

# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**SPECIAL GARES ET STATIONS.** GRAND PARIS EXPRESS LIGNE 15 SUD - GARE DE NOISY-CHAMPS. POLE D'ECHANGES MULTIMODAL DE LA GARE DE NANTES. PASSERELLE DU POLE D'ECHANGE MULTIMODAL DE CHAMBERY. STATION DE METRO BAGNEUX - LUCIE-AUBRAC. GARE VILLEJUIF-INSTITUT-GUSTAVE-ROUSSY. GARE D'ARCUEIL-CACHAN - LIGNE 15 SUD. L14 SUD GC01 - LA GARE DE MAISON-BLANCHE. TRESORS DE NOS ARCHIVES : LES ABRIS EN DOUBLE AUVENT DES QUAIS DE LA GARE D'AMIENS

N° 949 MARS 2019



GARE DE MASSY-  
PALAISEAU  
© SGP- RICHEZ ASSOCIÉS

**LES TRAVAUX  
PUBLICS**  
FÉDÉRATION  
NATIONALE

# INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE

## NOS DOMAINES D'INTERVENTION

- Bâtiments, Industrie, Commerce
- Énergie Production, Transport
- Génie Civil, bassins, stations d'épuration
- Infrastructures, tracés linéaires, ouvrages d'art, tunnels, gazoducs
- Ouvrages portuaires



## NOS MISSIONS

- De l'étude de faisabilité (G1) à l'étude de conception (G2 phase AVP, PRO et ACT)
- De l'étude d'exécution (G3) au suivi de chantier (G3 pour l'entreprise, G4 pour le Maître d'Ouvrage)

**Directeur de la publication**  
Bruno Cavagné

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

**Comité de rédaction**  
Erica Calatozzo (Systra), Jean-Bernard  
Datry (Setec tpi), Philippe Gotteland  
(Fnfp), Jean-Christophe Goux-Reverchon  
(Fnfp), Florent Imberty (Razel-Bec),  
Nicolas Law de Lauriston (Léon Grosse),  
Claude Le Quéré (Egis), Véronique  
Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau  
(Soletanche Bachy), Jacques Robert  
(Arcadis), Claude Servant (Eiffage tp),  
Philippe Vion (Vinci Construction Grands  
Projets), Nastaran Vivian (Artelia),  
Michel Morgenthaler (Fnfp)

**Ont collaboré à ce numéro**  
**Rédaction**  
Monique Trancart (actualités),  
Marc Montagnon

**Service Abonnement et Vente**  
**Com et Com**  
**Service Abonnement TRAVAUX**  
Bât. Copernic - 20 av. 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

**Directeur de clientèle**  
Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04  
b.cosson@rive-media.fr

**Site internet : www.revue-travaux.com**

**Édition déléguée**  
**Com'1 évidence**  
2, chemin dit du Pressoir  
Le Plessis  
28350 Dampierre-sur-Avre  
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52  
revuetravaux@com1evidence.com

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

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

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

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

## APPORTER À CHACUN LA LIBERTÉ DE SE DÉPLACER FACILEMENT EN PRÉSERVANT LA PLANÈTE



© DR

**A**pporter à chacun la liberté de se déplacer facilement en préservant la planète : c'est la raison d'être de SNCF.

En Île-de-France, cela s'incarne tout particulièrement dans la construction du projet Éole.

Éole, prolongement du RER E vers l'ouest, est un projet majeur de transformation des mobilités entre l'est et l'ouest de l'Île-de-France qui représentent aujourd'hui le plus gros flux de transport quotidien dans la région et sur lequel on a mesuré au cours des dix dernières années un taux de croissance annuel compris entre 5 et 10%. Éole achève l'actuel RER E qui depuis 1999 accueille chaque jour 370 000 voyageurs.

Dès 2022, une première partie d'Éole sera mise en service jusqu'à Nanterre : 8 kilomètres de voie et 3 gares nouvelles compléteront cette ligne. Ils permettront une première révolution de l'offre sur cet axe est-ouest en créant une alternative performante au RER A avec un très haut niveau de service grâce notamment aux trains de nouvelle génération roulant jusqu'à 120 km/h.

En 2024, la mise en service complète du projet jusqu'à Mantes-la-Jolie offrira aux voyageurs de la vallée de la Seine un nouveau service direct et performant vers Paris et la Défense et l'ensemble du réseau de transport du cœur de la Métropole parisienne.

À cet horizon, près de 700 000 voyageurs emprunteront quotidiennement la nouvelle Ligne E. Ils bénéficieront d'un très haut niveau de performance en particulier grâce au nouveau système d'exploitation

et de signalisation dans la section centrale du projet (Nanterre-Rosa Parks), NExTEO, première application du train autonome by SNCF, qui permettra de faire circuler plus de trains, plus vite et de manière plus rapprochée.

Pour réussir cette révolution, le premier challenge est de construire les ouvrages qui permettront d'offrir ce nouveau service : 8 km de tunnel, 3 gares nouvelles dont 2 souterraines, 47 km de voie ferrée complètement renouvelés et modernisés.

Citons 3 défis majeurs. Tout d'abord, la Gare de la Défense construite en sous-œuvre sous le Cnit ou comment construire une gare cathédrale qui va supporter par ses piliers les 55 000 tonnes des bâtiments construits sous la voûte du Cnit sans en perturber l'utilisation (hôtel, bureaux, commerces). Ensuite, la gare de la Porte Maillot, qui vient combler le dernier vide dans le sous-sol de cet espace parisien et qui montre la capacité à optimiser l'utilisation du sous-sol sans venir perturber les usages environnants, notamment la Ligne 1 du métro. Avec sa verrière de 120 mètres de long, c'est la lumière naturelle qui accueillera le voyageur sur le quai alors même qu'il se trouve plus de 30 mètres sous terre ! Enfin, le viaduc de Bezons qui vient connecter cette nouvelle infrastructure à la ligne existante Paris-Mantes-le-Havre qui allie technicité et adaptation à la construction d'ouvrage important à proximité immédiate de voies ferrées circulées.

Je citerai un 4<sup>e</sup> défi pour conclure : faire de ce chantier un exploit en termes de Respect de la planète. Respect, en limitant son empreinte sur l'environnement, en protégeant le cadre de vie de ceux qui vivent autour par la pose de hangars acoustiques ou par le recours à la voie fluviale ou au fret ferroviaire mais c'est aussi un engagement sociétal fort avec une politique de l'emploi ambitieuse au service de ceux qui n'arrivent pas à trouver du travail. Voilà quelques exemples de ce que les équipes SNCF Réseau d'Éole et tous nos partenaires ont la fierté de mettre en œuvre sur le projet Éole. C'est notre engagement !

**XAVIER GRUZ**  
DIRECTEUR DU PROJET ÉOLE-NEXTEO

# SPÉCIAL GARES & STATIONS



BRY-VILLIERS-CHAMPIGNY © SGP-RICHEZ ASSOCIÉS



04 ALBUM

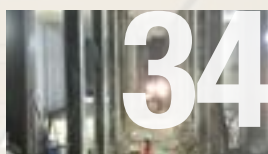
08 ACTUALITÉ



20

**ENTRETIEN AVEC THOMAS RICHEZ**  
DES ESPACES DE DÉPLACEMENT PENSÉS DU POINT DE VUE DU VOYAGEUR

26 GEOMINES - GÉRER LA POLLUTION PYROTECHNIQUE, À TERRE ET EN MER



34

**GRAND PARIS EXPRESS LIGNE 15 SUD**  
Parois moulées et poteaux profondés sur l'arrière gare de Noisy-Champs



40

**LE PÔLE D'ÉCHANGES MULTIMODAL**  
de la gare de Nantes



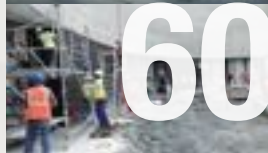
46

**PASSERELLE DU PÔLE D'ÉCHANGE MULTIMODAL**  
de Chambéry



53

**STATION DE MÉTRO BAGNEUX - LUCIE-AUBRAC**  
Le concept architectural à l'épreuve du métro



60

**GARE IGR**  
Un méga puits pour une gare double



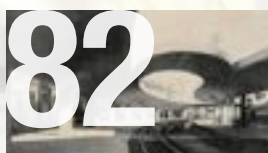
66

**GARE D'ARCUEIL-CACHAN**  
Un puits de départ du tunnelier au cœur de la Ligne 15 Sud



72

**L14 SUD GC01 - GARE DE MAISON-BLANCHE**  
Management des risques



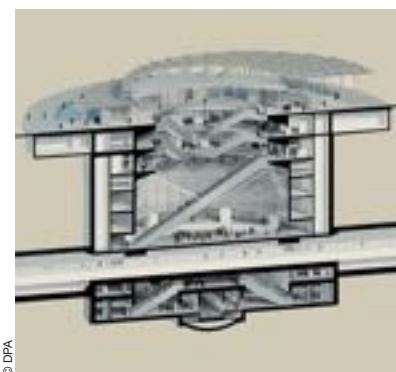
82

**TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LES ABRIS EN DOUBLE AUVENT DES QUAIS À VOYAGEURS DE LA GARE D'AMIENS**  
Numéro 48 - décembre 1936



## VILLEJUIF-INSTITUT-GUSTAVE-ROUSSY UNE GARE DOUBLE DANS UN MÉGA PUITS CIRCULAIRE SOYONS FOUS

**SETEC** (mandataire) et Ingerop, MOE en groupement, et Dominique Perrault Architecture ont imaginé de loger deux gares dans un puits circulaire de 63 m de diamètre. À Villejuif-Institut-Gustave-Roussy se croisent perpendiculairement la Ligne 15 Sud, en bas, et la Ligne 14, au-dessus. Comme les quais ont des longueurs de 110 m et 122 m supérieures au diamètre, ont été prévues des extensions radiales en tunnels traditionnels voûtés. Cette gare atypique est construite par le groupement Cap constitué de Vinci Construction et Spie Batignolles. (Voir article page 60).



© DPA

© DAVID DELAPORTE / SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS







**PEM CHAMBÉRY  
DE L'ETHYLÈNE  
TRÉTRAFLUORO-  
ÉTHYLÈNE POUR  
COUVRIR UNE  
DRÔLE  
DE PASSERELLE**

**LÉON GROSSE** associé à B+M Architecture, Ingerop et Viry, a réalisé dans le cadre d'un marché de conception-construction la passerelle et le bâtiment d'échanges (vélostation, bureaux, espaces de co-working) du Pôle d'Échanges Multimodal de Chambéry. La passerelle de 6 m de large se déploie sur 81,50 m au-dessus des voies ferrées. Les appuis sont en béton, l'ossature en acier et le tablier est mixte béton-acier. La couverture est en ETFE (Éthylène Trétrafluoroéthylène) pour la transparence souhaitée par les concepteurs. **(Voir article page 46).**



© B+M ARCHITECTURE

© LÉON GROSSE

## DONNER À LA CHALEUR RENOUVELABLE LA PLACE QU'ELLE MÉRITE

**Le secteur de la chaleur renouvelable - géothermie, récupération de chaleur perdue, bois, solaire thermique, etc. - se mobilise pour que cette source d'énergie prenne la place qui lui revient, compte tenu de son rapport investissement/émissions de carbone évitées.**



© XAVIER TOPALIAN

Four d'incinération d'ordures ménagères chez Trédi Salaise et chaudière de refroidissement sur laquelle la chaleur prélevée est transférée par réseau au GIE Osiris, plateforme chimique voisine.

En 2030, 38 % de la chaleur consommée devra provenir de sources renouvelables : bois, géothermie, capteurs solaires thermiques, récupération sur des process industriels, pompes à chaleur, etc. En 2020, elle doit déjà l'être à 33 %, dit encore la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV). En 2017, nous n'étions qu'à 18,7 % d'un total de 705 300 GWh.

### → La moitié de la consommation d'énergie

« Sans accélération des moyens pour ce secteur, la France ne respectera ni la LTECV ni les engagements européens d'énergies renouvelables et de lutte contre le changement climatique » est-il écrit dans le *Panorama de la chaleur renouvelable et de récupération* (2018).

Les professionnels se mobilisent. Ils ont organisé la 1<sup>re</sup> semaine de la chaleur renouvelable début décembre. « Près de la moitié de la consommation finale d'énergies sert à produire de la chaleur, surtout par des énergies fossiles, » a souligné Nicolas Garnier, délégué général d'Amorce, association créée autour des réseaux de chaleur<sup>(1)</sup>.

« La chaleur renouvelable n'a pas la place qu'elle devrait, estime Pascal Roger, président de la Fédération des services énergie environnement (Fedene). Pourtant, elle a le meilleur rapport investissement sur tonne de carbone évitée. » Les installations de chaleur renouvelable reçoivent moins d'aides que l'éolien et le photovoltaïque, producteurs d'électricité. La Cour des comptes l'a observé ainsi

que le Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD). « Il est préférable de décarboner le moins cher et la chaleur renouvelable l'emporte dans le domaine, » affirme Marie-Solange Tissier du CGEDD.

### → Aller plus vers la chaleur, moins vers l'électricité

« Le débat tourne trop autour de l'électricité, déplore Arnaud Leroy, président de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe). Nous devons aller plus vers la chaleur. Avec un fonds chaleur en augmentation, une manne s'ouvre. Nous ciblons davantage qu'avant l'industrie et les entreprises. » Citons le projet de Trédi Salaise. À partir de 2020, son usine d'incinération d'ordures ménagères sur le site d'Inspira<sup>(2)</sup>

fournira, par échange sur la combustion, 600 000 tonnes de vapeur par an, au GIE Osiris, plateforme chimique voisine. Investissement : 2 millions d'euros dont 20-25 % financés par l'Ademe. Son premier récupérateur de chaleur remonte à 1985.

### → On ne décarbone pas avec le gaz

Les réseaux de chaleur sont bien placés pour utiliser parallèlement plusieurs sources thermiques "gratuites".

Certaines sources, par leur niveau de température, sont adaptées au rafraîchissement de locaux l'été à la place de l'électricité dont la performance est 5 à 10 fois moindre, selon l'Ademe.

Ces réseaux que les petites et moyennes collectivités envisagent, se conçoivent à l'échelle d'un territoire afin de capter, à la fois, suffisamment de sources et de clients.

Décarboner ne se fait pas en optant pour le gaz, insiste l'Ademe. « Il faut faire de la pédagogie auprès des bureaux d'études pour qu'ils arrêtent de prescrire du gaz à la place du fioul, » abonde Nicolas Garnier. Tous attendent des taxes carbone et carburant qu'elles aillent en priorité à la transition énergétique.

### → Groupe de travail

Les acteurs du secteur semblent avoir été entendus. Un groupe de travail sur la chaleur et le froid renouvelables a été créé le 12 février par Emmanuelle Wargon, secrétaire d'État auprès du ministre de la Transition écologique et solidaire. ■

<sup>(1)</sup> Amorce (1987) : association carrefour des collectivités territoriales et des professionnels pour une bonne gestion locale des déchets, des réseaux de chaleur et de l'énergie.

<sup>(2)</sup> Zone industrialo-portuaire de Salaise-Sablons (Sère), exemplaire en matière de développement durable. Cf. *Travaux* n°942, juin 2018, page 12.

## À LIRE

- *Panorama de la chaleur renouvelable et de récupération*, Ademe, Cibe, Fedene, Ser, Uniclimate, novembre 2018, 54 pages, [www.uniclimate.fr](http://www.uniclimate.fr), rubrique presse.
- *Les réseaux de chaleur alimentés par des énergies renouvelables et de récupération*, Avis de l'Ademe, décembre 2017.
- *Chiffres-clés 2017 des réseaux de chaleur et de froid*, [www.observeur-des-reseaux.fr](http://www.observeur-des-reseaux.fr), [www.fedene.fr](http://www.fedene.fr).
- *L'élu et les réseaux de chaleur*, juillet 2017, [www.amorce.asso.fr](http://www.amorce.asso.fr).
- *Rénovation solaire thermique*, livret Syndicat des professionnels de l'énergie solaire Enerplan, [www.solaire-collectif.fr](http://www.solaire-collectif.fr).



Dans le secteur de Vannes (Morbihan), trois centres de lavage de voitures Prop'Auto sont alimentés par de l'eau chaude solaire, d'où une économie de gaz de 50 %.

© PROP'AUTO



**Comment  
protéger  
une trémie  
d'escalier ?**

**PréventionBTP**



**En direct**

**Une réponse immédiate** à vos questions sécurité  
et prévention grâce à nos experts OPPBTP



**[preventionbtpdirect.fr](http://preventionbtpdirect.fr)**



**PASSEZ SIMPLEMENT À LA PRÉVENTION**

**OPPBTP**  
La prévention BTP

### RÉSEAUX D'EAU : 2 MILLIARDS À EMPRUNTER

Un prêt à 0,75 % est proposé aux collectivités locales qui veulent améliorer leurs réseaux d'eau et d'assainissement. La Caisse des dépôts et consignations et la Banque des territoires mettent à disposition un total de 2 milliards d'euros.

L'Aqua Prêt peut financer à 100 % des projets de moins de 5 millions et à 50 %, au-dessus. Durée d'emprunt jusqu'à soixante ans.

### INDISPENSABLES ZONES HUMIDES

Les zones humides, et surtout leurs bienfaits, en particulier pour lutter contre le changement climatique, sont méconnues. Sensibiliser la population dont les élus, cartographier leurs emplacements, en faire des zones d'expérimentation des paiements pour services environnementaux, font partie des recommandations du rapport sur la restauration et la valorisation des milieux humides, commandés à Frédérique Tuffnell, députée, et Jérôme Bignon, sénateur, remis en janvier au ministre de la Transition écologique et solidaire.

Les conclusions de "Terres d'eau, terres d'avenir" viennent compléter la concertation dans le cadre des Assises de l'eau.

Voir le rapport : [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr), rubrique À la une.

## LA REPRISE SE CONFIRME DANS LES TRAVAUX PUBLICS



Le numérique contribue aux bonnes performances des travaux publics. Installation d'un réseau par Axione.

« La croissance est plus forte que prévue en 2018, » écrit la Fédération nationale des travaux publics qui la révalue à +7 % à fin 2018 en volume contre +5 %, quelques mois plus tôt.

Le chiffre d'affaires progresse davantage avec +10,5 % à 41 milliards d'euros, à cause du renchérissement des matériaux et des salaires (secteur d'emplois en tension).

Pour 2019, la FNTP table sur un volume en hausse de 3 % par rapport à 2018 et, en valeur, de 5,5 %.

La moitié de la croissance actuelle est attribuable aux travaux du Grand Paris. La Cour des comptes évalue les dépenses de la Société du Grand Paris à 3,51 milliards d'euros (2,47 en 2018). Ce montant progresse en 2020 à 4,5 milliards puis retombe un peu et se stabilise autour de 4 milliards par an, selon la Fédération.

Les travaux pour apporter le très haut débit numérique au plus grand nombre possible d'habitants, contribuent aussi à la fermeté des affaires, jusqu'en 2020-2022 (réseaux d'initiative publique).

### → Encourager les collectivités à expérimenter

L'activité est également soutenue par la régénération des voies de chemin de fer ainsi que par le plan de relance autoroutière avec un second plan prévu (700 millions d'euros).

Les collectivités locales qui constituent 41 % du chiffre d'affaires investissent de nouveau. La période avant les élections municipales de 2020 pourrait favoriser les travaux dans les communes.

Les départements, selon la FNTP, devraient « inverser la tendance en 2019 et accroître leurs dépenses d'investissement. »

La Fédération souhaite que les infrastructures soient présentes dans le "grand débat national". « Nous avons la conviction que les solutions pour rétablir de la cohésion territoriale et pour apporter une partie de la réponse au mouvement des gilets jaunes passeront par l'échelon local et par l'investissement en infrastructures, écrit la FNTP. Pour y parvenir, il faut encourager les collectivités à investir et à expérimenter. »

### → L'État : un client de dernière minute

L'État reste un client incertain. Le budget de l'Agence de financement des infrastructures de transport de France devait croître de 300 millions d'euros pour atteindre 2,7 milliards en 2019 mais ce montant n'était pas encore voté en janvier<sup>(1)</sup>.

Seul bémol à l'optimisme de la FNTP, le mieux de 3 % en réseaux, voirie et divers dans le bâtiment, témoigne de l'inflation des coûts plus que de l'augmentation du volume. ■

### RÉPARTITION DE LA CLIENTÈLE DES TRAVAUX PUBLICS EN 2019

	Poids (CA)	2019/2018 (en valeur)	2019/2018 (en volume)
<b>Collectivités locales</b>	<b>40,8%</b>	<b>+5,0%</b>	<b>+2,5%</b>
dont communes et EPCI	31,3%	+5,6%	+3,1%
dont départements	7,6%	+3%	+0,5%
dont régions	2,0%	+3%	+0,5%
<b>État</b>	<b>3,2%</b>	<b>+7%</b>	<b>+4,5%</b>
<b>Grands opérateurs</b>	<b>21,1%</b>	<b>+12%</b>	<b>+9,5%</b>
<b>Secteur privé</b>	<b>34,9%</b>	<b>+2,0%</b>	<b>-0,5%</b>
<b>Total activité</b>	<b>100%</b>	<b>+5,5%</b>	<b>+3%</b>



Les aigrettes garzettes nichent en zones humides.

© LAURENT MIGNAUX/TERRA

SOURCE: FNTP

<sup>(1)</sup> Cf. Travaux n°948, janvier-février 2019, page 8.

## UN TIERS DES GRANULATS PROVIENT DU RECYCLAGE



Les bandes transporteuses, électriques, limitent la dépendance au carburant. Ici, convoyeur carrossé à Pécycy (Seine-et-Marne) afin d'atténuer l'émission de bruit et de poussières.

Pour la 1<sup>re</sup> fois, l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction (Unicem) affiche la part des recyclés dans la consommation de granulats. Il s'agit, pour le moment, d'ordres de grandeur car les données proviennent de sources différentes et, parfois d'estimations.

« Près d'un tiers des granulats utilisés dans la construction et l'entretien des ouvrages et infrastructures (28,8%) provient du recyclage, écrit-elle. L'objectif européen de recyclage et valorisation (des déchets inertes) de 70% à 2020 est d'ores et déjà atteint avec 70,5% selon le ministère de la Transition écologique et solidaire. »

Sur la base de chiffres 2016 et antérieurs, elle inclut dans la production de granulats de 330 millions de tonnes, 22 millions issues du recyclage de matériaux de démolition et rapportés en carrières, et 4 millions de granulats artificiels à partir de laitiers de hauts-fourneaux, de déchets d'incinération, etc. Pour compléter, elle introduit plus de 44 millions de tonnes de produits sur plates-formes de matériaux et 51,4 millions de tonnes récupérées sur chantier et réemployées sur place.

### → Acheminer les matériaux coûte que coûte

Autre nouveauté dans les informations émanant de l'Unicem : les enquêtes

d'opinion trimestrielles démarrées en 2018. Les industriels étaient plus optimistes en avril qu'en octobre, avant même que le mouvement des gilets jaunes ne surgisse. Celui-ci a quand même perturbé l'activité. Il fallait trouver des solutions pour acheminer les matériaux et certains retards ont pu être pris. Globalement, l'année 2018 aura été moins bonne que prévu pour les granulats et le béton prêt à l'emploi (BPE), les deux principales branches de l'Unicem. Au 1<sup>er</sup> semestre, l'activité a souffert des inondations et des grèves SNCF, et le creux ne s'est pas comblé par la suite. La production de granulats termine l'année à 343 millions de tonnes y compris les recyclés, soit +1,5% sur 2017 au lieu de +3% prévus, et pour le BPE, à 39,8 millions de mètres cubes soit +3% au lieu de 3,5%.

### → Fin du gasoil non routier : envisageable

En 2019, la demande de granulats devrait progresser au même niveau qu'en 2018. Destinée à 80% au génie civil et aux VRD, elle est stimulée par les chantiers du Grand Paris Express dont une partie sort de la phase de creusement, et ceux motivés par l'approche des élections européennes et des municipales (2020), dans toute la France. Les plans fibre et autoroutiers génèrent également des travaux.

Le BPE qui part à 80% dans le bâtiment, va rester stable (+0,5%).

Quant à la fin du gasoil non routier, l'organisation professionnelle estime qu'elle peut s'y préparer d'ici à fin 2020. Une partie du revenu ainsi collecté pourrait aider les industriels à investir dans des machines utilisant moins de carburant fossile : convoyeurs électriques et engins à hydrogène. ■

### ITINÉRAIRES VÉLO SANS RUPTURES

Les projets visant à rendre les itinéraires cyclables continus peuvent entrer dans l'appel "Continuités actives" du ministère de la Transition écologique. Deux dates butoirs pour être candidat : 15 avril et 30 juin.

