SINGAPOUR METRO: RECLAIMED LANDS, URBAN DENSITY AND UNDERGROUND CONGESTION

PHILIPPE VANCAPERNOLE, BACHY SOLETANCHE SINGAPORE - CHRISTIAN SANYAS, BACHY SOLETANCHE SINGAPORE - STÉPHANE CARAYOL, BACHY SOLETANCHE SINGAPORE

Bachy Soletanche is currently building five stations for the future Thompson-East Coast Line of the Singapore metro, including three as a member of the main consortium. These complex structures combine all the constraints of construction on the island, partly due to the nature of the ground, a large part of which was reclaimed, and partly due to working in a dense urban environment on the surface, but also increasingly underground. This context means that the contractor and its partners are adopting increasingly sophisticated and integrated solutions in order to meet project demands. □

CONSTRUIR EL METRO DE SINGAPUR: TERRENOS GANADOS AL MAR, DENSIDAD URBANA Y CONGESTIÓN SUBTERRÁNEA

PHILIPPE VANCAPERNOLE, BACHY SOLETANCHE SINGAPORE - CHRISTIAN SANYAS, BACHY SOLETANCHE SINGAPORE - STÉPHANE CARAYOL, BACHY SOLETANCHE SINGAPORE

Actualmente, Bachy Soletanche está construyendo cinco estaciones de la futura línea Thompson-East Coast del metro de Singapur, tres de ellas en tanto que miembro del consorcio general de empresas. Estas complejas obras topan con las limitaciones que supone construir en una isla: por una parte, la naturaleza del suelo, una parte importante del cual se ha ganado al mar; por otra, el trabajo en un medio urbano denso en la superficie, pero también, y cada vez más, a nivel subterráneo. Tal contexto ha obligado a la empresa y a sus socios a adoptar soluciones cada vez más avanzadas e integradas para responder a las exigencias de los proyectos. □



**PRO BTP,
LE MEILLEUR DE LA
PROTECTION SOCIALE**

SANTÉ
PRÉVOYANCE
RETRAITE
ÉPARGNE
ASSURANCES
ACTION SOCIALE
VACANCES

PRO BTP
GROUPE



PRÉSERVONS L'AVENIR



Réalisation d'un remblai renforcé à parement minéral ZAC de la Courrouze.

Maccaferri apporte son expérience et sa capacité d'innovation dans l'aménagement d'ouvrages de soutènement de haute technicité. Ses solutions sont pensées pour protéger les populations et les infrastructures autour d'une double préoccupation : s'intégrer au cadre naturel et réduire l'impact carbone du site. Une réponse adaptée à la dimension financière et écologique de chaque projet.

Rennes, Ile-et-Vilaine
Terramesh® system - 2 400 m²

MACCAFERRI

www.maccaferri.com/fr