Les grandes infrastructures de transport font parfois obstacle à la circulation des cyclistes et les découragent. Le fonds national mobilités actives de 300 millions d'euros cible en priorité ce type d'aménagement.

[www.ecologie-solidaire.gouv.fr/velo-et-marche#e0](http://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/velo-et-marche#e0)

### TRANSPORT : LA ROUTE LOIN DEVANT

La route reste le 1<sup>er</sup> moyen de transport, voyageurs et marchandises, selon "Faits et chiffres 2018" de l'Union routière de France (URF). Et ceci à un haut niveau : 86,6% des déplacements voyageurs en 2017, sans grand changement depuis 2008, et 89% pour les marchandises (tonnes x kilomètres), hors véhicules utilitaires légers en augmentation. « Les nouveaux besoins de mobilité vont faire évoluer les infrastructures routières, celles de production et d'alimentation en énergie des véhicules et celles de communication », note l'URF.

<http://www.unionroutiere.fr/publication/consultez-faits-chiffres-2018/>

### STRATÉGIE NATIONALE NUCLÉAIRE

L'État et le Comité stratégique de la filière nucléaire\* ont signé un contrat d'engagements réciproques, fin janvier, pour la période 2019-2022, de façon à répondre à la programmation pluriannuelle de l'énergie.

Le plan comporte six actions : garantir les compétences et l'expertise française ; innover ; promouvoir l'économie circulaire ; définir les réacteurs et outils de demain ; stratégie à l'international ; transformer le tissu industriel.

Les experts du climat recommandent qu'en 2040, 80% de la production électrique soit bas carbone (35% aujourd'hui). D'où le rôle à jouer par le nucléaire. La demande mondiale d'électricité va augmenter de 50%.

\* Un des 18 comités stratégiques du Conseil national de l'industrie (DGE).

## LIGNE 17 GPE : 1<sup>er</sup> LOT GÉNIE CIVIL

Un groupement d'entreprises européennes mené par Demathieu Bard Construction a remporté le 1<sup>er</sup> des trois marchés de génie civil de la ligne 17 du Grand Paris Express (GPE). Cette ligne reliera Saint-Denis-Pleyel (Seine-Saint-Denis) au Mesnil-Amelot au nord de l'aéroport Roissy-Charles-de-Gaulle.

Aux côtés du mandataire : Impresa Pizzarotti, Implemia France, Implemia Suisse et Implemia Spezialtiefbau, Bam Constructors, Galere, Ways & Freytag Ingenieurbau. Ce marché de 439,4 millions d'euros HT comprend le génie civil des gares du Bourget Aéroport et du Triangle de Gonesse, un tunnel de 6 km (tunnelier), une tranchée couverte et une ouverte, et 7 ouvrages annexes.

Mise en service des tronçons prévue en 2024 pour le Bourget, et 2027, pour le Triangle.

## AUTOROUTE PLUS LARGE EN CROATIE

Bina Istra, concessionnaire de l'autoroute d'Istrie, au nord-ouest de la Croatie, a confié à Bouygues Travaux Publics le passage à 2 fois 2 voies d'un tronçon de 28 km. Ce marché de 167 millions d'euros est la phase 2B1, la 4<sup>e</sup> réalisée par Bouygues TP, actionnaire de Bina Istra. Ces travaux s'inscrivent dans un contrat avec la République de Croatie.



© BERNARD BLAISE

Travaux de la phase 1B du passage à 2 fois 2 voies de l'autoroute.

## SAINT-DENIS-DE-LA-RÉUNION ADOPTE LE TÉLÉPHÉRIQUE



© FILAO

Le téléphérique - ici station motrice de la 1<sup>re</sup> ligne - franchit aisément les dénivellés.

Saint-Denis de la Réunion se dote de deux téléphériques. Les travaux du premier commencent au 2<sup>e</sup> trimestre pour une mise en service prévue à la mi-2020. Le second, au stade de la consultation des entreprises, devrait être effectif en 2022.

La première ligne relie en 5 stations Le Chaudron au Bois de Nèfles (Moufia), soit 2,7 km. Il suffira de 14 minutes pour franchir le dénivelé de 270 m. L'alternative était un bus en site propre, gourmand en espace et qui aurait dû franchir le boulevard périphérique.

En 2020, 46 cabines de dix personnes

circuleront en boucle sur ce tracé. Elles peuvent transporter jusqu'à 6 000 voyageurs par jour et 1 200 par heure et par sens. La ligne repose sur 26 pylônes intermédiaires.

Le marché de conception-réalisation de 43 millions d'euros a été confié au groupement mené par Poma (fournisseur du transport par câble) avec Sogea Océan Indien (génie civil), Richez associés et L'Atelier Architectes (architectes), Egis (bureau d'études), Sodiparc (exploitant) et ISR (installation et maintenance).

→ 2<sup>e</sup> ligne en consultation

La seconde ligne franchit en un saut et

en 5 minutes, les 300 m de dénivelé entre La Montagne et Bellepierre (hôpital). Elle "coupe" la RD41, sinueuse. Deux cabines de 50-60 places circuleront en va-et-vient. Coût estimé : 35 millions d'euros. La consultation des entreprises est lancée cette année, le marché sera attribué l'année prochaine.

L'étude d'un tram-train n'a pas conclu à son intérêt ici. Chaque "gare" est reliée au réseau de bus et doté d'un parking relais.

[www.telepherique-urbain.cinov.org](http://www.telepherique-urbain.cinov.org)

## CHANGEMENT DE CÂBLES SUR LE VIADUC D'ECHINGHEN

Le changement de quelques câbles de précontrainte sur le viaduc d'Echinghen (Pas-de-Calais) a commencé en décembre. Au rythme de vingt nuits sur un an, il sera terminé fin 2019.

Sur ce viaduc de 1 300 m de long, passe l'autoroute A16 qui relie l'Île-de-France à la Belgique, par la côte. Les travaux ont lieu de nuit, à circulation coupée. De jour, le trafic est limité à une voie à 90 km/h (source : AFP, 30 novembre 2018).

L'ouvrage date de 1997. Il figurait sur la liste des 164 ouvrages routiers à réhabiliter, dressée par le ministre des transports après la rupture du pont Morandi (Gênes, Italie), avec la mention « structure gravement altérée, nécessitant une intervention urgente ».

Ce pont mixte acier-béton dépend de la Société des autoroutes du Nord et de l'Est de la France (Sanef) qui avait déjà procédé aux travaux de sécurisation de novembre 2017 à juin 2018.

→ Espace réduit pour travailler

L'ouvrage comporte une portée principale de 110 m et mesure 70 m à sa plus grande hauteur. C'est un viaduc en poutre-caisson, précontraint, à âmes en tube acier et hourdis. Il est situé sur la commune de Saint-Léonard en périphérie de Boulogne-sur-Mer.

Dix câbles sur 320 sont corrodés. La difficulté du chantier réside dans la sécurité du personnel. Le tablier est un espace réduit, ouvert sur le vide dans lequel circulations et manipulations sont contraintes. ■



© THOMAS MILLET

Une dizaine de câbles sur 320 sont changés sur l'ouvrage qui date de 1997.



COMITÉ FRANÇAIS  
DES GÉOSYNTHÉTIQUES

**12<sup>es</sup> Rencontres Géosynthétiques**  
Du 11 au 13 mars 2019 - Palais des congrès de Nancy

[www.rencontresgeosynthetiques.org](http://www.rencontresgeosynthetiques.org)



## Le Comité Français des Géosynthétiques célèbre ses 40 ans à Nancy !

### Une interview de Nathalie Touze, Présidente du CFG

#### Pouvez-vous nous rappeler les principales missions du CFG ?



Le CFG a pour vocation de diffuser la connaissance afin de promouvoir les bonnes pratiques en matière de conception et de mise en œuvre des matériaux géosynthétiques dans leurs multiples applications.

En tant que « société savante » nous avons pour mission de rassembler toutes les parties prenantes du domaine, que ce soient les producteurs, les organismes de recherche ou les laboratoires d'essais, les bureaux d'étude, les installateurs, les contrôleurs et les maîtres d'ouvrage. Aux côtés de ses nombreux partenaires, le Comité structure ses actions en se basant sur la mutualisation des savoir-faire.

#### Parlez-nous des Rencontres

Ces Rencontres sont historiquement un lieu privilégié d'échanges pour tous les acteurs de la profession. Ces journées couvrent toutes les utilisations des géosynthétiques, dans les domaines du génie civil et de la protection de l'environnement, et sont l'occasion de faire le point sur l'état de l'art, les pratiques et les normes, à partir de cas concrets d'applications.

Pour cette 12<sup>e</sup> édition, le choix de Nancy se justifiait à la fois de par sa situation géographique, ses liens avec l'industrie textile et son rayonnement universitaire en Europe, dans le domaine des sciences de la terre en particulier.

C'est également l'occasion de célébrer le 40<sup>e</sup> anniversaire du Comité à travers un événement festif et fédérateur qui traduit toutes les valeurs de partage de la connaissance et de savoir-faire que nos membres expriment dans leur implication bénévole, dans un esprit de convivialité.

#### Que pouvez-vous nous dire du programme ?

Pour cette édition, grâce à la participation des auteurs et grâce à l'implication de notre Comité Scientifique, nous sommes particulièrement fiers de la qualité des contenus des conférences. Le thème des Infrastructures et de la mobilité a motivé la production de nombreux articles, tout comme la préservation des milieux, avec de nombreux articles pour expliciter le rôle des géosynthétiques dans le traitement des sols pollués, stockage des déchets et les applications minières.

Nous avons également tenu à placer la formation au cœur de ces Rencontres. En complément de la session de formation introductive, chaque session du programme fait l'objet d'un préambule pédagogique. C'est un vrai plus pour les participants qui bénéficient des bases pour mieux comprendre les cas développés au fil du programme !

**LES EXPOSANTS :** AFITEXINOV, AGRU, ANTEA GROUP, ARKOGEOS, ASQUAL, ATALUS, CEREMA, CFG, DIP TECHNOLOGIES, DE SAEDELEIR, DORKEN, DUPONT, FIBERTEX, FIRESTONE, HUESKER, GEOTEXAN, IRSTECA, JUTA, LOW & BONAR, MACCAFERRI, NAUE APPLICATIONS, RENOLIT, RYB COMPOSITES, SIPLAST, SOPREMA, TENCATE GEOSYNTHETICS, TERAGEOS, VIGANO PAVITEX, WSP.

**LES SPONSORS :** AFAG, AFITEXINOV, ASQUAL, EUROVIA ETANCHEITE, TERAGEOS.

[www.cfg.asso.fr](http://www.cfg.asso.fr)

### MEULAGE DE RAILS

Colas Rail Ltd a débuté en février un contrat de meulage de rails, de trois ans minimum, pour Network Rail, gestionnaire du réseau ferré britannique.

Ce contrat implique 1 400 interventions par an, 24h/24, correctives ou préventives. Pour ce faire, la filiale de Colas Rail utilise six trains de meulage, dont trois nouveaux (Loram C44). Le plus important mesure 150 m et comporte 64 meules.



© COLAS RAIL

Train de meulage au Royaume-Uni.

### POLOGNE : TRAINS PLUS RAPIDES

Egis va concevoir la modernisation d'une ligne de trains et la construction d'une autre, dans le Sud de la Pologne, avec MGGP, partenaire local. Il s'agit d'intensifier la circulation des voyageurs et du fret, et de l'accélérer. Le tracé et les installations de la ligne 104 seront améliorés sur 45 km. Les nouvelles lignes 622 et 623, sur un total de 46 km, accueilleront des trains jusqu'à 160 km/h. Entrent dans cette partie du programme de modernisation des voies ferrées de Polskie Linie Kolejowe, 60 ponts et 16 viaducs à construire ou reconstruire, 9 gares et 13 tunnels (17,5 km).

## ARCHITECTURES EN HARMONIE AVEC LA MER



Plateforme pétrolière adaptée à la fabrication de matériaux de construction à partir du plastique en mer.

© FONDATION JACQUES ROUGERIE-FÉLIX CHICOTEAU ET THOMAS GIROUD

Les plastiques qui s'agglutinent en pleine mer peuvent-ils servir à quelque chose ? « Ils pourraient devenir la matière première d'une nouvelle ville (...) », écrivent Félix Chicoteau et Thomas Giroud, architectes du projet "Plastic Pirates" couronné par un prix "focus" au concours d'architecture Jacques Rougerie-Institut de France 2018. « Nous recyclons une ancienne plateforme pétrolière en une machine captant ce plastique et le transformant en matériaux utilisables par les imprimantes 3D à l'origine d'une ville, » expliquent-ils.<sup>(1)</sup>

#### → Transformer les déchets de plastique

"Constructions flottantes avec le plastique recyclé en mer" était le focus de la catégorie plus large "Architecture, design et technologie pour la mer" du concours. Architectes, designers, ingénieurs et urbanistes étaient invités à l'intégrer dans leur projet, en matériau d'architecture ou dans un moyen de transport ou un équipement. « Micros et macros déchets en plastique polluent toutes les mers, écrit la Fondation. Ils sont rassemblés par les courants dans 5 principaux "vortex" mais aussi disséminés. »

Dans la catégorie "Architecture, design et technologie pour la mer", le grand prix a été attribué au bateau de Thésée, de Kaushal Tatiya, architecte (Inde). Une communauté de travailleurs de Mumbai crée une réplique d'un navire existant en conservant des traces de son passé et en y incorporant leurs activités. La mention spéciale du jury revient à une fabrication d'eau potable, en mer. L'eau douce est séparée de l'eau salée par le gel. L'objectif est aussi de refroidir l'océan. Icemill de Katarzyna Przybyla, architecte polonaise, veut créer un

réseau de centres de recherches sur ce thème.

#### → Filets anti-érosion marine

Deuxième catégorie du concours Jacques Rougerie dédiée à la mer : le prix Problématique de la montée du niveau des océans. Grand prix décerné à deux architectes chinois de Taïwan : Chang Chun Lin et Sheng Han Chen ayant travaillé sur leur ville Dong-Shih/Chiayi. Leur grand mur réduit l'érosion du

sable en limite du lagon, grâce à des filets.

Le jury a eu un coup de cœur pour les structures en bambou de Lois Tavernier, designer française : Tekasa'l, habitations flottantes avec agriculture et aquaculture, destinées au Bangladesh souffrant de la montée des eaux. ■

<sup>(1)</sup> Dessin en 3D qui organise la construction par une machine d'un élément par empilement de couches.



Ensemble d'habitations en bambou conçu pour le Bangladesh.

© FONDATION JACQUES ROUGERIE-LOIS TAVERNIER

### PRIX ARCHITECTURE DANS L'ESPACE

Le concours international d'architecture de la Fondation Jacques Rougerie-Institut de France vise l'océan (cf. ci-contre) et l'Espace « *champ de développements et d'applications technologiques incontournables pour le futur de notre civilisation* ».

La Fondation (2009) encourage de jeunes architectes, ingénieurs, designers à concevoir des projets audacieux.

Partenaires du prix : Commission océanographique de l'Unesco, Université du Yunnan (Chine), Afrikarch (15 pays africains), Fayat Bâtiment, Akuo Energy, Sunstyle et Wiin.

[www.fondation-jacques-rougerie.com](http://www.fondation-jacques-rougerie.com)



## ÉLECTRICITÉ PRODUITE SUR PLAN D'EAU

Les lacs de carrière, les bassins d'irrigation, les retenues offrent de grandes surfaces ensoleillées. Akuo Energy choisit ces plans d'eau artificiels pour implanter des centrales photovoltaïques. La plus grande en France, avec 17 MWc de puissance, se trouve à Piolenc, au nord d'Avignon (Vaucluse) et sa mise en service est planifiée au 1<sup>er</sup> semestre.

Chaque panneau est équipé d'un flotteur. Chaque ensemble, ici quatre pour 47 000 unités, est relié au fond par des chaînes et des câbles métalliques. Ils sont assemblés à terre puis remorqués. Ici, ils ne sont pas reliés au rivage.

### → Plutôt favorable à la faune

Moins de la moitié du lac de carrière de Piolenc, soit 17 hectares, est occupée. L'ombre, qui n'est pas totale, est plutôt favorable à la faune, selon Akuo Energy. L'installation a été soumise à étude d'impact (faune et flore), enquête publique et permis de construire.

La commune de 5 000 habitants, déjà dotée d'éoliennes, produit plus d'énergie qu'elle n'en consomme. Elle loue pour cinquante ans le lac qui lui appartient.



Les panneaux solaires sont assemblés à terre puis remorqués.

Elle touche 400 000 euros au départ, puis après quatre ans, 25 000 euros/an pendant quarante-six ans.

### → Kilowattheures vendus sur le marché

Akuo Energy, maître d'ouvrage, a levé 14 millions sur les 17 que coûte la centrale. Trois millions viennent des habitants avec rémunération et la mairie apporte la moitié de son bouquet de départ.

Le groupe se rémunère par la vente des kilowattheures sur le marché.

La réalisation est confiée à Bouygues Énergies Services. Les panneaux, des Trina Solar, sont portés par des structures Hydrelio de Ciel & Terre. Akuo Energy en est le fabricant et le distributeur en France.

Prochain chantier à Raissac-d'Aude (Aude) en 2020. ■

## CENTRALE THERMODYNAMIQUE DE 450 HA

Une énorme centrale solaire productrice d'électricité a été mise en exploitation début février, en Afrique du Sud. Elle couvre 450 ha, atteint 100 MW de puissance et peut alimenter 179 000

foyers de Kathu, dans le district John Taolo Gaetsewe, province du Cap-Nord au nord-ouest du pays, région en partie désertique. Pas moins de 384 000 miroirs paraboliques concentrent le rayonnement solaire

sur des tubes remplis d'un fluide caloporteur.

Le système produit de la vapeur qui actionne des turbines électriques.

L'installation comprend un stockage du fluide à l'état de sels fondus, grâce à quoi, en l'absence de soleil et la nuit, la production d'électricité se poursuit pendant 4 heures et demie. Durée du chantier : 32 mois.

Les kilowattheures sont vendus à la Compagnie nationale d'électricité sud-africaine, contrat de vingt ans dans le cadre du Programme d'approvisionnement auprès de producteurs indépendants d'énergie renouvelable (Reipp).

### → Engie à la tête du consortium

À la tête du consortium Kathu Solar Park créé pour l'occasion, Engie avec 48,5% des parts. Le restant est aux mains de financeurs. La conception-réalisation a été confiée à Liciastar, émanant de deux sociétés espagnoles, Sener (structures solaires avec miroirs Rio Glass) et Acciona.

[www.kathusolarpark.co.za](http://www.kathusolarpark.co.za) ■



384 000 miroirs paraboliques vaporisent un fluide caloporteur qui actionne des turbines.

## LAITIER À LA PLACE DE CIMENT

Une partie du ciment dans le béton peut être remplacé par du laitier de haut-fourneau. Avantage : réduire les émissions de CO<sub>2</sub> par utilisation d'un sous-produit sidérurgique.

Ecocem, joint-venture 51% - 49% avec Arcelor Mittal, a ainsi diminué son bilan carbone de 10 millions de tonnes entre 2000 et 2018. L'entreprise a ouvert il y a un an une nouvelle usine en France, à Dunkerque (Nord). La norme NF EN 206/CN limite à 30% la part du laitier dans le ciment là où d'autres pays osent monter plus haut, par exemple le Royaume-Uni à 85%, selon Ecocem.



Usine de Dunkerque (Nord), ouverte en 2018.

## RÉSEAUX PLUS INTELLIGENTS

Le groupe Lacroix acquiert SAE IT-Systems, spécialisée dans le suivi des consommations électriques, le pilotage d'énergies renouvelables et les réseaux électriques dits intelligents.

Ces activités complètent le savoir-faire de Lacroix en télégestion des réseaux d'eau et de chaleur.

### REGARD EAUX USÉES/EAUX PLUVIALES

Ce regard donne accès à deux réseaux, eaux pluviales et eaux usées. Son fond est constitué de deux canaux séparés, accessibles chacun par une trappe.

Chaque canal est équipé d'une pièce de raccordement à un réseau, en PVC pour les eaux usées, et en fonte, grès ou PVC pour les eaux pluviales.

Baptisé Duo chez Stradal, marque du groupe CRH, il convient en zone urbaine où l'espace est restreint.



Raccordements différents.

### MIROVA EN RENFORT D'AXIONE

Mirova apporte des fonds infrastructures au capital d'Axione et prend ainsi 49% du capital. Bouygues Énergies & Services conserve 51%. Cette montée en puissance financière donne à Axione les moyens de répondre au déploiement de la fibre jusqu'à l'utilisateur final et de réseaux radio 4G et 5G.

### PROJETEUR BIM

L'École supérieure d'ingénieurs des travaux de la construction de Caen lance une formation bac +3 de projecteur Bim, à la rentrée. Elle est ouverte aux détenteurs d'un diplôme de génie civil de niveau III et à plusieurs BTS du secteur. La Norwegian University of Science et l'Escuela Technica Superior de Ingenieria de Edificacion sont partenaires. L'Esitc entend répondre à la forte demande de pilotes du Bim, chargé de faire vivre la maquette numérique entre concepteurs et constructeurs.

## TROPHÉE ORQUASI POUR LA MISE EN VALEUR D'UN SEUIL HYDRAULIQUE À CARCASSONNE



Arrivée de la turbine électrique sur le seuil Païchéro en janvier, hélice de 194 cm de diamètre à 5 pales.

© JULIEN ROCHEVILLE DE CARCASSONNE

créer une passe à poissons (anguilles) vers l'amont et vers l'aval, et un système de transfert des sédiments. Coût de cette continuité : 1,9 million d'euros dont 1,2 pour la partie piscicole.

La centrale hydroélectrique se monte à 1,5 million. Avec près de 500 kW de puissance, elle produira 1,7 MWh/an, soit la consommation de 380 foyers.

Le dégrilleur (filtre) avant la centrale est horizontal au lieu d'être vertical afin d'être discret (co-visibilité avec la cité).

→ 3,7 millions d'euros

Le pied du seuil de 175 m, creusé par l'eau, doit être comblé pour rétablir la stabilité de l'ouvrage. Montant : 300 000 euros. La Compagnie d'aménagement des coteaux de Gascogne (CAGC), à travers la société de projet Les énergies de la cité, prend en charge les 3,7 millions d'euros de l'opération et se paie sur la vente de kilowattheures à EDF pendant trente-sept ans.

→ Pédagogie

La valorisation du seuil de Païchéro s'accompagne d'un aménagement des espaces naturels accessibles au public et de panneaux pédagogiques.

À proximité, les travaux d'un centre aquatique vont commencer au 2<sup>e</sup> semestre à l'emplacement d'une ancienne piscine. ■

La turbine électrique installée en janvier sur le seuil Païchéro en centre-ville de Carcassonne (Aude) a commencé à produire fin février. C'est une des composantes du réaménagement de cette chute d'eau de plus de 4 m située entre le quartier de la Bastide Saint-Louis et la cité médiévale, de l'autre côté de l'Aude. Le barrage alimentait des canaux servant aux industries implantées sur l'île entre deux bras de l'Aude, notamment des fabricants de drap. Au fil du temps, les occupants ont changé. La propriété des lieux s'est "dissoute". L'État l'a repris en mains avec l'idée de la raser. La ville s'est mobilisée pour restaurer ce lieu historique. L'opération a reçu un trophée de l'Observatoire régional de la qualité des infrastructures (Orquasi) de Midi-Pyrénées, fin 2018. La commune a signé une convention avec l'État et racheté les lieux. Les travaux, qui ont lieu l'été (période d'étiage) ont commencé à la mi-2018 et s'achèveront en 2020.

La continuité écologique s'applique conformément à la directive européenne sur l'eau (2000/60/CE). Ce qui signifie



Plan du réaménagement du seuil à terme. À noter les passes à poissons vers l'amont et vers l'aval.

© CAGC

Drones

BIM

Cyberattaques

# Bienvenue dans un monde qui se construit autrement.

Votre environnement de travail et votre métier évoluent, vos risques aussi. SMABTP s'engage chaque jour à vos côtés, en créant de nouvelles solutions d'assurance, pour mieux protéger votre activité.

**Notre métier : assurer le vôtre.**

[www.groupe-sma.fr](http://www.groupe-sma.fr)

SMABTP - Société mutuelle d'assurance et de réassurance des travaux publics  
Société d'assurance mutuelle à cotisations variables - entreprise régie par le Code des assurances  
RCE PARIS 772 054 704 - Siège Social : Avenue - CS 71201 - 75738 PARIS 08 DEK 13

  
**SMABTP**  
SOCIÉTÉ MUTUELLE D'ASSURANCE

**1<sup>er</sup> assureur  
de la construction**

## PEINDRE LE BÉTON POUR LE PROTÉGER

La peinture peut protéger les ouvrages de génie civil en béton.

Elle empêche l'eau, le gaz carbonique et les chlorures de pénétrer. Elle peut s'appliquer aux ouvrages existants après une opération de maintenance curative. La mise en œuvre du revêtement doit se

conformer au référentiel technique de l'Association pour la certification et la qualification en peinture anticorrosion (Acqpa). La protection par peinture fait aussi l'objet d'un complément au fascicule 65 "Cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de

travaux de génie civil, exécution des ouvrages de génie civil en béton".

Ce complément émane de Cimbéton, association de promotion du béton, et a été rédigé avec des experts de la filière peinture anticorrosion.

[www.infociments.fr](http://www.infociments.fr) ■



## VÉGÉTALISER LES PASSAGES SOUS ROUTE

Les passages sous route servent à la faune mais celle-ci s'y trouve exposée aux prédateurs quand la végétation y pousse mal, faute de lumière. Le rapport du Cerema sur la colonisation par la végétation de ces passages propose des solutions pour que les plantes y prospèrent. Les berges de ruisseau sous ouvrage sont parfois protégées de l'érosion par des rochers qui offrent peu d'abri à la faune

et ne conviennent pas aux végétaux. L'étude de 10 ouvrages avec des sections d'ouverture de 16 à 120 m<sup>2</sup> conduit l'auteur du rapport, Pierre Mazuer du Cerema Est, à proposer de réduire la longueur grâce à des remblais moins larges avec prolongement du passage par un mur de soutènement, lui-même maintenu à la verticale par des butons (cf. RN59 à Azerailles, Meurthe-et-Moselle).

Le rapport entre section du passage et longueur sera de 2,7 environ ou entre tirant d'air et longueur, de 0,2.

Les espèces végétales seront celles des sous-bois voisins. Le sol pourra être enrichi, et les berges, constituées de gros graviers et de cailloux. Des gouttières en encorbellement conduiront de l'eau jusqu'au centre.

Téléchargeable sur [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr) ■



Membre du Réseau Compagnies Intégrées BTP

### CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

#### Nos missions :

- assurer le service des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- procéder au remboursement des indemnités de chômage-intempéries versées par les employeurs de la Profession.

La CNETP regroupe plus de **7 700 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à près de **260 000 salariés**.

#### Nos coordonnées :

- **Par courrier :**  
31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09
- **Par Internet :** [www.cnetp.fr](http://www.cnetp.fr)
- **Par mail :** sur [www.cnetp.fr](http://www.cnetp.fr), lien [ecrire un e-mail](#)

- **Par téléphone :**
  - pour les entreprises : 01.70.38.07.70
  - pour les salariés : 01.70.38.09.00



## AGENDA

### ÉVÉNEMENTS

#### • 2 ET 3 AVRIL

##### **Bim World**

Lieu : Paris (Porte de Versailles)  
www.bim-w.com

#### • 23 AU 26 AVRIL

##### **5<sup>e</sup> atelier international sur la physique des roches**

Lieu : Hong-Kong  
https://events.eage.org

#### • 3 AU 9 MAI

##### **Ingénierie et innovation à la rencontre de l'archéologie, de l'architecture et de l'art (45<sup>e</sup> congrès ITA-AITES)**

Lieu : Naples (Italie)  
www.wtc2019.com

#### • 6 AU 8 MAI

##### **Congrès européen des réseaux de chaleur et de froid**

Lieu : Nantes  
www.euroheat.org

#### • 8 AU 10 MAI

##### **Salon des énergies renouvelables et des véhicules propres**

Lieu : Monaco  
www.ever-monaco.com

#### • 23 MAI

##### **Gestion et entretien des ouvrages d'art : comment parvenir au risque 0**

Lieu : Paris  
https://evenements.infopro-digital.com

#### • 3 AU 6 JUIN

##### **Thermique et industrie du futur**

Lieu : Nantes  
http://greth.fr

#### • 12 ET 13 JUIN

##### **Expobiogaz**

Lieu : Lille  
www.expo-biogaz.com

#### • 17 ET 18 JUIN

##### **Smart Energies**

Lieu : La Défense (Arche)  
www.smart-energies-expo.com

#### • 18 ET 19 JUIN

##### **Ville sans tranchée (salon)**

Lieu : Chatou (Yvelines)  
www.fstt.org

#### • 19 ET 20 JUIN

##### **Parkopolis (parkings)**

Lieu : Paris (Porte de Versailles)  
www.salonparkopolis.com

#### • 20 ET 21 JUIN

##### **Congrès international des économistes de la construction**

Lieu : Avignon (Vaucluse)  
https://live.eventtia.com/fr/congres2019

#### • 26 ET 27 JUIN

##### **Solscope**

Lieu : Marseille  
www.solscope.fr

#### • 24 AU 26 JUILLET

##### **ICSA, 4<sup>e</sup> conférence structures et architecture**

Lieu : Lisbonne (Portugal)  
www.icsa2019.arquitectura.uminho.pt

#### • 1<sup>er</sup> AU 6 SEPTEMBRE

##### **17<sup>e</sup> conférence ECSMGE (mécanique des sols)**

Lieu : Reykjavik (Islande)  
www.ecsmge-2019.com

#### • 4 AU 6 SEPTEMBRE

##### **La métropole en évolution**

Lieu : New-York (États-Unis)  
www.iabse.org

#### • 23 ET 24 SEPTEMBRE

##### **1<sup>re</sup> conférence méditerranéenne des jeunes ingénieurs**

Lieu : Mugla (Turquie)  
http://Mygec2019.org

#### • 24 ET 25 SEPTEMBRE

##### **9<sup>e</sup> assises Port du futur**

Lieu : Lille  
www.portdufutur.fr

### FORMATIONS

#### • 14 AU 16 MAI

##### **Évaluer et diagnostiquer l'état d'une aire aéronautique**

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

#### • 15 MAI

##### **Aciers autopatinables dans les ouvrages d'art**

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

#### • 15 AU 17 MAI

##### **Ferroviaire : acteurs, organisation, évolutions**

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

#### • 15 AU 17 MAI

##### **Piloter un projet d'infrastructure**

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

#### • 20 AU 24 MAI

##### **La géologie appliquée au génie civil : pratique de terrain**

Lieu : Les Causses-Millau (Aveyron)  
http://formation-continue.enpc.fr

#### • 21 MAI

##### **Recommandations 2018 fascicule 74 CCTG, construction et réhabilitation des réservoirs en béton, réhabilitation de ceux en maçonnerie**

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

#### • 5 AU 7 JUIN

##### **Sécurité des agents, signalisation temporaire des chantiers sur routes à chaussées séparées**

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

#### • 11 AU 13 JUIN

##### **Transports publics et mobilité en France**

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

#### • 13 ET 14 JUIN

##### **Ponts ferroviaires**

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

#### • 26 AU 28 JUIN

##### **Génie civil ferroviaire**

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

#### • 1<sup>er</sup> ET 2 JUILLET

##### **Projets urbains autour des gares**

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

### NOMINATIONS

#### ANRU :

Damien Ranger dirige les relations publiques et la communication de l'Agence nationale pour la rénovation urbaine, après le départ en retraite d'Elisabeth Broge.

#### ARCADIS :

Nicolas Ledoux remplace Cyrille Brichant à la présidence d'Arcadis ESG.

#### COUR DES COMPTES :

Michèle Pappalardo a été nommée rapporteure générale du rapport public et des programmes remis chaque année au Président de la République et au Parlement.

#### EIFFAGE :

Xavier Idier prend la direction générale de Sénac, filiale d'Eiffage Concessions et d'Eiffage Opérations Services au Sénégal.

#### ÉNERGIE ATOMIQUE :

Patrick Landais relaie Yves Juguet (intérim) au poste de haut-commissaire à l'énergie atomique - conseiller du CEA, du chef de l'État et du gouvernement - après le départ d'Yves Bréchet en septembre.

#### SNBPE :

Thierry Flandre succède à Thierry Loison à la présidence du collège béton prêt à l'emploi de Normandie du Syndicat national du béton prêt à l'emploi.

#### SPIE SWITZERLAND :

L'entité électro-mobilité (E-Mobility) de Spie en Suisse est confiée depuis le début de l'année à Peter Arnet.

#### VILLE ET LOGEMENT :

Thomas Welsch est le conseiller aménagement, construction, urbanisme et transition énergétique de Julien Denormandie, chargé de la ville et du logement au ministère de la cohésion des territoires et des relations avec les collectivités territoriales.



# RICHEZ ASSOCIÉS DES ESPACES DE DÉPLACEMENT PENSÉS DU POINT DE VUE DU VOYAGEUR

Architecte, ingénieur et urbaniste, Thomas Richez anime une agence qui s'est distinguée, dès sa création en 1985, par une approche originale : celle de pratiquer de front architecture, urbanisme et paysage tant dans le domaine du bâtiment - bureaux, équipements, logements - que dans celui des aménagements publics et privés. Une autre démarche, initiée dès 2004 avec le tramway du Mans, et poursuivie par la suite par d'autres réalisations marquantes lui a ouvert l'univers des transports et lui a permis de devenir une référence mondiale dans ce domaine. Avec le Grand Paris Express, dont elle assure la maîtrise d'œuvre de trois gares, Richez Associés confirme la justesse de son approche initiale. Ce que nous explique Thomas Richez, cofondateur et président de Richez Associés, en élargissant d'ailleurs son propos à des réalisations particulièrement significatives dans le domaine des tramways. **Entretien avec Thomas Richez, architecte, ingénieur et urbaniste.**

PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



**Quels choix originaux avez-vous faits lors de la création de Richez Associés et qui ont, en quelque sorte, pré-écrit son évolution depuis 1985 ?**

Il y a un élément important qu'il faut retenir dans l'histoire de l'agence et donc de ses origines.

Il résulte de la volonté de pratiquer trois métiers - architecture, urbanisme et paysage - avec une sensibilité globale sur la ville, le territoire et le bâtiment dans son contexte environnemental, qui nous a amenés à travailler sur des bâtiments de toutes natures - logements, bureaux, équipements publics - mais aussi sur des quartiers et leur espace public et, de fil en aiguille, sur des ouvrages liés au thème de "ville et infrastructure" ou "infrastructure dans la ville" avec des projets de tramway,

c'est-à-dire d'aménagement de l'espace public, mais aussi l'équivalent en souterrain dans leur rapport à la ville, avec les métros. Ce thème de l'infrastructure est aussi présent dans un certain nombre d'interventions dans des quartiers sur dalle.

Un exemple sur lequel nous travaillons actuellement est le boulevard circulaire Nord de La Défense qui a évolué, schématiquement, d'autoroute à boulevard urbain avec des circulations pour piétons et des bâtiments qui leur sont adressés. Nous préparons d'ailleurs la même évolution sur le boulevard circulaire Sud avec un projet d'urbanisme qui est écrit comme étant le projet directeur de toute cette transformation. Ce que j'ai complètement réalisé, il n'y a d'ailleurs pas si longtemps, c'est le fait qu'aussi bien à La Défense qu'à



FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURES 2 & 3 © SGP- RICHEZ ASSOCIÉS

Cergy-Pontoise, à Choisy-le-Roi ou à Bobigny, ces dalles n'ont jamais été imaginées dans leur rapport au reste du monde et donc dans leur limite car elles ont toujours été conçues comme ayant vocation à se poursuivre.

L'une des premières concrétisations de cette évolution est la place de la République au Mans où le tramway passe sur un parking souterrain ce qui a permis de retravailler une vraie place en surface, opération nécessitant les compétences à la fois d'un architecte et d'un ingénieur.

Cette démarche a nécessité l'assemblage des contributions de plusieurs ingénieries, ce qui n'avait pas été le cas lors de la conception aussi bien de cette place de la République et de son parking que lors de celle des dalles que j'ai évoquées précédemment. C'est là qu'est intervenu l'architecte qui a fait office de chef d'orchestre du projet.

**Comment avez-vous abordé la conception des gares du Grand Paris Express dont vous assurez la maîtrise d'œuvre, c'est-à-dire Champigny-Centre, Bry-Villiers-Champigny et Massy-Palaiseau ?**

Dans le métro standard parisien, le génie civil donne l'espace, ce qui constitue déjà un sujet d'architecture. Mais les seules liaisons entre les quais et la surface sont les escaliers ou les ascenseurs.

Pour le métro du Grand Paris Express, la démarche est complètement différente : le grand choix du projet, c'est 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. Entre le génie civil constituant la gare

**THOMAS RICHEZ : PARCOURS**

**Co-fondateur, associé-président de Richez Associés et directeur de ZD\_R à Kuala Lumpur, Thomas Richez est architecte dplg, ingénieur et urbaniste de l'École Polytechnique (1975) et de l'École Nationale des Ponts et Chaussées (1980).**

**Cet ancien élève de l'École des Ponts a développé dès la création de son agence en 1985 une approche complète de son métier en pratiquant de front architecture, urbanisme et paysage :**

- **Activité de maîtrise d'œuvre de l'agence en France et en Asie : tours d'Euralille, ambassade de France à Singapour...**
- **Activité de concepteur en aménagement urbain et en espaces publics en tant qu'architecte coordinateur de la ZAC des Grisettes à Montpellier, de l'opération Charolais-Rotonde à Paris, de la ville nouvelle de Putrajaya en Malaisie...**
- **Expertise sur plusieurs projets de transport avec les tramways du Mans et d'Orléans, de Tours et de Reims, de Casablanca.**

**Avec son agence, il travaille actuellement sur trois des gares des Lignes 15 et 18 du Grand Paris Express ainsi que sur le prolongement vers le sud de la Ligne 11 du métro parisien.**

**Thomas Richez a été président de l'AFEX (organisation française d'architectes travaillant à l'étranger) de 2002 à 2008.**

**1- Thomas Richez, architecte, ingénieur et urbaniste.**

**2- L'intérieur de la gare de Champigny-Centre se nourrit de deux éléments forts : la meulière et le flot de la Marne.**

**3- L'une des circulations de Champigny-Centre.**

**4- Élément fort de Bry-Villiers-Champigny : un grand volume complètement vitré.**

**5- Les quais de la gare de Bry-Villiers-Champigny.**

proprement dite située généralement à 20/25 mètres sous la surface et cette dernière, se situent des parcours d'architecture assurant la liaison tout autant que l'ouverture de la gare sur la ville. C'est ainsi que 11 des 16 gares de la Ligne 15 et, notamment, les trois sur lesquelles nous intervenons, supportent un projet immobilier connexe de logements ou de bureaux. Lorsqu'elles ne supportent pas de projet immobilier, elles font partie, comme à "Bry-Villiers-Champigny", par exemple, d'un projet périphérique d'aménagement urbain, générique d'une nouvelle dynamique pour la ville.

Outre le fait que la boîte constituant la gare proprement dite est calée pour des raisons géologiques et techniques par

le bureau d'études, liberté est donnée à l'architecte pour la conception des parcours de voyageurs qui sont le vrai sujet d'architecture.

**Quelles sont les particularités de chacune de ces gares ?**

Fondamentalement, pour ces trois gares, comme d'ailleurs pour toutes celles du Grand Paris Express, l'ambition est supérieure à celle des stations de métro telles que nous les connaissons dans Paris, à l'exception de celles d'Éole.

C'est en gare de Champigny-Centre que se rejoint la branche Sud de la Ligne 15, commençant à Noisy-Champs, et la branche Est, vers le Bourget et Pleyel. La gare s'implante le long de la RD4, anciennement RN4 et axe majeur de Champigny, et au pied d'un talus la voie ferrée de grande ceinture franchissant essentiellement en remblai une boucle de la Marne. Le pont en meulière par lequel la voie ferrée franchit la RD4 est une porte de la ville, séparant aujourd'hui le quartier de la mairie des quartiers Ouest. La gare offrira aux Campinois une entrée de chaque côté du viaduc, et, côté Ouest, un ample parvis bordé de commerces, dominé par une tour de logements signalant la gare nouvelle. L'intérieur de la gare se nourrit de deux références fortes du territoire que j'ai retenues comme étant les marqueurs du site : la meulière du pont ferroviaire, réutilisée en parement, et le flot de la Marne, élément important, qui coule juste à côté et qui entoure Champigny. Une nappe métallique l'évoque en plafond et le voyageur, dans son parcours vertical vers le quai, passe sous cette nappe, calée précisément à la même altitude que le fleuve qui baigne le quartier, 200 m plus au sud. ▶

© SGP- RICHEZ ASSOCIÉS



© SGP- RICHEZ ASSOCIÉS





6



7

## TROIS GARES DU GRAND PARIS EXPRESS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Société du Grand Paris

CHAMPIGNY-CENTRE

Gare de correspondance Ligne 15, RER E, Altival et pôle bus

**SURFACE :** 19 000 m<sup>2</sup>

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** groupement Systra (mandataire) + Richez Associés

BRY-VILLIERS-CHAMPIGNY

Gare de correspondance Ligne 15 Est et Ligne 15 Sud

**SURFACE :** 15 500 m<sup>2</sup>

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** groupement Systra (mandataire) + Richez Associés

MASSY-PALaiseau

gare de métro mixte du Grand Paris Express

**SURFACE :** 7 630 m<sup>2</sup>

**MAÎTRE D'ŒUVRE :** groupement Ingerop (mandataire) + Artelia + Richez Associés



8

© SGP- RICHEZ ASSOCIÉS

De la surface au sous-sol et, géographiquement, la gare se situe sous la nappe de la Marne.

Les espaces intérieurs de la gare consistent en une déclinaison de parois en pierre allant du rugueux en partie haute à de la pierre plus lisse au niveau des quais, sous ce plafond évoquant l'écoulement de l'eau de la Marne, toute proche. Cette situation de la gare adossée à un viaduc constitue un point particulier de la ville : le viaduc vient

couper le grand axe de Champigny mais ce ne sera plus le cas désormais. En effet, cet endroit va être transformé en une vraie destination et un lieu très vivant de Champigny.

En effet, il est prévu, de réaliser au-dessus de cette gare un bâtiment qui fera en quelque sorte office de signal comme le fait, à Paris, la tour de l'horloge de la gare de Lyon.

Ces bords de Marne qui sont un lieu tout à fait magique vont devenir beau-

coup plus accessibles, plus faciles à pratiquer. La ville a un projet de musée qui va venir s'installer dans ce parcours entre la gare et la Marne qui va vraiment transformer ce quartier.

### Bry-Villiers-Champigny ?

La gare de Bry-Villiers-Champigny assure la correspondance entre la Ligne 15 et la Ligne E du RER et dessert un quartier à développer, aux confins des trois communes. Elle joue

donc un rôle essentiel dans ce quartier "Marne Europe" car elle assoira un îlot majeur associant logements, services et logements familiaux et installera une séquence urbaine en franchissement des voies ferrées existantes.

Cette gare vient s'installer à côté des voies du RER E et s'accroche à un pont qui traverse tout le site, et qui est donc beaucoup plus haut que la voie ferrée. La gare a donc une grande façade extérieure plein sud.

© SGP- RICHEZ ASSOCIÉS

9



© SGP- RICHEZ ASSOCIÉS

10





Les 20 mètres de dénivelé entre les quais du métro, les quais du RER et l'accès urbain franchissant les voies ferrées permettent de la doter d'un grand espace d'ambulation en jour naturel, plein sud.

C'est un élément très fort de cette gare : un grand volume, de 15 mètres de haut, complètement vitré au sud, ce qui est à peu près l'inverse d'une ambiance de métro standard.

On trouve également un parcours éclairé par le sud, donc dans une situation dissymétrique dans la lumière et on aboutit sur deux quais qui n'ont pas de raison d'être les mêmes.

Cette gare a, d'une part, un quai au nord, direction La Défense, qui est dans ce grand volume de descente et, en face, un quai qui est beaucoup plus bas et qui ne bénéficie pas cet éclairage.

C'est une gare avec deux situations différentes qui sont mises en évidence par ce que j'appelle des "plis" qui sont des grandes parois avec une partie horizontale et une partie verticale. Cette conception détermine deux ambiances volumétriquement très différentes entre le soir et le matin, entre le départ vers la Défense et le retour.

Bry-Villiers-Champigny sera un facteur de développement urbain car il y aura une grande place au contact de la gare qui sera desservie pas les bus et sur laquelle il y aura une vie piétonne puis, de l'autre côté de la place, un quartier piéton, commerçant, va venir se développer.

L'axe Nord-Sud qui est amorcé par le pont existant va devenir un boulevard avec des constructions tout le long, des bureaux, des logements, des commerces... un vrai quartier qui va apparaître dans les années qui viennent.



11 © RICHEZ ASSOCIÉS

**6- La gare de Champigny-Centre.**

**7- Bry-Villiers-Champigny associe logements et services.**

**8- La gare Massy-Palaiseau s'insère dans un pôle multimodal.**

**9- Projet initial de la gare Massy-Palaiseau avec une ample voûte translucide.**

**10- Massy-Palaiseau baigne dans une lumière naturelle.**

**11- Le tram-train de La Réunion.**

**12- Le tramway de Reims.**

**13- Le tramway d'Orléans.**

**Massy-Palaiseau ?**

La gare Massy - Palaiseau, sur la Ligne 18, qui desservira 10 gares, d'Aéroport-d'Orly à Versailles-Chantiers, s'insère dans un pôle multimodal réunissant les gares des RER B et C, la gare TGV, ainsi que deux gares routières.

Implantée au cœur du faisceau ferré, entre les voies des RER B et C, elle crée un nouveau lien entre les deux passerelles existantes et participe ainsi à la fluidité du pôle.

Le pôle d'échange de Massy-Palaiseau, véritable campus des transports, avec sa gare TGV, ses deux gares RER, ses 35 lignes de bus, va accueillir, au cœur de son vaste plateau de voies ferrées, une gare de la Ligne 18.

Nous la voyions dans notre conception initiale prendre la forme d'une ample voûte translucide mais le projet est actuellement en cours de redéfinition pour des questions de coûts. Elle aurait

baigné de lumière naturelle le parcours du voyageur s'élevant directement du sous-sol du métro au sur-sol des passerelles franchissant les voies, et aurait fait signal dans le vaste horizon du pôle d'échange.

Cette gare présente par ailleurs un réel intérêt en ce qui concerne le profil de développement durable tant en ce qui concerne l'atmosphère contrôlée bioclimatiquement, la lumière naturelle, la ventilation de la voûte par tirage naturel ainsi qu'un dispositif d'infiltration des eaux pluviales.

**Cette conception nouvelle des transports dans la ville, Richez Associés l'a-t-elle appliquée à d'autres réalisations ?**

C'est par les projets de tramway portés par les grandes agglomérations françaises que nous avons commencé à concevoir la ville des mobilités.

C'est au Mans, puis à Reims, à Brest, à Orléans et à Tours, mais aussi à l'étranger à Casablanca, qu'un point de vue aiguë s'est formé sur les usages de l'espace public, du piéton à la voiture, en passant par le cycle et les transports publics, de l'accès riverain au flux métropolitain, en passant par la promenade et la vie de quartier, sur la contribution essentielle que l'aménagement des rues et des places apporte à la qualité environnementale, à la qualité de vie, et à l'image même de l'identité d'une ville.

Le tramway "à la française" se distingue avant tout par une haute qualité d'insertion urbaine. L'expression "de façade à façade" caractérise ce travail global de design, d'urbanisme, de paysage et d'architecture destiné à réduire la place de la voiture, favoriser les circulations douces, mieux partager l'espace public. ▶

© RICHEZ ASSOCIÉS



12

© RICHEZ ASSOCIÉS



13



14



15

© RICHEZ ASSOCIÉS

Ces aménagements privilégient des tracés en site propre (moins de voies pour les voitures et souvent plus de fluidité pour le trafic) et des espaces dédiés aux piétons. Après Nantes et Grenoble, de nombreux cœurs de ville ont suivi ce principe comme à Strasbourg, Bordeaux, Nice, Tours ou Brest, favorisant ainsi la cohabitation avec les autres modes de transport, piétons, vélos.

### À Casablanca, quelles sont les lignes de force du projet ?

Le tramway de Casablanca est notre première réalisation de ce type hors de France. Hors de France, mais pas hors de l'aire d'influence du tramway à la française : Casablanca est jumelée avec Bordeaux, et son maire y a vu le tramway à l'œuvre... C'est lui qui a fait valider par l'autorité suprême du Royaume le principe de travailler de façade à façade, ce qui n'avait pas été fait à Rabat quelques années auparavant. Appelés en phase d'avant-projet par

Systra, nous avons pu dès la phase de définition de l'insertion poser les bases d'un partage de l'espace cohérent avec l'identité de Casablanca, et notamment proposer et faire accepter un accompagnement de la plateforme par des alignements de palmiers, et un tracé empruntant le boulevard Mohamed V, axe majeur du quartier Art Déco.

Il faut savoir que le centre de Casablanca, le "quartier Art déco", est un joyau de l'art urbain, insuffisamment connu, et mal entretenu : il accueille, dans un ordre urbain très net, mais tout en souplesse, articulations et continuités, une riche diversité d'architectures : y cohabitent pour le plus grand plaisir de l'œil les styles du siècle dernier, qui ont tour à tour eu la vedette dans une ville fière de ses constructions : de l'art nouveau au cubisme, en passant par l'arabo-andalou revisité à la française, et, très présent, l'art déco. L'ensemble mériterait sans conteste classement au patrimoine mondial de l'Unesco !

Suite à la définition d'un plan de déplacement urbain du Grand Casablanca, planifiant un réseau de transports de 160 km, comportant RER, métro, et 76 km de tramway en 4 lignes, Systra a été désigné en février 2008, pour conduire les études préliminaires et d'avant-projet des deux lignes prioritaires. Conscient de la dimension aménagement du projet, et de sa particulière sensibilité dans cette ville à forte tradition urbaine, mais à monoculture automobile, Systra a sollicité notre intervention pour inscrire précisément le projet dans l'espace, et dans la réalité physique et sociale de la ville.

C'est dans cette première phase que, dans un partenariat fécond avec le bureau d'études, nous avons travaillé patiemment à convaincre tous les acteurs du projet de la légitimité de réserver un espace continu au tramway, et lutté contre l'idée simple qui veut que la fluidité de la circulation automobile suppose que l'espace public soit le

plus possible consacré à la voiture, au détriment de la qualité de l'espace, de son agrément, et de toutes les autres fonctions de la ville : les autres déplacements, bien sûr, mais aussi la vie riveraine, celle des commerces, des habitants qui se promènent, la présence des plantations, etc. Nous nous sommes donc attachés à bien faire partager la problématique d'insertion, en insistant sur la nécessité de compléter la plateforme du tramway par des refuges piétons, ces espaces qui séparent les voies du tramway de celles accueillant la circulation automobile, et qui en permettent la traversée de façon sûre. Et nous avons fait remarquer que l'espace consacré ponctuellement à ces refuges piétons peut, sans dommage pour la circulation, élargir en section courante la plateforme qui supporte les rails du tramway pour lui permettre d'accueillir deux rangées de palmiers, en cohérence avec le traitement des boulevards majeurs du plan Prost.

© RICHEZ ASSOCIÉS

16



© RICHEZ ASSOCIÉS

17



## RICHEZ ASSOCIÉS : ÉTAPES CLÉS

**1985** : La toute jeune agence, associant Thomas Richez, Bertrand Dubus et Édouard François, accumule des références dans des domaines aussi variés que la construction de logements, de bureaux, de bâtiments pour le commerce, l'industrie, la restauration collective ainsi que l'aménagement et l'urbanisme. La vocation pluridisciplinaire est lancée.

**1991** : C'est la période des concours, et des premiers regards vers l'Asie : l'Ambassade de France à Singapour, l'aménagement du pavillon français de l'exposition internationale de Taejon en Corée du Sud (1993) et, première réalisation d'envergure, trois tours sur le projet Euralille.

**1997** : L'agence se déploie et les projets se multiplient : centre national des Caisses d'Épargne (12000 m<sup>2</sup> à Paris 14<sup>e</sup>), mission d'architecte conseil de la ZAC Vaugirard (environ 50000 m<sup>2</sup> de logements et d'activités) et création de ZD\_R à Kuala Lumpur, qui intervient sur la ville nouvelle de Putrajaya et son Hôtel de Ville.

**2007** : L'agence livre le tramway du Mans. Ce projet sera suivi de plusieurs autres projets de tramway qui feront de l'agence une référence mondiale en ce domaine : Reims, Brest, Orléans, Casablanca, Tours, Liège, Sydney.

**2019** : Aujourd'hui, Richez Associés a plus de 30 ans de pratique. Forte de 80 collaborateurs, elle mène avec enthousiasme des projets de logements, de bureaux et d'équipements publics ; elle dirige des opérations d'aménagement à Montpellier, Paris, Cergy-Pontoise...

Elle est intervenant de référence en espaces publics, et leader de la conception urbaine des tramways. Elle est ouverte à l'international, de la Chine à l'Australie, en passant par l'Afrique. La Société du Grand Paris lui a confié trois gares du Grand Paris Express, et le centre de maintenance du premier tronçon de la Ligne 15.

Soucieuse de la qualité de sa production, et donc de son organisation, l'agence s'est dotée dès 2001 d'un système d'assurance-qualité selon la norme ISO 9001.

Par ailleurs, elle a initié la production sous BIM en 2014 : elle mène ainsi des démarches de conception collaborative sur maquette numérique et fournit à ses clients des livrables BIM permettant l'exploitation du bâtiment sur ce support.

### 3 PARTENARIATS

**PAUL ANDREU, ARCHITECTE PARIS (1)** : début 2009, Paul Andreu (aéroports de Roissy, Shanghai, opéra de Pékin) a rejoint les locaux de Richez Associés, et s'appuie depuis sur les équipes de l'agence pour développer, conjointement à Thomas Richez, des projets d'envergure : le musée de Tai Yuan, l'opéra de Jinan, la cité municipale de Bordeaux.

**ZD\_R** : l'agence a essaimé en Asie, avec la création en 1997 de Zaini dan Richez, animée par Zaini Zainul, qui est devenue en quelques années l'une des agences importantes de la scène architecturale malaisienne. L'agence travaille notamment sur la ville nouvelle gouvernementale de Putrajaya, en tant qu'urbaniste et architecte de l'Hôtel de Ville.

**GINKO & ASSOCIÉS** : pour concevoir de vrais projets bioclimatiques, l'agence a noué un partenariat avec le bureau d'études Ginko & Associés, particulièrement mobilisé sur les enjeux de l'énergie, de la construction bois et du développement durable.

1 - Paul Andreu est décédé le 13 octobre 2018.

Dans la suite des études, a pu être définie la palette d'aménagement complète du tramway, avec sa plateforme terre de Sienne et ses mobiliers, et a été décidée l'extension du projet à la Place des Nations Unies, devenue une place majeure de la ville.

Un accompagnement patient des études d'aménagement, produites par le bureau d'études CID, au sein du groupement mené par Systra, a permis la mise en œuvre d'un projet "qualité

14 & 15- Le tramway de Casablanca s'insère dans le quartier dit « Art déco ».

16- Le centre de congrès et d'exposition du Havre : une restructuration des anciens docks du quai de la Réunion.

17- L'immeuble One à La Défense dessiné par Farshid Moussavi et Richez Associés : un bâtiment très ouvert aussi contextuel qu'actuel.

18- Les bâtiments d'habitation au-dessus de la station Place Carnot du prolongement de la Ligne 11 du métro parisien.

19- Le projet de réhabilitation de la gare de Saint-Omer en collaboration avec l'agence Nathalie T'Kint.

piéton", cohérent, qui a fait date à Casablanca et au Maroc.

Les bases pérennes d'un projet d'embellissement de la ville - ou tout simplement d'insertion dans le respect du *genius loci*, et de l'identité casablancaise - ont été ainsi posées.

Parallèlement, le tracé des deux premières lignes a été précisé, d'est en ouest. L'avant-projet était bouclé fin 2008 : une phase opérationnelle pouvait démarrer... La mise en service est intervenue le 12 décembre 2012. Casablanca a retrouvé le boulevard Mohamed V, qui avait perdu son statut dans le fracas d'une circulation automobile particulièrement bruyante et découvert, apportée et pacifiée par le tram, une nouvelle place des Nations-Unies, ce grand espace urbain de centre-ville qui lui manquait.

### D'autres projets de tramways ou de métros sont-ils en cours ?

Les projets les plus avancés et les plus raisonnablement proches pour les tramways se situent à Liège, à Genève et à Sydney.

Pour le métro, l'agence est maître d'œuvre avec Systra et Artelia des quatre stations souterraines du prolongement de la Ligne 11 de la RATP : Serge-Gainsbourg, Place-Carnot, Montreuil-Hôpital et La-Dhuys.

La conception de ces quatre stations propose une alternance de solutions et d'espaces innovants tant au niveau des batteries d'ascenseurs que des espaces souterrains baignés de lumière naturelle et de murs végétaux ainsi que d'éléments renvoyant à une image familière du métro parisien tels que carrelage blanc biseauté, voûte, composition des quais...

Elle s'inscrit alors pleinement dans un dialogue entre mémoire et modernité. □

© RICHEZ ASSOCIÉS

18



© RICHEZ ASSOCIÉS

19





GEOMINES

# GÉRER LA POLLUTION PYROTECHNIQUE, À TERRE ET EN MER

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

LA PRISE EN COMPTE DU RISQUE DE POLLUTION PYROTECHNIQUE EST OBLIGATOIRE POUR LES COLLECTIVITÉS TERRITORIALES ET LES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS. EN EFFET, LES GUERRES DE 1870, 1914-18 ET 1939-45 ONT LAISSÉ SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS, MAIS AUSSI UN PEU PARTOUT EN EUROPE, DES TRACES DURABLES ET SUSCEPTIBLES D'ÊTRE DANGEREUSES EN RAISON DE LA PRÉSENCE DE BOMBES ET D'OBUS À DES PROFONDEURS VARIABLES, À TERRE COMME EN MER. LA DÉPOLLUTION PYROTECHNIQUE EST L'UNE DES ACTIVITÉS DONT GEOMINES S'EST FAIT UNE SPÉCIALITÉ, EN FRANCE COMME À L'ÉTRANGER AU SEIN DU GROUPE RISK&CO DONT ELLE CONSTITUE L'UNE DES ENTITÉS. CHRISTIAN JOFFRE, DIRECTEUR FRANCE DE GEOMINES, NOUS FAIT ENTRER DANS CET UNIVERS PEU CONNU DU PUBLIC, SAUF LORSQU'IL EST MALHEUREUSEMENT À L'ORIGINE D'INCIDENTS OU D'ACCIDENTS QUE CETTE ENTREPRISE A PRÉCISÉMENT POUR MISSION D'ÉVITER.

Geomines a été fondé en 2000 par Geo Velez, ancien chef de centre de déminage de la sécurité civile, et cette société est aujourd'hui l'une des filiales du Groupe Risk&Co. Créée en 1994, la société Risk&Co s'est d'abord développée par des activi-

tés d'accompagnement des entreprises en zones à risques dont elle assurait la sécurité des infrastructures et des expatriés.

En 2014, à la suite de l'entrée dans le capital du fonds Latour Capital, Risk&Co a diversifié ses activités notamment

**1 - Détection à l'aide d'un magnétomètre 3 sondes sur le fond du lac Vallès.**

par l'acquisition de Geomines. Cette acquisition a permis au groupe de proposer une offre globale de conseil et d'ingénierie en sûreté-sécurité, incluant des prestations de déminage, sur site terrestre mais aussi subaquatique, en France et à l'étranger.

« En clair, précise Christian Joffre, directeur France de Geomines, lorsque vous prenez en considération ce que l'on appelle la "sortie de guerre", par exemple au Moyen Orient, vous constatez que des zones ont été polluées par des faits de guerre et qu'il existe des risques d'instabilité. Geomines intervient alors tout autant pour sécuriser les zones de travail que pour assurer la protection des personnels intervenant sur ces sites. En Lybie, en Irak, en Syrie, par exemple, nous sommes prêts à intervenir au titre de la dépollution, mais nous ne l'avons pas encore fait, car la guerre n'est pas terminée et

© MARC MONTAGNON



2

## CHRISTIAN JOFFRE : PARCOURS

Christian Joffre est entré chez Geomines en 2013 avec le titre d'opérateur en dépollution pyrotechnique qui se justifiait par un passé dans la Marine Nationale et 18 ans de carrière en qualité de plongeur-démineur, dans un premier temps dans le cadre de la dépollution du littoral français, puis pour des opérations à caractère international avec démantèlement et neutralisation de tous types de munitions (torpilles, mines, bombes, missiles...).

Au sein de Geomines, il gravit alors successivement les différents échelons : responsable de chantier d'opération pyrotechnique, notamment de la dépollution du port de Cherbourg (2013-2014), puis celle de 1 200 hectares dans le camp militaire de Canjuers pour le programme CETIA (Centre d'Entraînement au Tir Inter-Armes) sur des zones extrêmement polluées puisque situées dans des polygones de tirs de très forte densité avec des munitions contemporaines (2015-2016).

À l'issue de cette campagne, Christian Joffre devient directeur des opérations de Geomines en France avant d'être nommé depuis l'été 2017, directeur France de Geomines, c'est-à-dire responsable de l'ensemble des opérations sur le territoire français.

Il est à la tête d'une équipe de 50 personnes dont 35 sur le terrain, au nombre desquelles 21 anciens démineurs de l'Armée.

2- De gauche à droite, Christian Joffre, directeur "France" de Geomines, Nathalie Felines, p-dg de Risk&Co et Éléonore Forget, directrice du développement international et du marketing de Risk&Co.

3- Relevé cartographique par couleurs par couleurs de bombes et/ou d'obus dans le parc d'activités Actiparc à Arras (Hauts de France).

4- Point de stockage de munitions avant destruction.

nous considérons, qu'en l'état actuel des choses, il ne nous est pas possible de garantir la sécurité tant de nos personnels que de ceux des entreprises qui pourraient être appelées à intervenir dans ce pays. Nous ne prenons aucun risque inconsidéré. Seules des formations au déminage ont été dispensées en Irak ».

## LA SÉCURITÉ SOUS TOUTES SES FORMES

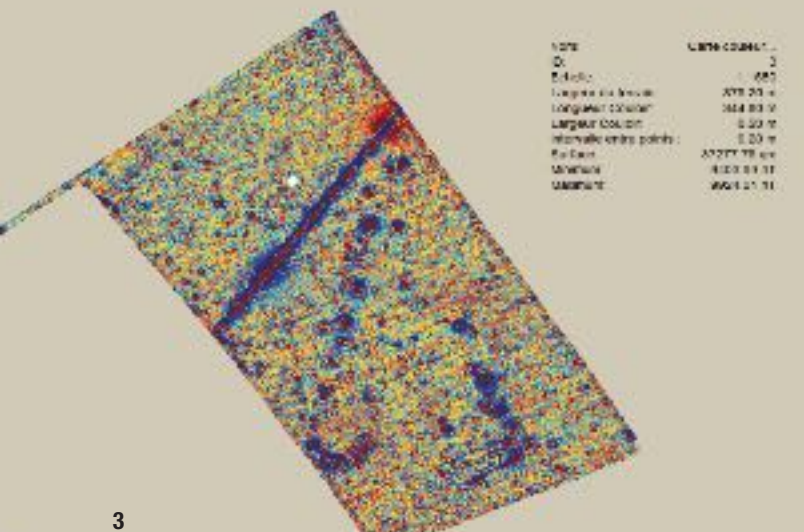
Risk&Co exerce ses activités dans cinq domaines majeurs :

- L'accompagnement des entreprises pour la sûreté de leurs voyageurs d'affaires, de leurs expatriés et de leurs installations situées en zones à risques ;
- L'intelligence stratégique ;
- L'ingénierie de sûreté-sécurité, notamment dans le domaine des infrastructures, de la sécurité incendie, de l'assistance à l'exploitation et au maintien en condition opérationnelle ;
- La cybersécurité (audit de cybersécurité et tests d'intrusion, mise en conformité et homologation en cybersécurité, cybersécurité des systèmes industriels et de sûreté-sécurité) ;
- Le déminage en milieu terrestre et maritime et le démantèlement de munitions (diagnostic de pollution pyrotechnique, sécurisation de sondages et de forages, dépollution pyrotechnique, évaluation technique de munitions, destruction de stocks de munition).



## RELEVÉ CARTOGRAPHIQUE PAR COULEURS DE BOMBES ET/OU D'OBUS

dans le parc d'activités Actiparc à Arras (Hauts de France)



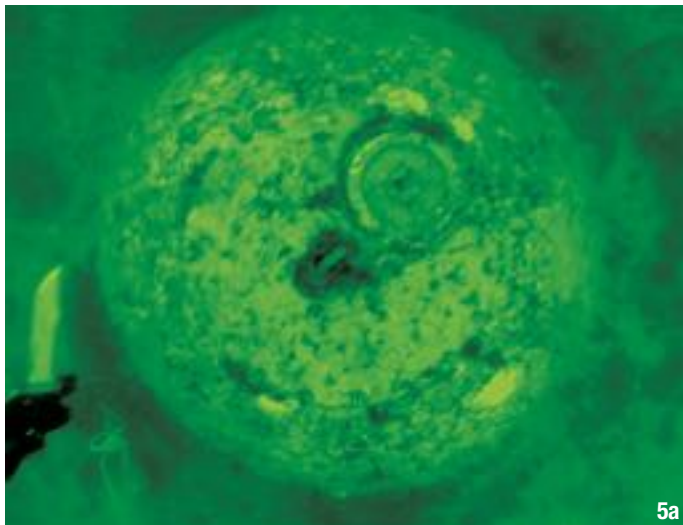
3

© GEOMINES



4

© GEOMINES



© GEOMINES

« Dans ce dernier domaine, indique Christian Joffre, Geomines intervient par exemple au Qatar où certains stocks de munitions sont devenus obsolètes. Il convenait donc de les répertorier, de les expertiser, de les démonter pour certains et les détruire à la suite d'une procédure logistique particulièrement élaborée, en conformité avec les normes en vigueur, afin d'éviter toute pollution accidentelle. Nous avons déployé sur ce chantier jusqu'à 25 opérateurs en raison de la quantité des stocks à répertorier. Des opérations similaires sont en projet dans plusieurs pays d'Afrique ».

**LES TROIS VOLETS DE GEOMINES**

Dans l'ensemble constitué par Risk&Co et ses différentes unités, l'activité proprement dite de Geomines a pour objectif d'accompagner ses clients dans l'intégralité de leurs besoins liés au déminage. Elle s'articule autour de trois volets : le diagnostic pyrotechnique, la sécurisation, la dépollution pyrotechnique.

Le diagnostic pyrotechnique, en phase amont, permet de répertorier et d'évaluer la présence, ou non, d'engins pyrotechniques non explosés.

La sécurisation de sondages et de forages s'exécute dans le cadre d'ex-

**5a- Découverte d'une mine allemande RMAK contenant 600 kg d'explosifs sur un fond de 15 m dans le port de Cherbourg.**

**5b- Destruction spectaculaire de la mine RMAK dans le port de Cherbourg.**

**6- Mise à jour et relocalisation de cibles potentielles après décapage sur 50 cm de profondeur.**

pansion d'activités, dans des zones situées à grande profondeur et pouvant dissimuler des engins pyrotechniques non explosés, que ce soit sur terre ou en milieu sous-marin.

La dépollution pyrotechnique, à la fois terrestre et maritime, intervient en veillant tout particulièrement à la conformité des actions de dépollution aux normes environnementales en vigueur.

Toutes les opérations se déroulent dans un cadre réglementaire définissant le théâtre et le niveau d'interventions suivant qu'il s'agit ou non de terrains militaires.



© GEOMINES

Christian Joffre donne à ce sujet les précisions suivantes : « Les terrains militaires sont régis par le décret n° 2005-1325 qui fixe les règles d'exécution des opérations de dépollution pyrotechnique comprenant le niveau de compétence et les distances d'isolement à respecter. Dans le cadre d'interventions réalisées pour le ministère

**7- Découverte d'engins explosifs dans le désert des Agriates en Corse.**

**8- Mise à jour avec risque toxique dans le lac Vallès près d'Angoulême.**

**9- Stockage de mines de diverse nature à Taïwan.**

## GEOMINES : MÉTHODOLOGIE ET CHIFFRES

La méthodologie des équipes de Geomines est adaptée aux spécificités du terrain. Elle se décompose comme suit :

- La signalisation.
- Le traitement éventuel des zones saturées par des diagnostics complémentaires.
- La localisation des anomalies magnétiques à mettre au jour.
- Le relevage des cibles (avec ou sans protection suivant leur position sur le site).
- L'identification et la neutralisation des munitions.
- La remise en état du terrain.
- Les opérations sont menées à l'aide d'outils de détection et d'engins spécifiques. En fonction du terrain et des cibles à traiter, les équipes privilégient une dépollution mécanique ou manuelle.

Quelques chiffres significatifs :

- 131 opérations de destruction de munitions en 2017.
- 212 tonnes de munition relevées en milieu terrestre et subaquatique entre 2014 et 2018.
- 21 anciens plongeurs démineurs de la Marine Nationale.
- 50 spécialistes du déminage.

des Armées, les entreprises de dépollution pyrotechniques sont en mesure d'exécuter l'ensemble des tâches, y compris la destruction des munitions, pour arriver jusqu'au nettoyage complet des terrains ».

« Lorsqu'on sort du périmètre des terrains militaires, les interventions sont régies par le code de la sécurité intérieure (article L4121-3 du code du travail) et doivent être réalisées par les services de déminage de l'État. Dans cette situation, l'intervention des entreprises de dépollution se limite à la préparation du terrain et au diagnostic (caractérisation et identification) ».

### DIAGNOSTIC DE POLLUTION PYROTECHNIQUE

Les diagnostics pyrotechniques sont réalisés dans le cadre de la réhabilitation d'emprises polluées par des engins pyrotechniques. La suspicion de pollution peut être basée sur la réalisation d'études historiques, la découverte d'engins lors d'opérations de terrassement ou sur la base d'enquêtes non techniques. Geomines réalise également des diagnostics pyrotechniques en milieu subaquatique dans le cadre de travaux d'infrastructures portuaires, d'implantation de champs d'éoliennes ou de pose de câbles sous-marins. La réalisation de ces études permet la conduite des opérations de dépollution pyrotechnique et de sécurisation de sondages ou de forages.

### ÉTUDE HISTORIQUE PRÉALABLE

Des zones à risque ont été répertoriées telles que la ligne de front de la guerre de 14-18 (600 km entre la Belgique et la Suisse sur une largeur moyenne de 20 km) ainsi que les zones de combat des guerres de 1870, 1914-1918 et 1939-1945.

« Sur le front de 14-18, un peu plus de 1 milliard de projectiles a été tiré, précise Christian Joffre, (jusqu'à 6 projectiles au mètre carré à Verdun) dont 15 à 25 % n'ont pas fonctionné, ce qui donne une idée de l'ampleur de la tâche, même si la plupart des projectiles en surface ont déjà été retirés par les exploitants agricoles, il en reste beaucoup en profondeur ».

Lorsqu'une zone à risque est recensée, l'obligation pour les collectivités territoriales et les entreprises de Travaux Publics, est d'établir une étude historique pour mettre en évidence la présomption de pollution pyrotechnique, tant pour la réalisation d'infrastructures que dans le cadre d'une cession de terrain.



7



8



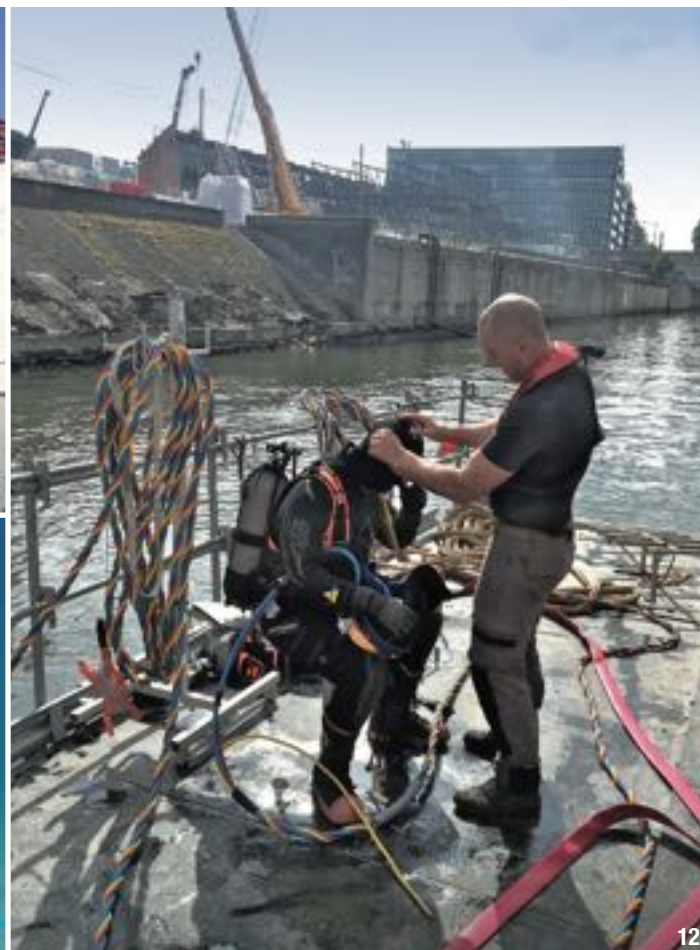
9



10



11



12

© GEOMINES

Elle qualifie et quantifie le risque munitionnaire résiduel, tout en estimant sa répartition sur le site étudié. Les conclusions des études historiques sont prises en considération lors de la phase conception d'un projet structurant d'éventuelles investigations de terrain. Elle peut entraîner la conduite d'opérations de recherches, de neutralisation, d'enlèvement et de destruction des munitions, pièges, engins et explosifs. La pollution pyrotechnique concerne tous les types de munitions, qu'elles aient été tirées (munitions d'artillerie, mortiers, roquettes), larguées (bombes, sous-munitions, mines marines, torpilles), lancées (grenades) ou posées (mines terrestres).

En raison de la complexité de leur mécanisme de mise à feu et de leurs conditions de mise en œuvre (sol trop meuble, altitude trop basse), un pourcentage important des munitions utilisées lors des derniers conflits mondiaux n'a pas détoné.

Tout ou partie de ces munitions est susceptible d'être retrouvé sur les sites militaires ou d'essais, les zones de combat (guerres de 1870, 1914-1918, 1939-1945), ou plus généralement sur toute infrastructure présentant un inté-

## RISK & CO : DATES-CLÉS

**Créé en 1994, le Groupe Risk&Co est le leader français du conseil et de l'ingénierie dans les domaines de la sûreté-sécurité et de la gestion des risques en France et à l'international.**

**Le groupe emploie 220 collaborateurs dont 50 % sont basés à l'étranger et réalise 60 % de son chiffre d'affaires à l'international.**

**Il dispose de deux filiales dans la zone Afrique et d'une au Moyen-Orient. Depuis 2018, le groupe est présidé par Nathalie Félines tandis que la direction "Internationale" de Geomines est assurée par Éléonore Forget et la direction "France" par Christian Joffre.**

**Quelques dates précisent son évolution :**

**1994 : fondation du groupe par Bruno Delamotte.**

**2007 : création des filiales d'Afrique du Sud et du Nigéria.**

**2008 : création de la marque Risk&Co.**

**2011 : création de la filiale de Dubaï.**

**2014 : entrée au capital du Fonds Latour Capital et de ECAS LGT Capital.**

**2014 : diversification des activités avec l'acquisition de Geomines et du bureau d'études en sûreté-sécurité Epsilon-Consultants.**

**2015 : lancement des activités d'expertise en cybersécurité avec l'acquisition de Secway.**

**2017 : commercialisation du drone OSB 17.**

**Les prestations proposées par Risk & Co s'adressent à des institutions publiques telles que les services d'infrastructures du ministère des Armées (ESID / USID / PMO) et les collectivités territoriales. Dans le secteur privé, les entreprises de travaux, les groupes en charge de l'installation d'infrastructures pour l'énergie et les sociétés exerçant dans les domaines du transport et des activités portuaires (maritimes et fluviales), sont ses clients privilégiés.**

**10- Le navire Ovni support des équipes de scaphandriers de Geomines.**

**11- Scaphandrier-opérateur en relocalisation de cible au fond d'un port.**

**12- L'un des scaphandriers en préparation d'opération.**

rêt stratégique lors d'un conflit (ports maritimes et fluviaux, gares de triage, sites de production, dépôts de carburant, centres de stockage).

« Sur le port de Cherbourg, par exemple, poursuit Christian Joffre, en 2014, dans le cadre d'un chantier de dépollution pour le compte de Ports Normands Associés (PNA), une mine allemande datant de la seconde guerre mondiale contenant 600 kg d'explosifs posée sur un fond de 15 mètres a été découverte par une équipe de plongeurs de Geomines lors de travaux de remblaiement pour une extension des infrastructures ».





© GEOMINES

13

**13- Magnéto-  
mètre 5 sondes  
en détection  
d'obus ou de  
bombes sur le  
quai d'un port.**

**14- Chantier de  
la porte de Ver-  
sailles, à Paris,  
sur lequel ont été  
mis en évidence  
des obus datant  
de la guerre de  
1870 !**

**15- Opération de  
détection à l'aide  
d'un magnéto-  
mètre 8 sondes  
sur une piste de  
8 km de longueur  
dans les Landes.**

Lorsque les méthodes traditionnelles de diagnostic pyrotechnique se révèlent insuffisantes, Geomines réalise des prestations de sondage à très grande profondeur. Ces recherches peuvent se dérouler aussi bien à terre qu'en mer. Elles permettent d'écartier le risque de forer avec une tige de forage à l'endroit où serait enfoui un éventuel engin pyrotechnique. La découverte, le cas échéant, d'engin pyrotechnique ouvre la voie à des opérations de dépollution pyrotechnique des sols.

Pour les recherches et les campagnes de dépollution pyrotechnique des sols à partir de la surface, les opérateurs de Geomines sont dotés d'EPI spécifiques et de plusieurs types de matériels en fonction des terrains rencontrés et de la nature des objets recherchés : détection magnétométrique (Magnex 120, 3 à 8 sondes, vapeur de césium...), détection électromagnétique (UPEX 740M, Minelab F3, EM61 MK2...) et GéoRadar (SIR 3000 mono sonde et Stream X multi antennes).



14

Geomines dispose également du matériel permettant d'effectuer des diagnostics maritimes (sonar, magnétomètre, sondeur de sédiments). De tels matériels ont été utilisés pour la dépollution du lac Vallès, près d'Angoulême, ainsi que sur plus de 200 hectares dans le désert des Agriates en Corse et sur plus de 3000 hectares dans le camp militaire de Canjuers dans le Var.

« Récemment, sur le chantier sub-aquatique de la future gare "Pont

de Sèvres" du Grand Paris Express, indique Christian Joffre, la campagne de diagnostic pyrotechnique a nécessité la mise en œuvre de trois moyens de levées géophysiques de reconnaissance : magnétométrie, sonar et pénétrateur de sol dont les valeurs ont été analysées et rapprochées afin d'affiner l'indice de confiance en vue d'isoler des cibles présentant un caractère dangereux ». En effet, lorsque les instruments traditionnels

atteignent leurs limites technologiques, les équipes de Geomines mettent en œuvre des sondes spécialement conçues pour les zones de forages : le système est composé d'une sonde magnétométrique, d'une interface de digitalisation des mesures DLM 98 ainsi que d'un logiciel d'exploitation des données Magneto BM (Technique Borehole). Il permet de réaliser des mesures d'anomalies magnétiques sur une ou plusieurs zones de forages, afin d'obtenir la localisation précise d'une cible potentielle, que ce soit pour réaliser des sondages en milieu terrestre ou explorer des zones de forage en milieu sous-marin.



15

© GEOMINES

### À PARIS, DES OBUS DE LA GUERRE DE... 1870 !

C'est ainsi qu'à Paris, sur le chantier de rénovation des halls du parc des expositions de la Porte de Versailles, des obus ont été repérés à 17 mètres de profondeur. Les forages réalisés sur le site ont permis de mettre en évidence qu'ils étaient situés dans une ancienne carrière à ciel ouvert remblayée depuis et dataient de la guerre de 1870, au cours de laquelle Français et Prussiens s'étaient affrontés dans ce qui constituait à l'époque une zone de fortifications. Sur ce chantier, Geomines a mis en place jusqu'à 12 opérateurs pour sécuriser tous les postes de travail des entreprises Léon Grosse et Brézillon. Parmi les opérations en cours en France, dans le cadre de ses activités de déminage, Geomines intervient depuis septembre 2018 au profit du ministère des Armées. Les prestations portent sur la réalisation d'une opération de dépollution pyrotechnique d'un ancien champ de tir, situé à Saint-Clair-sur-Galaure, en Isère, et placé sous la direction de l'Armée de terre. ▷



À ce jour, cette opération a permis de traiter une surface d'environ 1 hectare, avec la découverte de plus de 500 munitions, dont 54 actives. Le traitement des munitions actives, datant de 1890 à nos jours, se fait par fourneaux et leur destruction a lieu de manière quasi-hebdomadaire.

« L'expertise des cinq opérateurs de Geomines, déployés pour l'occasion, précise Christian Joffre, est mise à contribution pour dépolluer efficacement ces sols particulièrement saturés. Ceux-ci nécessitant d'ailleurs un premier décapage, suivi d'une étape de détection, puis d'une dépollution avant d'être remis en état pour confier aux entreprises en charge des travaux de réaménagement un complexe de tir sûr. Le danger d'explosion non contrôlé d'engins pyrotechniques ne peut être négligé ».

Le travail des experts de l'entreprise est indispensable pour assurer la continuité de l'activité et garantir un usage sécurisé de certains terrains, qu'ils soient militaires comme sur ce chantier, ou civils comme cela a été le cas tout aussi récemment sur un chantier conduit au profit de Toulouse Métropole dans le cadre du projet Hyperloop.

Pour ce projet, deux opérations sont en cours sur les terrains de l'ancienne base militaire de Francazal (55 hec-



16

© GEOMINES

tares) dont la dépollution pyrotechnique a été confiée à Geomines : dans un premier temps, la réalisation d'une piste d'essai provisoire de 320 mètres de long qui est opérationnelle depuis la fin de l'année 2018 puis, dans un second temps, depuis le mois de novembre 2018, la construction d'une piste d'un kilomètre montée sur des pylônes de près de six mètres de hauteur.

**16- Vue aérienne d'un terrain préparé à l'aide d'un broyeur forestier automoteur Galotrax.**

**17- Détection à l'aide d'un magnétomètre 3 sondes.**

« À cet effet, ajoute Christian Joffre, le site de Francazal fait ainsi l'objet d'importants travaux de dépollution. Il faut désamianter l'ancien mess des officiers et vérifier la pollution des sols en hydrocarbures (dépollution chimique). Par ailleurs, la dépollution dite pyrotechnique doit permettre de détecter de potentielles bombes datant de la Seconde guerre mondiale ».



17

© GEOMINES

Le projet futuriste de train subsonique, circulant à une vitesse moyenne de l'ordre de 600 à 700 km/h, est développé par la société californienne Hyperloop Transportation Technologies (HTT) à Toulouse avec l'ambition de créer une ligne entre Paris-Orléans-Toulouse via Limoges<sup>(1)</sup>.

### DES VALEURS RECONNUES

Partenaires d'institutions régaliennes et d'entreprises confrontées à des situations de crise, les collaborateurs de Geomines et du Groupe Risk&Co ont développé un esprit de service qui les singularise.

Leur fiabilité, leur sens du devoir et leur probité sont les fondements d'une éthique professionnelle qui leur est reconnue à travers le monde.

« Conscient de la sensibilité des projets qu'il conduit, conclut Christian Joffre, Geomines s'est fixée des exigences déontologiques et éthiques fortes, conformément à la norme ISO 37001. Dans la conduite de ses projets, l'entreprise se conforme aux engagements du Pacte mondial des Nations Unies relatif aux Droits de l'Homme, au droit du travail et à la protection de l'environnement. Elle respecte le cadre juridique de chaque pays d'intervention et contribue par son action (Compliance & Due diligence) à l'application des législations internationales relatives aux actes de corruption et de manquement à la probité ».



18  
© GEOMINES

Forts d'une clientèle historique dans le secteur des industries de pointe (énergies, pharmacie, transports), progressivement élargie à d'autres secteurs (défense, institutions publiques, bailleurs de fonds internationaux, banque et assurance, luxe, hôtellerie, retail, ...), ses experts, consultants, analystes et ingénieurs-conseil conduisent des projets sensibles et à forte valeur ajoutée stratégique. □

1- C'est en 2013, que Elon Musk, le pdg de la société californienne Tesla Motors a évoqué cet incroyable projet. Il a imaginé des capsules circulant à une vitesse de 1200 km/h. Le tout, en étant en lévitation sur des coussins d'air et propulsées par un champ magnétique généré par des moteurs à induction. Un nouveau mode de locomotion qui révolutionnera peut-être complètement l'histoire des transports sur rails.

**18- Destruction de bombes allemandes datant de la deuxième guerre mondiale à Toulouse.**

**19- Le drone OSB 17 sur sa rampe de lancement.**

**20- Le drone OSB 17 (One Step Beyond) développé par Risk&Co en partenariat avec Delair.**

## LE DRONE ONE STEP BEYOND 17 (OSB 17)

Le drone OSB 17 est l'un des derniers développements de Risk&Co réalisé en partenariat avec Delair.

Il s'agit d'un drone multi-mission dédié au renseignement. Ses opérateurs ont la possibilité d'effectuer des missions de surveillance avec le capteur optronique EO/IR, des missions de reconnaissance avec le LIDAR et des missions de renseignement avec l'IMSI Catcher 2G, 3G et 4G.

Le drone est équipé d'un seul capteur à la fois, en fonction de l'objectif de la mission. Un capteur se remplace en moins de 10 minutes.

L'OSB 17 a été spécialement conçu pour mener des opérations de surveillance et de reconnaissance qui nécessitent une très haute qualité de vidéo EO/IR, de la discrétion, de la robustesse et une compatibilité avec les standards militaires en termes de chiffrement et de transmission des données. L'OSB 17 est équipé d'un capteur optronique EO/IR offrant des qualités de stabilisation d'image uniques et la possibilité de détecter et de suivre des cibles multiples, en temps réel.

L'IMSI Catcher tactique permet la collecte d'informations IMSI & IMEI, la recherche de direction des téléphones mobiles cibles et le blocage des services mobiles de manière globale ou sélective. Les informations recueillies peuvent être analysées en temps réel ou hors-ligne. La cartographie et la fonction DF (Direction Finding) accélèrent la recherche de la cible et facilitent les opérations.



19



20

© GEOMINES

© ROMAIN LAPORTE



1  
© NGE FONDATIONS

# GRAND PARIS EXPRESS LIGNE 15 SUD - PAROIS MOULÉES ET POTEAUX PRÉFONDÉS SUR L'ARRIÈRE GARE DE NOISY-CHAMPS

AUTEURS : DOMINIQUE BLANC, DIRECTEUR DES ÉTUDES, NGE FONDATIONS - BENOIT MARTIGNY, CHEF DE PROJET TRAVAUX, NGE FONDATIONS - MATTHIAS LANZA, CHEF DE PROJET ÉTUDES, NGE FONDATIONS

L'ARRIÈRE-GARE DE NOISY-CHAMPS (LOT T2E DE LA LIGNE 15 SUD), DEUXIÈME LOT ATTRIBUÉ DES NOUVELLES LIGNES DU GRAND PARIS EXPRESS, EST CONSTITUÉE D'UN OUVRAGE DE DÉBRANCHEMENT, D'UNE TRANCHÉE COUVERTE ET D'UN OUVRAGE DE VENTILATION. LES TROIS OUVRAGES ONT ÉTÉ RÉALISÉS À L'ABRI DE PAROIS MOULÉES. LA CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE DE DÉBRANCHEMENT A NÉCESSITÉ LA MISE EN ŒUVRE DE POTEAUX PRÉFONDÉS MÉTALLIQUES PROVISOIRES DE TRÈS FORTE CAPACITÉ.

## LE PROJET

Le lot T2E consiste en la construction de l'arrière-gare de Noisy-Champs sur les communes de Noisy-le-Grand et de Champs-sur-Marne dans le cadre de la création de la Ligne 15 Sud du Grand Paris Express. Projet adjacent à la future

gare de Noisy-Champs, terminus à l'Est des Lignes 15 et 16, il est décomposé en trois ouvrages continus sur environ 500 m : un ouvrage de débranchement, une tranchée couverte et l'ouvrage de ventilation OA 0801P (figure 2). Sur son intégralité, le projet est enterré

**1- Poteaux  
préfondés.**

**1- Plunge  
columns.**

jusqu'à 25 m de profondeur et réalisé à l'abri de soutènements en paroi moulée d'épaisseur 0,80 m à 1,20 m. Lors de son exploitation, l'arrière-gare aura pour fonction la régulation du trafic, permettra le retournement des trains et servira de voies de garage pour la Ligne 15.

## VUE EN PLAN GÉNÉRALE DU PROJET

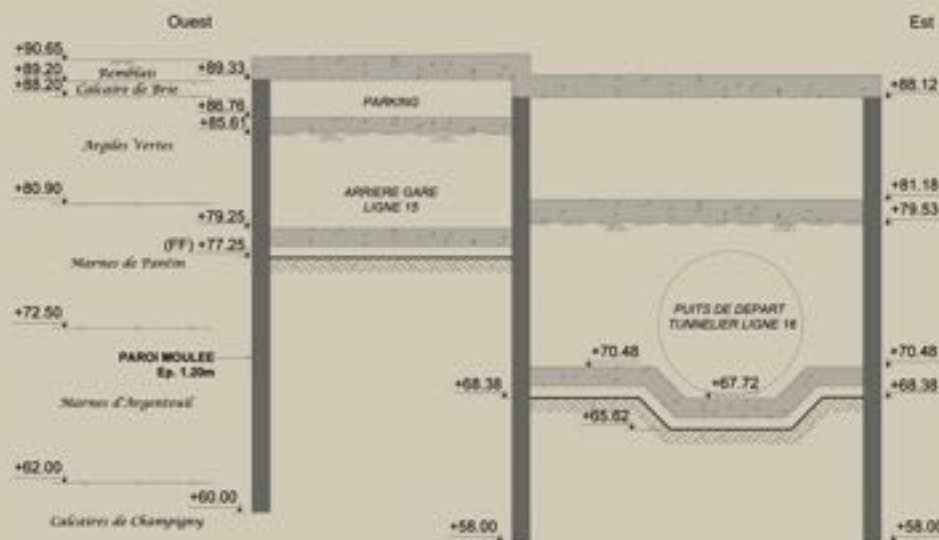


2- Vue en plan générale du projet.

3- Coupe transversale sur l'Ouvrage de Débranchement (Zone puits de départ Ligne 16).

4- Vue 3D de l'Ouvrage de Débranchement.

## COUPE TRANSVERSALE SUR L'OUVRAGE DE DÉBRANCHEMENT (Zone puits de départ Ligne 16)

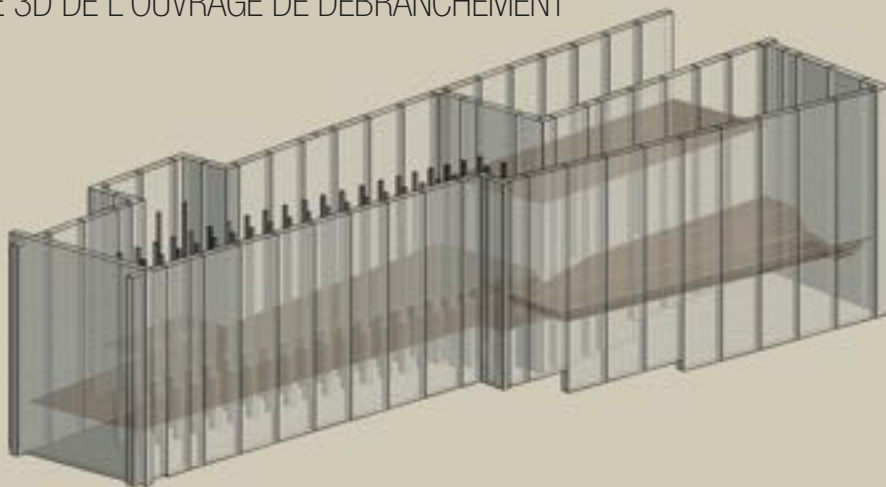


2- General plan view of the project.

3- Cross section of the marshalling structure (Line 16 starting shaft area).

4- 3D view of the marshalling structure.

## VUE 3D DE L'OUVRAGE DE DÉBRANCHEMENT



provisoire en paroi armée au coulis a également été réalisé.

La liaison avec les dalles de l'infrastructure est assurée par des coupleurs intégrés aux cages d'armatures de paroi moulée. Les pentes des dalles étant variables en fonction des niveaux, de nombreuses cages d'armatures ont été rendues singulières (99 types de cages différents pour 118 unités mises en œuvre pour l'ouvrage de débranchement).

La complexité géométrique de l'ouvrage se traduit également par le décalage des fonds de fouille au niveau de l'entonnement. Cette asymétrie de l'infrastructure induit de fortes sollicitations dans la paroi centrale en raison de la concentration d'efforts dans les dalles. Les études d'exécution ont permis de justifier cette paroi en section plane d'épaisseur 1,20 m, optimisant ainsi une conception initiale en paroi à contreforts.

Enfin, la partie Est de l'entonnement a également la fonction provisoire de puits d'introduction et de lancement pour un tunnelier de la Ligne 16.

La conception prévoit donc un radier en berceau et l'intégration d'armatures en fibres de verre dans les cages de panneaux de paroi moulée devant être percées (figures 3 et 4).

### OUVRAGE DE DÉBRANCHEMENT

L'ouvrage de débranchement est l'ouvrage principal, regroupant les principales problématiques techniques du projet. La fondation de l'ouvrage est assurée par la paroi moulée et une

double rangée de pieux dans la partie centrale.

Le terrassement est réalisé en taupe. Compte tenu de la portée des dalles entre parois périmétriques comprise entre 20 m et 30 m, des poteaux métalliques profondés ont été mis en

œuvre et fichés dans les pieux de fondation pour servir d'appui provisoire des dalles, avant coulage du voile en béton central à la remontée.

L'ouvrage de débranchement étant contigu à la future gare et construit avant cette dernière, un soutènement

### LE CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Le site se trouve en bordure du plateau de Brie, présentant un dénivelé de l'ordre de 10 m sur les 500 m du projet. ▷



Sous une couche de Calcaire de Brie érodée, le terrain est constitué d'une succession d'argiles et marnes sur la hauteur des fouilles à soutenir.

Le site est également le siège de plusieurs nappes. Une nappe libre superficielle dans les terrains de couverture reposant sur les Argiles Vertes et une nappe captive dans les Marnes de Pantin, dont le mur correspond aux Marnes d'Argenteuil en bas. Compte tenu des aquifères, ces nappes sont peu productives.

Pour l'ouvrage de débranchement uniquement, l'ancrage des parois moulées et des pieux est effectué dans le Calcaire de Champigny sur plusieurs mètres. Cet horizon, induré dès son toit à environ 28 m de profondeur, présente des bancs rocheux et des éléments siliceux abrasifs. Un cutter hydraulique pour la paroi moulée, et un carottier pour les pieux, ont été nécessaires pour exécuter l'ancrage des ouvrages de fondation (figure 5).

### POTEAUX PRÉFONDÉS

L'ouvrage de débranchement a été réalisé selon la méthodologie du terrassement en taube : ce procédé consiste à réaliser dans un premier temps tous les éléments de fondation porteurs de la structure, puis dans un second temps, à exécuter à la descente des terrassements les différents niveaux de dalle. Cette méthodologie permet de s'affranchir de butons provisoires, le butonnage des parois étant assuré par les dalles de l'ouvrage.

Pour l'ouvrage de débranchement, les éléments de fondation porteurs sont :



5

© NGE FONDATIONS

→ Une paroi moulée périmétrique de 1,20 m d'épaisseur ancrée à 32 m de profondeur jouant le rôle de paroi de soutènement et de barrière hydraulique vis-à-vis de la nappe phréatique ;

→ 41 poteaux profonds servant d'appuis provisoires afin de recouper les portées des différentes dalles.

Chaque poteau profond est constitué d'un profilé métallique dont la base est ancrée de 7 m dans des pieux en béton armé de 1,50 m de diamètre (figures 6 et 7).

Le critère dimensionnant de ces poteaux est le flambement en raison des hau-

5- Vue aérienne du chantier.

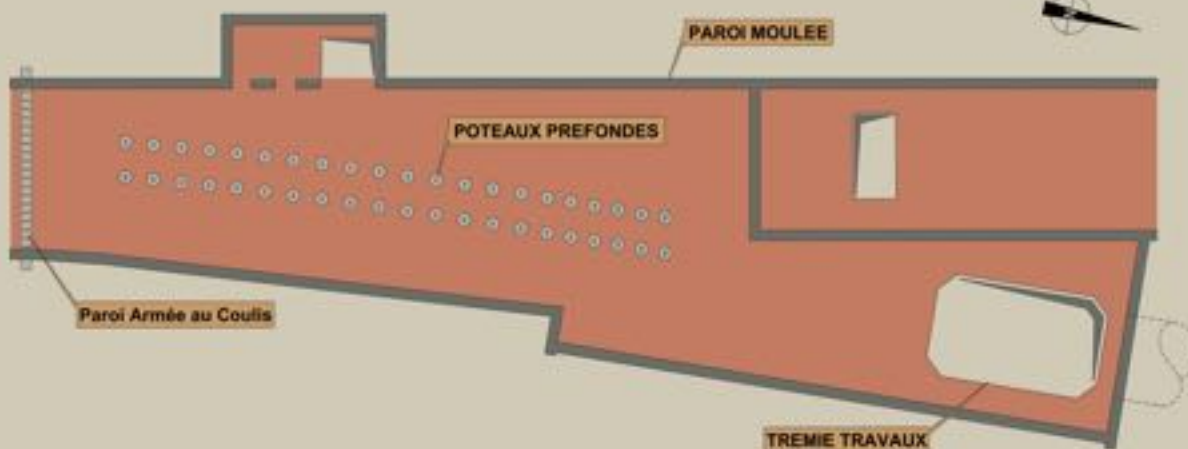
6- Vue en plan de l'ouvrage de Débranchement.

5- Aerial view of the site.

6- Plan view of the marshalling structure.

teurs libres entre dalles de l'ordre de 10 m et des charges importantes à reprendre de 500 t à 800 t par poteau. Le type de section de profilé retenu est une section spéciale correspondant au profilé HD d'Arcelor Mittal, particulièrement adapté à la réalisation de poteaux du fait de sa forte capacité au flambement contrairement aux sections traditionnelles de type I ou H (poutrelles) : ces sections spéciales de type HD sont de dimensions extérieures 428 mm x 483 mm et d'épaisseurs respectives 82 mm pour les ailes et 51 mm pour l'âme, pour les sections les plus importantes (figure 8).

### VUE EN PLAN DE L'OUVRAGE DE DÉBRANCHEMENT



6

© NGE FONDATIONS

7- Coupe transversale sur l'Ouvrage de Débranchement (Zone préfondés).

8- Stockage des poteaux préfondés.

7- Cross section of the marshalling structure (plunge-column area).

8- Plunge-column storage.

## RÉALISATION DES POTEUX PRÉFONDÉS

La méthodologie de pose des poteaux préfondés se décompose de la manière suivante :

→ Réalisation du forage des pieux à l'aide d'un atelier au Kelly.

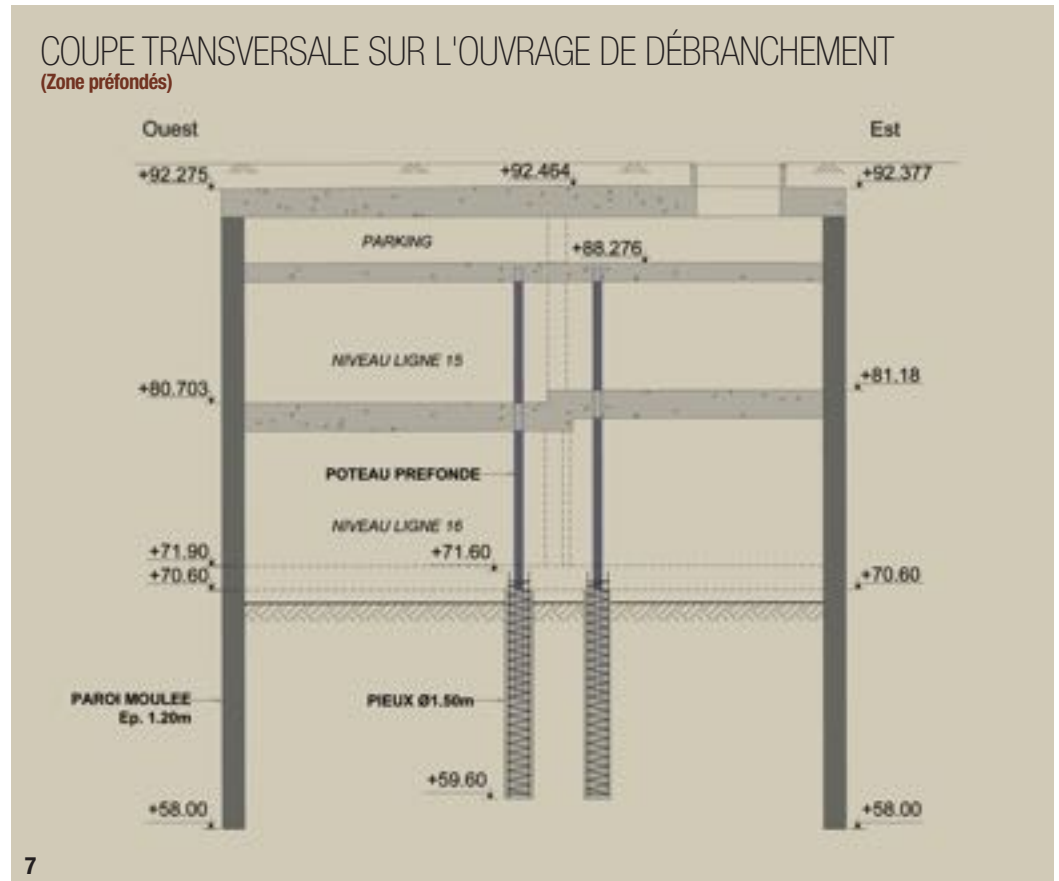
Mise en place des cages d'armatures en partie basse pour la partie en béton armé servant de fondation au poteau.

→ Bétonnage à la colonne sur la hauteur à bétonner.

→ Mise en place des profilés métalliques dans les pieux ainsi réalisés.

→ Remplissage du vide autour du poteau en matériau granulaire.

Pour la réalisation du chantier, trois contraintes importantes ont été à prendre en compte. Tout d'abord, une pose en arase basse, c'est-à-dire une pose de manière à caler la tête du pro-



7

© NGE FONDATIONS

filé à 5 m sous le niveau de la plateforme de travail. Ensuite, une tolérance de pose de 1% en verticalité afin de réduire le faux aplomb mais surtout pour respecter l'implantation des différents points d'appui pour les dalles du projet. Enfin, la dernière contrainte a été engendrée par les dimensions spéciales et le poids des profilés métalliques.

### POSE EN ARASE BASSE

Pour assurer la pose en arase basse à 5 m sous le niveau de la plateforme de travail, un châssis métallique spécial long de 8 m a été conçu et fabriqué pour permettre de prolonger physiquement et provisoirement le profilé métallique lors de sa pose. Ce châssis est mis en place après la réalisation du

pieu et sert de guide de pose pour le calage du profilé.

La conception de ce châssis est faite de manière à permettre une adaptation du guide à différentes sections de profilés.

Ses supports sont également réglables afin de modifier et contrôler son inclinaison (figure 9).



© NGE FONDATIONS

8



9

© NGE FONDATIONS

### TOLÉRANCE DE POSE

Les profilés métalliques étant mis en œuvre dans un pieu réalisé au préalable, il était essentiel de maîtriser la verticalité du forage.

Pour ce faire, il a été décidé de réaliser l'excavation à l'aide d'une foreuse Mait 260 HR équipée d'un kelly pour obtenir un meilleur guidage de l'outil sur la hauteur totale à forer qui est de 30 m en moyenne. Pour déstructurer les passages les plus durs du terrain, un carottier a été employé.

Pour garantir une verticalité de forage inférieure à 1 %, l'outil de forage a été équipé d'un capteur inclinomé-

trique Prad de l'entreprise Jean Lutz afin de mesurer la déviation du forage en temps réel et de procéder le cas échéant, à sa rectification (figure 10).

### DIMENSIONS ET POIDS

Pour la réalisation du chantier, le choix s'est porté sur une conception de poteau métallique en un seul élément de 24,5 m pour les poteaux les plus longs.

Cette solution technique présente l'avantage de s'affranchir des assemblages sur chantier par boulonnage ou par soudure. Elle réduit en conséquence le nombre d'éléments à manutentionner

**9- Chassis de guidage des poteaux profondés.**

**10- Pose d'un poteau profondé.**

**9- Plunge-column guide frame.**

**10- Placing a plunge column.**

et garantit aussi une meilleure maîtrise de la pose.

Dans le même esprit, pour s'affranchir des assemblages délicats entre les poteaux et les dalles, des corbeaux métalliques composés de platines et de goussets ont été conçus pour être intégrés directement aux profilés.

En tout, ce sont 495 t de profilés métalliques livrés au chantier en convoi exceptionnel de 28 m de long, qui ont fait l'objet d'une commande spéciale pour laminage à chaud par Arcelor Mittal, avant de donner lieu à tout un ensemble d'opérations de parachèvement :



10

© NGE FONDATIONS



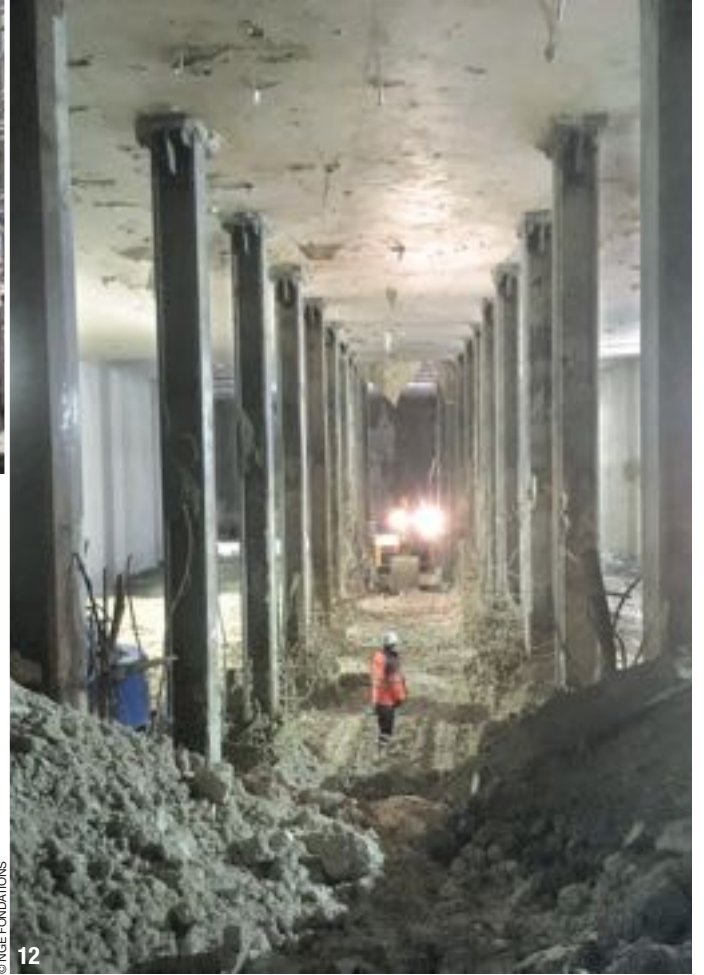


© NGE FONDATIONS  
11

- Mise en place des anneaux de levage pour permettre le chargement, le déchargement des poteaux mais aussi leur mise en place en toute sécurité compte tenu du poids (18 t pour les profilés les plus lourds) ;
- Réalisation des percements utiles à la suspension verticale des poteaux une fois en place dans la fondation ;
- Intégration des platines métalliques de connexion dont la soudure au profilé a été réalisée en quinze passes contrôlées en usine (figure 11). □

**11- Platine de connexion poteau-dalle.**  
**12- Terrassement en taube de l'Ouvrage de Débranchement.**

**11- Column-slab connection plate.**  
**12- Underground earthworks for the marshalling structure.**



© NGE FONDATIONS  
12

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**LINÉAIRE DE PAROI MOULÉE : 1300 m**  
**SURFACE DE PAROI MOULÉE : 27 000 m<sup>2</sup>**  
**BÉTON DE PAROI MOULÉE ET DE PIEUX : 26 350 m<sup>3</sup>**  
**ARMATURES DE PAROI MOULÉE ET DE PIEUX : 2 660 t**  
**POTEAUX PRÉFONDÉS : 41 u/495 t**

## INTERVENANTS DU PROJET

**MAÎTRISE D'OUVRAGE : Société du Grand Paris**  
**ASSISTANT MAÎTRISE D'OUVRAGE : Artemis**  
**MAÎTRISE D'ŒUVRE : Systra**  
**BUREAU DE CONTRÔLE : Apave - Veritas**  
**GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Léon Grosse (Mandataire) - Nge Fondations**

## ABSTRACT

### GRAND PARIS EXPRESS LINE 15 SOUTH - DIAPHRAGM WALLS AND PLUNGE COLUMNS ON THE NOISY-CHAMPS TURNAROUND SECTION

DOMINIQUE BLANC, NGE FONDATIONS - BENOIT MARTIGNY, NGE FONDATIONS - MATTHIAS LANZA, NGE FONDATIONS

**Construction of the Line 15/Line 16 marshalling structure, at the level of the Noisy-Champs turnaround section (work section T2E of Line 15 South of the 'Grand Paris Express' project), required the installation of about forty temporary steel plunge columns of capacity 500 to 800 tonnes. The installation of these columns was a real technical challenge, due to the numerous constraints faced: column weight (up to 18 tonnes), placing on a low levelling course using a special chassis, small verticality tolerance (1%) and great excavation depth (25 metres). The construction drawings produced in-house by the contractor's engineering office and executed in close consultation with the works teams made it possible to incorporate the execution methods defined in the preparation phase. □**

### GRAND PARIS EXPRESS LÍNEA 15 SUR - PANTALLAS DE HORMIGÓN Y POSTES PRECIMENTADOS EN LA ESTACIÓN DE MANIOBRAS DE NOISY-CHAMPS

DOMINIQUE BLANC, NGE FONDATIONS - BENOIT MARTIGNY, NGE FONDATIONS - MATTHIAS LANZA, NGE FONDATIONS

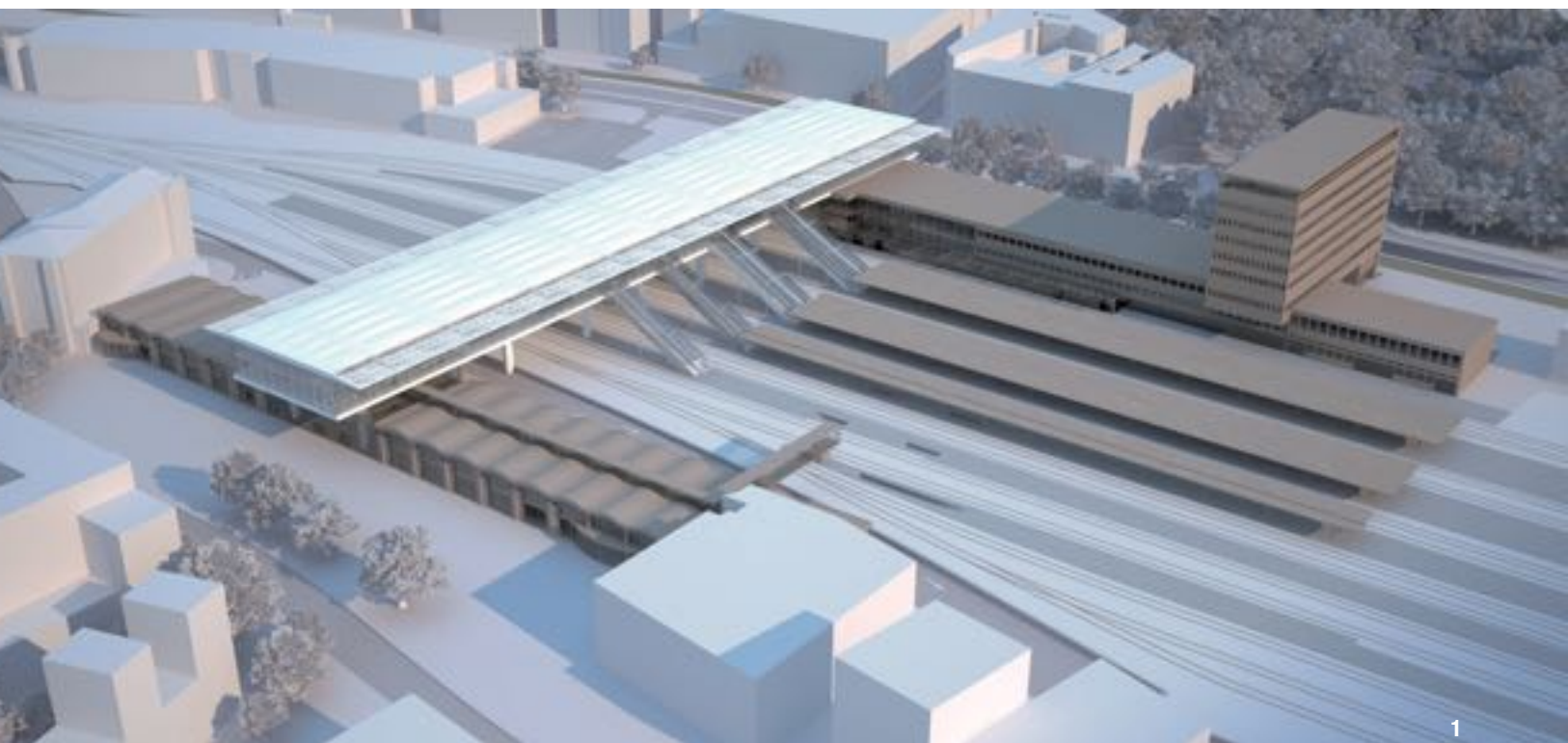
**La construcción de la obra de desconexión Línea 15/Línea 16 a nivel de la estación de maniobras de Noisy-Champs (lote T2E de la Línea 15 sur del Grand Paris Express) ha requerido la instalación de unos cuarenta postes metálicos precimentados provisionales con una capacidad de 500 a 800 t. La instalación de estos postes ha supuesto un gran desafío técnico a causa de las múltiples dificultades halladas: peso de los postes (hasta 18 t), instalación a ras del suelo mediante un chasis especial, baja tolerancia de verticalidad (1%) y profundidad de excavación importante (25 m). Los estudios de ejecución elaborados por el gabinete de estudios de la empresa en estrecha concertación con las obras han permitido integrar los métodos de ejecución definidos en la fase de preparación. □**



# LE PÔLE D'ÉCHANGES MULTIMODAL DE LA GARE DE NANTES

AUTEURS : DAVID COUDRET, CONDUCTEUR DE TRAVAUX, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - NICOLAS DEMANGECLAUDE, CADRE MÉTHODES, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - GUILLAUME MOREL, DIRECTEUR PROJET GARE DE NANTES, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - MAXIME VILLANI, RESPONSABLES STRUCTURES, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

RENDU NÉCESSAIRE PAR L'ACCROISSEMENT PRÉVU DU TRAFIC VOYAGEURS (25 MILLIONS DE VOYAGEURS PRÉVUS EN 2030, CONTRE 11 MILLIONS EN 2009), LE CHANTIER DU PÔLE D'ÉCHANGES MULTIMODAL RÉPOND AUX EXIGENCES D'UN PROGRAMME AMBITIEUX : RESTRUCTURER LES GARES EXISTANTES AU NORD ET AU SUD DES VOIES, ET LES RELIER PAR UN FRANCHISSEMENT EN SUPERSTRUCTURES AFIN D'AMÉLIORER LA CIRCULATION DES VOYAGEURS. LE PROJET CONDUIT EN CONCEPTION / RÉALISATION MOBILISE DES MATÉRIEAUX ET DES TECHNIQUES VARIÉS AFIN DE MAINTENIR LE FONCTIONNEMENT NORMAL DE LA GARE.



1

© RICCIOTTI ARCHITECTE

## ENJEUX DU PROJET - CAHIER DES CHARGES

La gare SNCF de Nantes est composée de 2 gares, au nord et au sud des voies. La liaison entre les 2 gares est assurée par un grand et un petit passage souterrain permettant également d'accéder aux quais. Ces souterrains d'une largeur respective de 6,00 m et de 3,00 m ne permettent pas la circulation du trafic voyageur prévu en 2025. Le projet prévoit donc la suppression

de la circulation dans le petit souterrain et le remplacement par un accès en superstructure au-dessus des voies. Celui-ci permettra l'accès aux quais principaux par des escaliers fixes, des escaliers motorisés et des ascenseurs. Le projet prévoit également l'amélioration des services rendus en gare avec l'ajout de commerces, d'espaces réservés, de lieux d'attente, et une meilleure liaison entre les zones Sud et Nord de la gare. Cet objectif de meilleure circu-

### 1- Vue architecturale du projet.

### 1- Architect's view of the project.

lation nécessite de disposer le passage en superstructure dans l'axe de l'entrée principale des gares existantes. Enfin, il est prévu un rééquilibrage des arri-

vées et départs de voyageurs, la gare Nord concentrant actuellement l'essentiel du trafic.

Tous ces enjeux ont conduit la SNCF à prévoir dans son programme un passage supérieur d'une longueur de 160 m et de largeur moyenne de 13 m, présentant une surface utile de 2100 m<sup>2</sup>.

La problématique principale pour la réalisation du franchissement réside dans le maintien en service de la gare.



2

© WILLY BERRÉ

Le petit souterrain est complètement fermé au public pour servir uniquement de circulation de chantier. Les travaux sur un quai sont réalisés en interrompant le trafic ferroviaire encadrant le quai. Les dates de coupure de circulation par quai sont définies 2 ans avant le démarrage des travaux.

### LA CONCEPTION RETENUE - DESCRIPTION GÉNÉRALE

La solution retenue pour le franchissement des voies est un tablier en béton armé réalisé avec des poutres préfabriquées jointives transversalement. Il est

#### 2- Vue générale des travaux.

#### 3- Réalisation des micropieux sur quais.

#### 2- General view of the works.

#### 3- Execution of micropiles on platforms.

composé de 2 parties en porte-à-faux au-dessus des 2 parvis de gare, et de 8 travées centrales dont la longueur varie de 13,29 m à 22,07 m. Des chevêtres de liaison permettent d'assurer la continuité du tablier et de l'appuyer sur des piles architecturées en béton blanc par l'intermédiaire d'appareils d'appui en néoprène fretté. Afin de limiter l'impact des piles sur les quais, chaque ligne d'appui est composée de 2 fûts de pile, les appuis étant fondés sur un réseau de micropieux.

La passerelle présente une longueur de 160 m et une largeur de 25 m, portant

sa surface utile à 4000 m<sup>2</sup>. Ce choix permet d'augmenter la surface d'attente et de commerce par rapport au programme initial, tout en apportant un équilibre entre les accès Nord et Sud (figure 1).

Le tablier supporte des poteaux métalliques habillés de béton projeté. Ces poteaux sont alignés verticalement avec les piles, l'ensemble ayant une forme d'arbre, et supportent une charpente métallique formant la toiture du franchissement. L'ensemble est clos par des murs rideaux vitrés ceinturant tout le franchissement. Des brise-soleils en Béton Fibré à Ultra hautes Performances (BFUP) sont disposés en rives latérales de la toiture.

Les accès aux quais sont assurés par des escaliers fixes et mécaniques placés latéralement sur le tablier. Des ascenseurs traversent les chevêtres pour compléter les accès aux quais principaux. Les accès depuis les gares se font depuis des escaliers mécaniques dans l'axe de la passerelle.

### LES FONDATIONS

Les fondations de la passerelle répondent à 2 exigences principales : la réalisation de travaux en site occupé avec des accès restreints, et la tenue d'une structure aérienne lourde en zone sismique (zone d'aléa modéré). Les sols étant composés de couches peu portantes sur une épaisseur moyenne de 15 m puis d'un substratum constitué par des micascistes, la solution de fondation qui a été jugée la plus adaptée est un réseau de micropieu sous chaque fût de pile.



3

© WILLY BERRÉ



4  
© WILLY BERRÉ



5  
© WILLY BERRÉ

Cette solution fait intervenir des engins à faible gabarit sur les voies et les quais. Ceci permet de ne pas avoir à déposer de matériels SNCF ou de les consigner, tout en limitant la dimension en plan des fondations.

La réalisation de micropieux en réseaux est une solution adaptée aux efforts générés par le séisme. Les efforts horizontaux résultants sont distribués équitablement dans chaque micropieu tandis que les couples générés sont repris en compression/traction dans les fondations.

Les micropieux réalisés sont de type III (Injection Globale Unitaire). Le diamètre de forage est de 250 mm pour une longueur moyenne de 20 m. L'armature est en tube de nuance N80, la section des tubes étant adaptée aux sollicitations par file d'appui.

Afin d'optimiser la longueur des micropieux et donc la durée d'intervention sur quai, des essais pressiométriques haute pression ont été réalisés et ont mis en évidence une pression limite supérieure à 7 MPa dans les micachistes. Ces reconnaissances complémentaires ont permis d'adapter au

mieux la longueur des micropieux, tout en affinant le calcul en flambement. Les principales contraintes liées à la réalisation des micropieux sont liées à l'exiguïté des quais (6 m à 12 m) et au domaine ferroviaire en activité (figure 3). Les voies ferroviaires encadrantes des quais sont mises en impasse pour des périodes de 2,5 mois. Les micropieux sont réalisés en 1 semaine par quai. Chaque file d'appui est composée en moyenne de 24 micropieux.



6  
© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

**4- Ferrailage des piles.**

**5- Élément de coffrage de pile.**

**6- Finition résine du coffrage.**

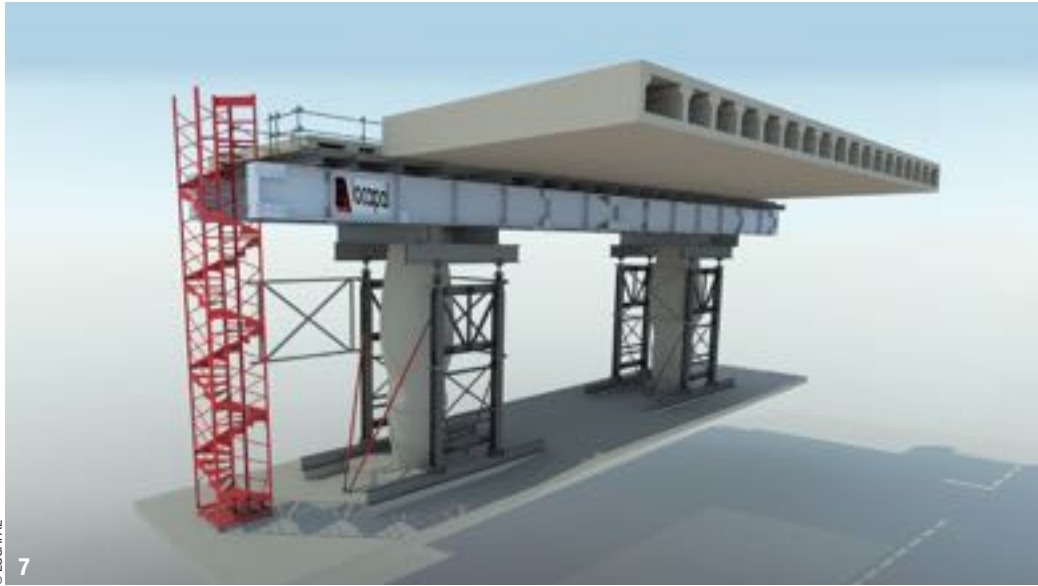
**4- Pier reinforcing bars.**

**5- Pier formwork member.**

**6- Formwork resin finishing.**

Afin de garantir la propreté du chantier, les quais sont maintenus en état en supprimant uniquement l'enrobé au droit des zones d'emprise de terrassement des fondations. Cela permet de créer des volumes de rétention pour les boues de forage sur les quais, tout en assurant une plateforme suffisamment propre pour l'évolution des engins de fondations. L'ensemble du matériel et des tubes est approvisionné sur le quai de nuit pendant la semaine précédant l'intervention. La gestion des boues de forage et de l'injection est réalisée depuis les zones de base vie en dehors des quais.

Les approvisionnements et circuits de recyclage transitent donc par le petit souterrain. Les dispositions retenues ont permis de garantir l'absence de pollution du ballast des voies et de dégradation des plateformes de quai. L'amenée des engins de forage ne peut se faire que de nuit en empruntant les passe-pieds. Pour prévenir les retards en cas de panne, les travaux sont réalisés de jour en poste, avec l'ensemble du matériel doublé. Les micropieux sont ainsi réalisés avec 2 foreuses par poste.



© LOCAPAL  
7

## LES PILES

Les piles ont un coffrage issu de l'échange entre l'architecte et la maîtrise d'œuvre. Pour la tenue au séisme, une génératrice composée d'un cylindre de 1,40 m de diamètre est nécessaire. L'architecte a conçu autour de ce cylindre minimum des courbes rappelant un tronc d'arbre, conduisant à une forme générale ne semblant pas avoir de génératrice. Le béton des piles répond à 3 exigences distinctes : une résistance minimale de 40 MPa pour la justification au séisme, un rendu architectural très fin en béton blanc, et une durabilité adaptée à la durée de vie de 100 ans et aux conditions de site. Afin de donner l'impression que chaque pile est unique, les piles sont toutes réalisées avec un même moule mais chaque fût présente une orientation nouvelle. Ce principe permet de donner l'impression que toutes les piles sont différentes, tout en ayant un chantier réalisé avec un seul coffrage type, et un ferrailage adapté à ce coffrage. Ce ferrailage est composé d'acier résistant placé selon la génératrice centrale et d'un ferrailage de peau présentant un façonnage adapté au coffrage architectural (figure 4). Cette conception génère des problématiques pour la définition et la réalisation des bétons. Le béton doit présenter une résistance caractéristique de 40 MPa, être composé avec un ciment blanc et avoir un rendu architectural de qualité. Il faut également qu'il chauffe peu pour ne pas fissurer lors de sa prise et pour prévenir les désordres liés à la Réaction Sulfatique Interne (RSI). Enfin, il doit être très fluide pour réussir une mise en œuvre dans un ferrailage

**7- Modèle 3D des palées et tablier.**  
**8- Poutrelles enrobées sur PO.**

**7- 3D model of bents and deck.**  
**8- Coated joists on PO.**

complexe. Dans ce contexte, une solution de béton auto-plaçant a été développée avec Lafarge Béton. Celle-ci permet de concevoir une injection du béton par le bas depuis la semelle, facilitant les travaux en gare puisque le béton est pompé via des goulottes situées dans le petit souterrain. Le béton ainsi réalisé permet d'obtenir des parements de qualité tout en assurant le bon remplissage du coffrage et



8  
© DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION

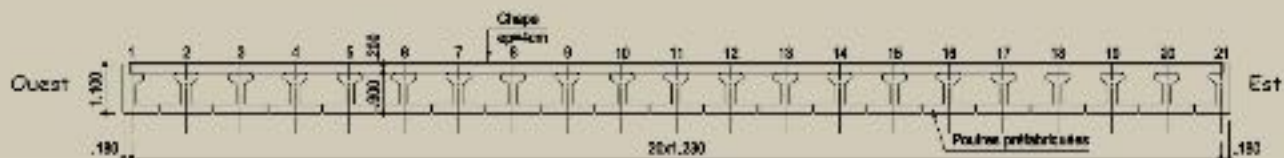
donc le bon enrobage des armatures. Une attention particulière est portée sur la surveillance de la température du béton en cours de prise. Lors des bétonnages par temps chaud, des mesures spéciales sont appliquées pour atteindre les objectifs de limitation de température. Les granulats du béton sont stockés en chambre froide et les bétonnages démarrent à 6h du matin, afin d'avoir une température de béton frais maximale de 19°C. Les coffrages sont arrosés avant et pendant le bétonnage afin qu'ils ne transfèrent pas de chaleur au béton avant sa prise. La température maximale atteinte dans les bétons est inférieure à 70°C et l'élévation de température maintenue en dessous de 50°C. Ces valeurs garantissent à la fois un niveau de prévention à la RSI de classe C et l'absence de fissuration par gradient thermique lors de la prise du béton.

La conception du coffrage a été confiée à la société Coffrage Equipage. Il devait répondre aux contraintes suivantes :

- Durabilité pour les 2 ans et 17 réemplois nécessaires pour le chantier : la solution retenue est un coffrage métallique avec une finition en résine (figure 6) ;
- Respect du modèle 3D fourni par l'architecte : la structure du coffrage est constituée d'une peau coffrante en acier formée et soudée sur des raidisseurs en acier découpés à la forme du modèle 3D. Les tôles sont soudées bout à bout suivant les génératrices de la pile. La finition du parement est assurée par l'application de plusieurs couches croisées de résine polyester armée de fibres de verre sur la tôle en acier décapée pour obtenir une épaisseur globale de 7 mm (4 mm de tôle + 3 mm de résine). Cette finition permet de masquer les facettes ainsi que les joints entre les tôles de coffrage afin d'obtenir une géométrie lisse et sans festonnage ;
- Facilité de coffrage/décoffrage et de manutention : le coffrage est constitué de 3 tiers de panneaux pour limiter leur gabarit au transport et leur poids pour la manutention sur chantier (figure 5). L'assemblage entre les 3 panneaux est assuré par des vis et des bagues de centrage type Magot permettant d'aligner parfaitement les plans d'assemblage et d'éviter les désaffleures entre 2 tôles de coffrage jointives. Les accès se font par des échelles et passerelles périphériques solidaires du coffrage ;

## COUPE TYPE DE COFFRAGE

Coupe transversale courante



Coupe transversale sur trémie escaliers motorisés



- Résistance à la pression de 10 m de hauteur de béton autoplaçant : l'espacement des raidisseurs est dimensionné pour que le coffrage reprenne une pression de 25 tonnes au mètre carré en pied de coffrage ;
- Autostable et adapté aux quais de 6 m de large : la structure du coffrage est réalisée avec des pieds de stabilisation intégrés permettant son équilibre sur l'emprise des quais les plus étroits ;
- Finition du parement de qualité : la peau coffrante réalisée en matériau composite est parfaitement lisse et ne nécessite que l'utilisation d'une fine couche de cire à chaque réutilisation après nettoyage.

### LES CHEVÊTRES D'APPUI

Les chevêtres d'appui ont pour fonction de lier les poutres préfabriquées au droit des lignes d'appuis et de transférer les charges de la mezzanine aux appuis.

Le mode de construction de l'ouvrage impose de réaliser les chevêtres après la réalisation des piles et la pose des poutres préfabriquées, ce qui implique que le coffrage des chevêtres a également pour rôle d'étayer les poutres en phase provisoire. L'étalement permet donc de supporter les poutres préfabriquées et le chevêtre coulé en place. Les principales contraintes pour cet étalement sont :

- Avoir un faible encombrement puisque les quais restent accessibles aux usagers ;
- Avoir un plateau coffrant très raide pour ne pas se déformer à la pose

des poutres et au bétonnage du chevêtre ;

- Reposer sur des palées de forte capacité ;
- Utiliser les semelles de pile comme assise de l'étalement.

Le matériel est fourni par Locapal (figure 7).

Le démontage de l'étalement fait l'objet d'une étude méthode spécifique. La dépose sur plateau coffrant est réalisée par des vérins creux depuis le chevêtre bétonné, permettant de descendre l'étalement sur les quais et de procéder à son démontage et à son évacuation

**9- Coupe type de coffrage.**

**10- Poutres sur coffrage chevêtre.**

**9- Typical section of formwork.**

**10- Beams on pier cap formwork.**

depuis les quais. Le chevêtre situé sur la file PO a la particularité d'être situé au droit du bâtiment voyageur nord. La sous-face de ce chevêtre se situant 40 cm au-dessus de la toiture du bâtiment, il est nécessaire de disposer un coffrage perdu dans l'épaisseur disponible. La solution est une dalle en poutrelles enrobées avec un appui intermédiaire rendu nécessaire par la portée finale du chevêtre (17 m). Des ouvertures sont réalisées dans les planchers du bâtiment existant pour permettre l'appui des poutrelles enrobées sur la palée intermédiaire (figure 8).





© WILLY BERRÉ

11

## LES POUTRES PRÉFABRIQUÉES

La conception du tablier répond à plusieurs objectifs : la structure doit être suffisamment raide pour garantir un confort d'utilisation comparable à un bâtiment standard ; le tablier doit être allégé afin de minimiser les efforts de séisme transmis aux appuis ; la structure doit être mise en œuvre au-dessus des

**11- Pose de nuit des poutres.**

**11- Placing beams at night.**

voies SNCF sous coupures ferroviaires et électriques de nuit. Ces contraintes conduisent à une solution en poutres préfabriquées pouvant être posées avec une grue. L'équarrissage des poutres est optimisé et permet de disposer des dalles coffrantes en face supérieure, afin de réaliser le hourdis de 20 cm sans coffrage complémentaire (figures 9 et 10). Les profils en long des poutres prennent en compte le phasage de construction de la structure et son évolution dans le temps. Malgré des travées de longueur différentes, les outils de coffrage sont optimisés en considérant une courbure unique pour la contreflèche de toutes les travées centrales.

La mise en œuvre des poutres est réalisée en 3 phases : côté Nord sur deux semaines, côté Sud sur une semaine puis au centre en dernière phase. Le poids des poutres (38 t pour la poutre chevêtre support des escalators au nord) et l'éloignement des plateformes de mise en station des grues nécessitent la mise en œuvre de grues de forte capacité : grue 700 t avec 54 m de volée variable au nord (figure 11), et grue 400 t avec 50 m de volée variable pour le nord et le centre. L'approvisionnement par convoi exceptionnel et le lavage des poutres se font donc de nuit sous coupures des voies SNCF (circulation et caténaires). □

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE : SNCF Mobilités Gares & Connexions**

**GROUPEMENT CONCEPTION RÉALISATION :**

- Mandataire : Demathieu Bard Construction
- Architecte : Rudy Ricciotti Architecte
- Architecte associé : Forma 6
- Maîtrise d'œuvre Structures : Lamoureux Ricciotti Ingénierie
- Maîtrise d'œuvre Lots techniques : Bérim

**PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS :**

- Études d'exécution Structures : Cogeci et Arest
- Micropieux Afr
- Ascenseurs et escaliers motorisés : Kone
- Charpente métallique : Lanik
- Poutres préfabriquées : Matière
- Murs rideaux : Mtech Build
- Ombrières BFUP : Méditerranée Préfabrication
- Serrurerie : Ateliers David et Ads
- Couverture : Tallot

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**COÛT DES TRAVAUX : environ 35 M€**

**DURÉE PRÉVISIONNELLE DES TRAVAUX : 34 mois**

**PRINCIPALES QUANTITÉS MISES EN ŒUVRE :**

- Micropieux : 5 100 m
- Béton : 2 000 m<sup>3</sup> (hors préfabrication)
- Poutres préfabriquées : 182 u - 3 300 m
- Armatures : 840 t
- Charpente tridimensionnelle : 4 000 m<sup>2</sup>
- BFUP : 42 m<sup>3</sup>

## ABSTRACT

### THE MULTIMODAL TRANSPORT HUB OF NANTES STATION

DAVID COUDRET, DEMATHIEU BARD - NICOLAS DEMANGECLAUDE, DEMATHIEU BARD - GUILLAUME MOREL, DEMATHIEU BARD - MAXIME VILLANI, DEMATHIEU BARD

The Nantes Station alteration project is to replace the underground entrances, which have become too small, with an above-ground entrance. The new bridge connects the North Station and South Station, and creates a new street with shopping and waiting areas. The structure covers an area of 4,000 m<sup>2</sup> built above the tracks, with the trains continuing to run. The construction choices for the foundations, supports, deck and framework reconcile the seismic design of the structure with architectural requirements and the continuing operation of the present station. □

### LA TERMINAL DE INTERCAMBIO MULTIMODAL DE LA ESTACIÓN DE NANTES

DAVID COUDRET, DEMATHIEU BARD - NICOLAS DEMANGECLAUDE, DEMATHIEU BARD - GUILLAUME MOREL, DEMATHIEU BARD - MAXIME VILLANI, DEMATHIEU BARD

El proyecto de modificación de la estación de Nantes permite sustituir los accesos subterráneos, que han quedado pequeños, por un acceso aéreo. El nuevo puente conecta la Estación Norte y la Estación Sur, y crea una nueva calle que ofrece zonas comerciales y de espera. La obra tiene una superficie de 4.000 m<sup>2</sup>, construida encima de las vías sin interrumpir la circulación de los trenes. Las opciones constructivas para los cimientos, los apoyos, el tablero y la estructura permiten conciliar el diseño sísmico de la estructura y las exigencias arquitectónicas, manteniendo operativa la estación actual. □



1

© B+M ARCHITECTURE

# PASSERELLE DU PÔLE D'ÉCHANGE MULTIMODAL DE CHAMBÉRY

AUTEURS : FRANÇOIS PELLIER, DIRECTEUR NATIONAL ADJOINT TP NUCLÉAIRE, LEON GROSSE - SÉBASTIEN MEMET, ARCHITECTE, B+M ARCHITECTURE

**LIEN URBAIN ET RENFORCEMENT DE L'IDENTITÉ DE LA GARE ET DU PÔLE MULTIMODAL DE CHAMBÉRY, LA PASSERELLE MÉTALLIQUE ARCHITECTURALE SE DÉPLOIE SUR 81,50 m AU-DESSUS DES VOIES FERRÉES. LE PRÉSENT ARTICLE DÉCRIT L'OUVRAGE ET LES DIFFÉRENTES PHASES D'EXÉCUTION DES TRAVAUX QUI ONT ÉTÉ CONDUITS DANS LE RESPECT DES DÉLAIS ET DES CONTRAINTES DE LA SNCF.**

Le projet de pôle d'échange multimodal pour Chambéry est l'union d'un ouvrage d'art et d'un bâtiment :

- Une passerelle piétonne de 6 m de largeur, conçue comme une rue suspendue au-dessus des voies de la SNCF et permettant de relier le quartier de la Cassine à l'est au centre ancien à l'ouest (figure 2).
- Un bâtiment implanté sur la place de l'ancienne gare, comprenant plusieurs programmes :
  - Une gare SNCF (ERP 2° cat.) ;
  - Une vélostation (ERP de 5° cat.)

et sa consigne, pouvant accueillir plus de 500 vélos ;

- Des bureaux ERP d'une surface de 2 000 m<sup>2</sup>.

Le projet offre une opportunité unique de recomposer le quartier avec un enjeu régional à l'échelle d'une entrée sur les Alpes. La passerelle métallique dessert la gare à l'ouest dont elle traverse le hall pour plus de visibilité depuis la place, puis les différents quais et enfin un parking silo à l'est. C'est une poutre treillis de section ogivale recouverte d'une toile en ETFE qui laisse la structure entièrement visible.

Le hall de la gare est un espace de distribution flanqué d'un mur d'escalade de 12 m de hauteur, qui sera à disposition des clubs locaux pour le grand public.

L'ensemble du bâtiment, avec les bureaux et la vélostation, est abrité du soleil par un large débord qui rappelle l'architecture de montagne. (figure 3).

Ainsi recentrée dans le contexte urbain, la nouvelle gare donne des points de vue en hauteur sur la ville qui paraît désormais toute proche et invite à la découvrir.

## CONTEXTE GÉNÉRAL DE L'OPÉRATION

Dans le cadre du Plan de Déplacement Urbain (PDU) de Chambéry, l'ensemble Pôle d'Echanges Multimodal et Gare SNCF est le nœud de la modernisation du centre-ville.

Destinée à favoriser les transports en modes doux via l'usage du vélo et la création de services liés à la mobilité (Vélostation 500 vélos, consigne, ...), la passerelle accueille piétons et cyclistes en transit à la gare ou simplement pour traverser la cité savoyarde. Le projet s'installe à proximité immédiate de la



gare existante et la jonction entre le Pôle d'Échange et la gare SNCF est en cours de réalisation dans le cadre d'un marché différent sous maîtrise d'ouvrage et d'œuvre interne par Gares et Connexions.

Dans le cadre d'un marché de Conception Construction basé sur un programme fonctionnel proposé par

- 2- Rue suspendue.
- 3- Passerelle et bâtiment.
- 4- Coupe de la passerelle.

- 2- Suspended street.
- 3- Foot bridge and building.
- 4- Cross section of the foot bridge.



© RUE SUSPENDUE  
2



© B+M ARCHITECTURE  
3

Chambéry Métropole (maître d'ouvrage) et Soderec (AMO), Léon Grosse associé à B+M Architecture, Ingerop (BET) et Viry (Charpente Métallique) a conçu et réalisé les travaux de la passerelle et du bâtiment d'échanges (Vélostation, bureaux, espaces de co-working).

Le groupement de conception réalisation est organisé par pôles de compétences :

- Léon Grosse, mandataire, a en charge les utilités, accès, installations de chantier et travaux de génie civil ;
- Viry (Groupe Fayat) assure la production des éléments métalliques de la passerelle et leur pose ;
- Ingerop assure la conception TCE de l'ensemble passerelle et Pôle d'Échange Multimodal ainsi que les études d'exécution y compris les études du comportement vibratoire sous l'action des piétons ;
- B+M Architecture assure la maîtrise d'œuvre et la mission d'architecture.

#### DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

L'ouvrage passerelle en ossature métallique est formé de trois travées de longueurs différentes (figure 4).

- Travées de C1 à P2 : 21,25 m ;
- Travée de P2 à P3 : 31,25 m ;
- Travée de P3 à C4 : 28,75 m.

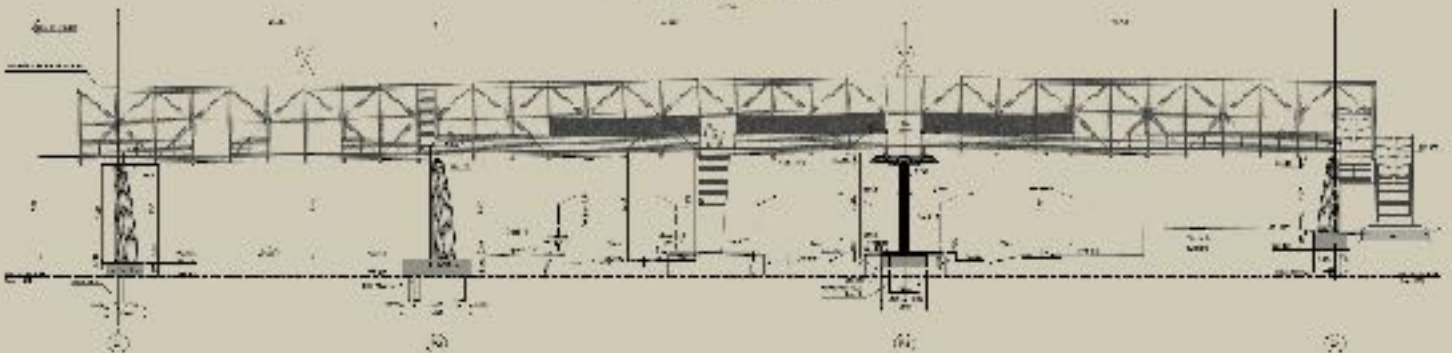
Les travées de C1 à P3 sont continues et la travée de P3 à C4 est isostatique.

La passerelle est composée :

- D'un tablier de largeur constante composé de deux poutres en tube Ø 406,4 entretoisées par des pièces de pont et entretoises en PRS en I à inertie variable, le tout contreventé par des petites diagonales en tube Ø 101,3 et des grandes diagonales en tube Ø 114,3 (figure 5) ;

## COUPE DE LA PASSERELLE

COUPE LONGITUDINALE



4  
© INGEROP



- D'un plancher collaborant en béton armé de largeur constante, composé de 2 longerons en U reprenant un garde-corps et des solives intermédiaires (figure 6) ;
- D'une couverture de hauteur constante, composée de poutres cintrées en PRS en I à inertie variable. Ces poutres sont entretoisées par 1 tube Ø 355 situé au faîtage de l'arc et 2 tubes Ø 273 intermédiaires.

La couverture de la passerelle est réalisée en membranes ETFE (Éthylène Tétrafluoroéthylène) monocouches de 250 microns d'épaisseur minimum, tendue en périphérie par des profilés en aluminium.

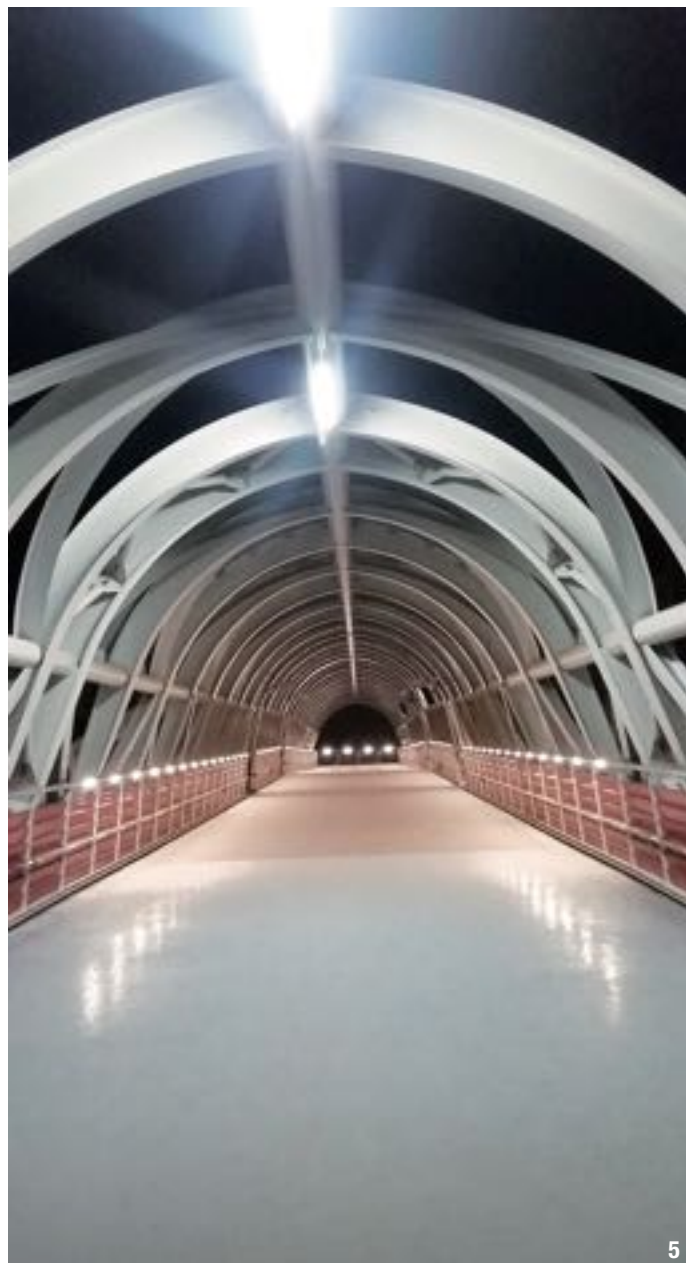
La finition de cette membrane est transparente.

Un lacet en PRS en I à inertie variable contrevente le tube intermédiaire et la poutre de rive du tablier.

Deux ensemble escalier avec ascenseur desservent les quais n°2 et n°3 de la gare de Chambéry.

Ils sont composés de :

- Une structure support et habillage d'ascenseur réalisée à l'aide de tube et de PRS en I à inertie variable et d'une passerelle périphérique en porte-à-faux ;
- Un escalier métallique porté par une structure métallique composée de profilés en U à inertie variable. La structure est contreventée par des tubes métalliques Ø 324 et des tirants Ø 30 (figure 7) ;
- Une ossature support de couverture composée de poutre en PRS en T à inertie variable et de tube rond pour entretoiser ces poutres, sur toute la longueur de l'escalier ;



5  
© LÉON GROSSE

- En extrémité de passerelle, des escaliers desservent le bâtiment du Pôle d'Échange côté centre-ville et un parc de stationnement de surface de l'autre côté.

La passerelle repose sur des appuis en béton armé architectonique.

La culée C1 et la pile P2 font partie de l'ossature du bâtiment PEM et s'intègrent dans l'organisation fonctionnelle de celui-ci (accès passerelle, accès gare et quais).

C1 et C2 sont fondées sur des pieux de diamètre 800 mm et de 15 m de longueur.

Les appuis C1 et P2 sont constituées de 2 poteaux verticaux en béton armé, dont le noyau a un diamètre de 800 mm.

En périphérie de ces poteaux vient s'enrouler une hélice architecturale en béton. Cette hélice, librement inspirée des pattes des éléphants de la fontaine de Chambéry se retrouve sur l'ensemble du projet et invite l'usager au passage de portes notamment (figures 8, 9 et 10).

**5- Intérieur passerelle.  
6- Intrados passerelle.  
7- Escaliers d'accès aux quais.**

**5- Interior of the foot bridge.  
6- Intrados of the foot bridge.  
7- Platform access stairs.**



6

© B+M ARCHITECTURE



7

© LÉON GROSSE



8

© LÉON GROSSE

La pile P3 est un appui en béton armé situé au droit du quai n°3. Elle repose sur 14 micro-pieux type II de 200 mm de diamètre armés par des tubes pétroliers de 127 mm de diamètre et 13,5 mm d'épaisseur. Elle est constituée de 2 poteaux verticaux tronconiques, dont le diamètre varie de 750 mm en pied à 1112 mm en tête. Chacun des poteaux est sur-

**8- Pile P2 et intrados passerelle.**  
**9- Culée C1.**  
**10- Pile P2.**

**8- Pier P2 and intrados of foot bridge.**  
**9- Abutment C1.**  
**10- Pier P2.**

monté d'une console en béton armé, formant ainsi un T orienté suivant l'axe de la passerelle. En extrémités de cette console sont positionnés les appareils d'appuis en élastomère fretté des passerelles Est et Ouest ainsi que les bossages de vérinage (figure 8). La culée C4 côté Cassine est un appui en béton armé situé au niveau du parc de stationnement côté Est.

La culée est fondée sur 3 pieux de diamètre 800 mm de 8 m de profondeur. La culée est constituée de 2 poteaux verticaux en béton armé, dont le noyau a un diamètre de 800 mm. Un chevêtre relie les têtes des poteaux. Il est constitué d'une poutre en béton armé triangulaire de hauteur variable. Ce chevêtre supporte les bossages d'appui de la passerelle ainsi que les bossages de vérinage.



9

© LÉON GROSSE



10

© LÉON GROSSE

## RÉALISATION DES TRAVAUX

Les travaux ont été conduits sur des emprises SNCF avec les contraintes inhérentes à la proximité de voies et de quais SNCF en activité. Excepté lors des Interruptions Temporaires de Circulation, définies deux années et demi avant les travaux, aucun arrêt ou retard de trains n'a été imputable au chantier.

Les approvisionnements pour les travaux concernant le quai 3 et la pile P3 ont été réalisés via des trains travaux depuis une base arrière installée par Léon Grosse dans la gare de marchandises de Chambéry. Les trains travaux permettent les amenées et replis des machines et matériaux ainsi que les évacuations de déblais et autres matériaux extraits du forage des micro-pieux. Pour la partie appui en béton armé les coffrages ont été conçus par le service Méthodes de Direction Nationale TP et Nucléaire de Léon Grosse et réalisés en ossatures et peaux métalliques permettant l'obtention des géométries proposées par B+M architecture. ▷



11

© GILLES TRIBOULET/DL

Les formes géométriques reposent sur des surfaces réglées permettant l'obtention des surfaces sans faire appel à des techniques de chaudronnerie. Les tôles formant coffrages sont soudées aux raidisseurs métalliques qui ont le rôle de génératrices.

Le chevêtre de la pile P3 a été préfabriqué sur site dans un coffrage bois et mis en place à l'aide d'une grue mobile, les clavages des nœuds poteaux/poutres sont coulés en place. L'ensemble de la réalisation, pose et clavage a été réalisé sous coupure ITC. L'ensemble des calculs de stabilité des ouvrages provisoires ont été faits avec prise en compte des souffles des trains sur les ouvrages.

Les travées métalliques sont préfabriquées dans les ateliers de la société Viry à Eloyes dans les Vosges, et ont été assemblées sur place, dans l'emprise du chantier et à proximité des quais pour pouvoir être mises en place sans déplacements ni reprises (figure 11).

Les travées ont ensuite été mises en place lors de coupures de circulations de nuit, pour les tronçons au-dessus des voies SNCF, à l'aide de 2 grues mobiles de 700 t et 350 t (figures 12 et 13).

Les opérations de pose des travées sur voies ont été programmées sur des nuits et week-ends de coupure totale des circulations SNCF (Marchandises et Voyageurs). Cette opération "coup de poing" a été respecté tant en programmation qu'en durée.

Les travées de rives ont également été posées à la grue mais lors de maintenance de jour (figure 14).

Une fois les travées posées, l'ensemble des opérations d'assemblages et soudures ont été conduites lors d'ITC.

La couverture ETFE a été mise en œuvre, une fois la passerelle posée, à l'aide de nacelles et en technique alpine et acrobatique (figure 15).

L'utilisation de l'ETFE (Éthylène Trétrafluoroéthylène) permet un éclairage

par transparence de l'ouvrage avec un matériau plus léger que le verre (densité de 1,7 au lieu de 2,5), plus transparent et parfaitement adapté aux formes architecturales de la passerelle. Les travaux de construction et pose de la passerelle ont été conduits en

avance par rapport au bâtiment PEM proprement dit et au bâtiment de raccordement avec la gare SNCF. Cette anticipation a permis une desserte efficace des quais pour les voyageurs sans qu'ils aient à subir les contraintes de réalisation des bâtiments PEM et Gare.

**11- Préfabrication des travées métalliques.**

**12- Pose de nuit de la travée P2-P3.**

**13- Pose de nuit de la travée P2-P3.**

**14- Pose de jour de la travée C1-P2.**

**11- Prefabrication of steel spans.**

**12- Placing span P2-P3 at night.**

**13- Placing span P2-P3 at night.**

**14- Placing span C1-P2 by day.**



12

© LÉON GROSSE



13

© LÉON GROSSE



14

© LÉON GROSSE



© GILLES TRIBOULET/DL  
15

L'ensemble complet a été livré en janvier 2019, les travaux du bâtiment ayant été réalisés par l'Agence Bâtiment Pays de Savoie de Léon Grosse.

#### CONCLUSION

Cette passerelle marque une étape dans la transformation importante de la gare à Chambéry en raccordant les quartiers Est au centre-ville par un accès en mode doux qui s'intègre parfaitement dans la nouvelle Gare SNCF en cours de travaux (figure 16). □

**15- Pose de la couverture en ETFE.**  
**16- Intrados passerelle dans le bâtiment.**

**15- Placing the ETFE roof covering.**  
**16- Intrados of foot bridge in the building.**



© B+M ARCHITECTURE  
16

### PRINCIPALES QUANTITÉS

- PIEUX Ø 800 mm : 27 u longueur unitaire moyenne 14 m**
- MICRO PIEUX Ø 200 mm : 14 u longueur moyenne 17 m**
- BÉTON C 30/37 : 250 m<sup>3</sup>**
- ACIERS HA : 33 000 kg**
- CHARPENTE MÉTALLIQUE, PASSERELLE : 125 t**
- CHARPENTE MÉTALLIQUE ESCALIERS ET ASCENSEURS : 50 t**
- COUVERTURE ETFE : 600 m<sup>2</sup>**
- GARDE-CORPS : 160 m**

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE : Chambéry Métropole**
- GROUPEMENT DE CONCEPTION CONSTRUCTION**
- MAÎTRISE D'ŒUVRE :**
  - B+M Architecture
  - Ingerop (Agence de Vienne - 38)
- ENTREPRISES :**
  - Léon Grosse TP : mandataire
  - Léon Grosse Agence Bâtiment Pays de Savoie (Bâtiment PEM)
  - Viry (Groupe Fayat) : ossature métallique et couverture de la passerelle
  - Ingerop (Agence de Vienne - 38) : études d'exécution

#### ABSTRACT

### FOOT BRIDGE OF THE MULTIMODAL TRANSPORT HUB IN CHAMBERY

FRANÇOIS PELLIER, LEON GROSSE - SÉBASTIEN MEMET, B+M ARCHITECTURE

**Linking two districts of Chambéry** separated by the SNCF sidings of the line between France and Italy, the foot bridge of the multimodal transport hub reconstitutes the pedestrian and cycle traffic flows of the city centre (three-and-a-half million passengers go through the station each year). Built of concrete for the supports, steel for the deck framework, and with a composite steel-concrete decking slab, the foot bridge is covered with ETFE (ethylene tetrafluoroethylene) which adds to the transparency wanted by the designers. Executed under a Design and Build contract, this foot bridge marks an alliance between architecture, metal, concrete and contractor expertise. □

### PASAERELA DE LA TERMINAL DE INTERCAMBIO MULTIMODAL DE CHAMBERY

FRANÇOIS PELLIER, LEON GROSSE - SÉBASTIEN MEMET, B+M ARCHITECTURE

**Nexo entre dos barrios de Chambéry** separados por las vías de la línea ferroviaria entre Francia e Italia, la pasarela de la Terminal de Intercambio Multimodal recompone los flujos de peatones y bicicletas del centro de la ciudad (tres millones y medio de viajeros utilizan cada año la estación). Construida de hormigón para los apoyos, de acero para la estructura del tablero y con una losa mixta de chapa de acero y hormigón, la pasarela está recubierta de ETFE (Etileno Tetrafluoroetileno), lo que refuerza la transparencia deseada por los diseñadores. Realizada en el marco de un contrato de diseño-construcción, esta pasarela marca la alianza entre arquitectura, metal, hormigón y capacidad de las empresas. □

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

SPÉCIAL BIM 2 934

VILLE ET PATRIMOINE 935

INTERNATIONAL 936

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX 937

SPÉCIAL GRAND PARIS 938

TRAVAUX SOUTERRAINS 939

OUVRAGES D'ART 940

SPÉCIAL INNOVATION 941

SOLS ET FONDATIONS 942

ÉNERGIE 943

MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES 944

INTERNATIONAL 945

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX 946

TRAVAUX SOUTERRAINS 947

OUVRAGES D'ART 948

\*Offre réservée aux abonnés



### 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  
Tel. : +33 (0)1 40 94 22 22 - Fax : +33 (0)1 40 94 22 32 - Email : revue-travaux@cornetcom.fr

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

- |                              |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 934 | <input type="checkbox"/> 939 | <input type="checkbox"/> 944 |
| <input type="checkbox"/> 935 | <input type="checkbox"/> 940 | <input type="checkbox"/> 945 |
| <input type="checkbox"/> 936 | <input type="checkbox"/> 941 | <input type="checkbox"/> 946 |
| <input type="checkbox"/> 937 | <input type="checkbox"/> 942 | <input type="checkbox"/> 947 |
| <input type="checkbox"/> 938 | <input type="checkbox"/> 943 | <input type="checkbox"/> 948 |

Soit un montant total de :  
\_\_\_\_\_ numéros x 15 € = \_\_\_\_\_ €

Vous pouvez commander de 1 à 20 numéros et le prix de 15 € à 15 € l'unité.  
Ces tarifs s'appliquent à tous les numéros de la revue. Les tarifs de vente au détail sont de 25 € TTC par numéro. Les commandes sont traitées dans l'ordre de leur réception. Les commandes sont traitées sous réserve de disponibilité des numéros. Les tarifs de vente au détail sont de 25 € TTC par numéro. Les commandes sont traitées sous réserve de disponibilité des numéros.

**JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :**

Nom \_\_\_\_\_ Prénom \_\_\_\_\_  
 Entreprise \_\_\_\_\_ Fonction \_\_\_\_\_  
 Adresse \_\_\_\_\_  
 Code postal \_\_\_\_\_ Ville \_\_\_\_\_  
 Tél. : \_\_\_\_\_ Fax : \_\_\_\_\_  
 Email : \_\_\_\_\_  N'env. de ne pas communiquer mon adresse mail  
 Je joins mon règlement d'un montant de \_\_\_\_\_ € TTC par Chèque à l'ordre de **COM'1 EVIDENCE**

**ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de COM'1 EVIDENCE**

- Je régle à réception de la lecture  
 Je saurai recevoir une facture accusée

Date, signature et cachet de l'entreprise adhérente



1

© LIN

# STATION DE MÉTRO BAGNEUX – LUCIE-AUBRAC. LE CONCEPT ARCHITECTURAL À L'ÉPREUVE DU MÉTRO

AUTEUR : JOËL SCHAAK, CHEF DU LOT S1 (TCE AMÉNAGEMENT) DU PROLONGEMENT DE LA LIGNE 4 À BAGNEUX. SYSTRA

TENIR UNE LIGNE ARCHITECTURALE DANS UN PROJET D'INFRASTRUCTURE SOUTERRAINE RELÈVE DU DÉFI. ADAPTATION DES MATÉRIAUX AUX DEMANDES DE L'EXPLOITATION, PRISE EN COMPTE DE NOUVELLES DONNÉES D'ENTRÉE EN COURS DE RÉALISATION ET ACCUMULATION DES LOTS SONT MONNAIE COURANTE. LA PRISE EN COMPTE ADÉQUATE DE CES ÉLÉMENTS SERA LA CLEF POUR UNE ESTHÉTIQUE RÉUSSIE ET LE CHANTIER DU SECOND-ŒUVRE DE LA STATION DE MÉTRO BAGNEUX – LUCIE-AUBRAC EN SERA UNE ILLUSTRATION.

Le chantier de second œuvre de la station de Bagnaux, fait partie du prolongement de la Ligne 4 du métro parisien (figure 1).

De prime abord bien moins spectaculaire qu'un chantier de génie civil, ces travaux posent néanmoins de vrais défis pour les acteurs du projet.

À cette phase, la quantité d'intervenants est multipliée de manière conséquente et l'enjeu va être la coordination harmonieuse de cet ensemble. De plus, le chantier ferroviaire va démultiplier la tâche, car il faudra ajouter les problématiques liées au système de transport. Toutes ces contraintes vont mettre à l'épreuve l'architecture dessinée par le cabinet allemand Lin pour ce projet. L'enjeu du chantier sera alors de

maîtriser ces variables afin d'assurer la mise en œuvre de stations élégantes et fonctionnelles pour le siècle à venir.

## LA STATION AU SEIN DU PROLONGEMENT DE LA LIGNE 4

Prolongée pour la première fois hors de l'enceinte de la capitale en 2013, jusqu'à la station Mairie-de-Montrouge, la Ligne 4 va poursuivre sur 2,7 km son chemin vers Bagnaux où elle viendra à la rencontre de la Ligne 15 du Grand Paris Express.

Le chantier souterrain, démarré en 2014, est entré en phase de second-œuvre en 2018. La livraison globale est prévue pour mi-2021 avec des travaux complémentaires de raccordement à la Ligne 15 en 2025.

**1- Perspective de l'entrée de la station.**

**1- Perspective view of the station entrance.**

Deux stations rythment ce prolongement. Barbara, station située à Montrouge, dont les travaux de génie civil vont s'achever dans les prochains mois, et Bagnaux – Lucie-Aubrac, actuellement en plein équipement. Bien qu'ayant deux formes initiales différentes liées au génie civil, la première étant voûtée et la seconde

en ouvrage cadre, elles recevront un traitement architectural identique (figure 2).

Deux ouvrages annexes complètent ce projet d'environ 380 M€ (conditions économiques 2011) : un poste de redressement et un centre de dépannage des trains. À ces ouvrages, il faut ajouter l'équipement du tunnel ainsi que le raccordement au réseau existant.

Au cœur de ce prolongement, la station Bagnaux – Lucie-Aubrac est la première à entamer la phase des aménagements. Elle fait aussi figure de pionnière parmi les nombreux chantiers de métro lancés ces dernières années à Paris, qui n'en sont aujourd'hui pour la plupart qu'aux travaux de génie civil. ▷



De ce fait, elle est un terrain de réflexion sur les matériaux mis en œuvre dans les chantiers de métro et sur les stratégies de coordination de la myriade d'intervenants.

**UNE STATION À FORTE VISIBILITÉ**

Par sa taille, la station de métro de Bagneux occupe une place prépondérante dans le paysage du chantier de second œuvre des ouvrages. Elle bénéficie d'une visibilité importante par sa position centrale au cœur du futur écoquartier Victor Hugo.

Peu profonde, le niveau du quai se situant à 6 m sous le niveau de la voirie, la station prend ses aises horizontalement en s'étalant sur une surface de 10 000 m<sup>2</sup>. Elle en a bien besoin, car sa qualité de terminus fait qu'elle accueille trois quais et les locaux sociaux et administratifs de la ligne. Cette faible profondeur permet par ailleurs l'entrée massive de lumière naturelle sur les quais, une plus-value réelle pour les voyageurs.

Niveau rue, on trouve les locaux d'exploitation : vente, bureaux et commerces. Deux accès mènent aux quais qui se trouvent juste sous la voirie. L'entrée principale accueille les fonctions majeures de la station (comptoir d'information...), l'entrée secondaire n'accueille que des appareils automatiques de vente. Une sortie se trouve en bout de quai d'arrivée au pied d'un immeuble prévu dans la ZAC. Sur quai, on peut descendre encore deux niveaux pour rejoindre le couloir de correspondance vers la Ligne 15, prévue pour 2025 (figure 3).

Cette forte présence en voirie tranche avec les stations historiques de la RATP qui, à l'exception des lignes aériennes, sont pour la plupart tout juste visibles par leurs entrées "Guimard" ou "Dervaux".

L'architecture joue avec les différents niveaux de transparence liés au programme de la station.

Pour répondre à cette problématique, Systra a prescrit une structure unique en façade rideau Jansen servant à la fois de clôture, garde-corps et enveloppe. Le détail reste identique selon les cas de figure réglementaire et préserve l'homogénéité souhaitée par l'architecte.

La structure étant définie, le remplissage peut être adapté en fonction des contraintes. Les trémies d'accès aux quais sont en verre transparent et les façades plus sensibles des locaux exploitants, en verre émaillé opaque (figure 4).



**UNE ORGANISATION DE CHANTIER PROPRE AU PROGRAMME "MÉTRO"**

Comme pour les façades du projet, l'enjeu est de concilier le fort découpage propre aux chantiers Ratp, tout en créant un ensemble cohérent. L'équipe de maîtrise d'œuvre est partagée en deux.

2- Plan de situation du prolongement de la Ligne 4 du métro parisien.

2- Location drawing of the extension of Paris metro Line 4.

Les corps d'état propres à la station (aménagement, BT, CVC et plomberie) sont confiés au bureau d'études ferroviaire Systra et les lots système liés au réseau Ratp (voie, SSI, surveillance et télécommunications) sont suivis par son propre département d'ingénierie (Ing Ratp). La maîtrise d'ouvrage Ratp se réserve la coordination de certains lots transversaux du réseau du métro comme le mobilier et certains luminaires.

Le concept architectural dessiné par l'agence Lin est prolongé par Systra, qui en assure la maîtrise d'œuvre d'exécution, ainsi que la synthèse technique générale et architecturale. À ceci, il faut ajouter les équipes supports de la maintenance de la Ratp (GDI et M2E), et le décor est planté.

**L'HABILLAGE INTÉRIEUR AJUSTÉ AUX SPÉCIFICATIONS RATP**

L'architecture de la station de Bagneux joue avec les conventions des stations historiques de la Ratp.

Des revêtements ondulés amplifient les jeux de texture présents sur le carrelage émaillé des stations existantes.

Sur les trois premiers mètres, l'ondulation est formée par des caissons démontables en tôle, permettant ainsi au personnel de maintenance d'inspecter les ouvrages de génie civil. Au-dessus, le métal fait place au béton matricié, poursuivant le dessin ondulé (figure 5).

Afin de laisser le temps à la maîtrise d'ouvrage d'évaluer le projet, la conduite de projet Ratp a conseillé de prescrire au marché deux options de revêtements en second-œuvre.

Dans l'option 1, l'émail blanc voulu par l'architecte sur les tôles est préservé car il répond aux exigences de la Ratp de l'anti-graffiti, le verre accrochant peu la peinture.

Dans l'option 2, l'émail est remplacé par de la peinture thermolaquée blanche anti-graffiti. Celle-ci résistera peut-être un peu moins bien aux agressions, mais n'éclatera pas lors d'un impact fortuit. Le travail de la maintenance sera ainsi facilité en cas de dégradations (figure 6).

Les deux solutions ont été exposées par l'entreprise titulaire du lot, Demathieu Bard Idf, pour que la maîtrise d'ouvrage et la maintenance puissent se prononcer. Le choix de la tôle thermolaquée semble évident, car si le rendu des deux revêtements est très proche, la tôle présente une facture moindre et une plus grande facilité de maintenance.



### LES SUPPORTS D'ÉQUIPEMENT, UN EXERCICE D'ÉQUILIBRISTE

La signalétique et les équipements électriques, traditionnellement accrochés au mur ou au plafond, se retrouvent sur des supports métalliques propres selon le concept architectural. Formés par un double tube vertical, l'un pour la basse tension (BT) et l'autre pour les courants faibles (CFA), ils se terminent sur une potence commune où seront accrochés les terminaux.

### 3- Axonométrie de la station Bagneux.

### 4- Façade en verre de la station Bagneux – Lucie-Aubrac.

### 3- Axonometry of Bagneux Station.

### 4- Glass facade of Bagneux – Lucie-Aubrac Station.

Cette séparation de cheminements répond au besoin règlementaire de cheminements distincts des réseaux CFA/BT.

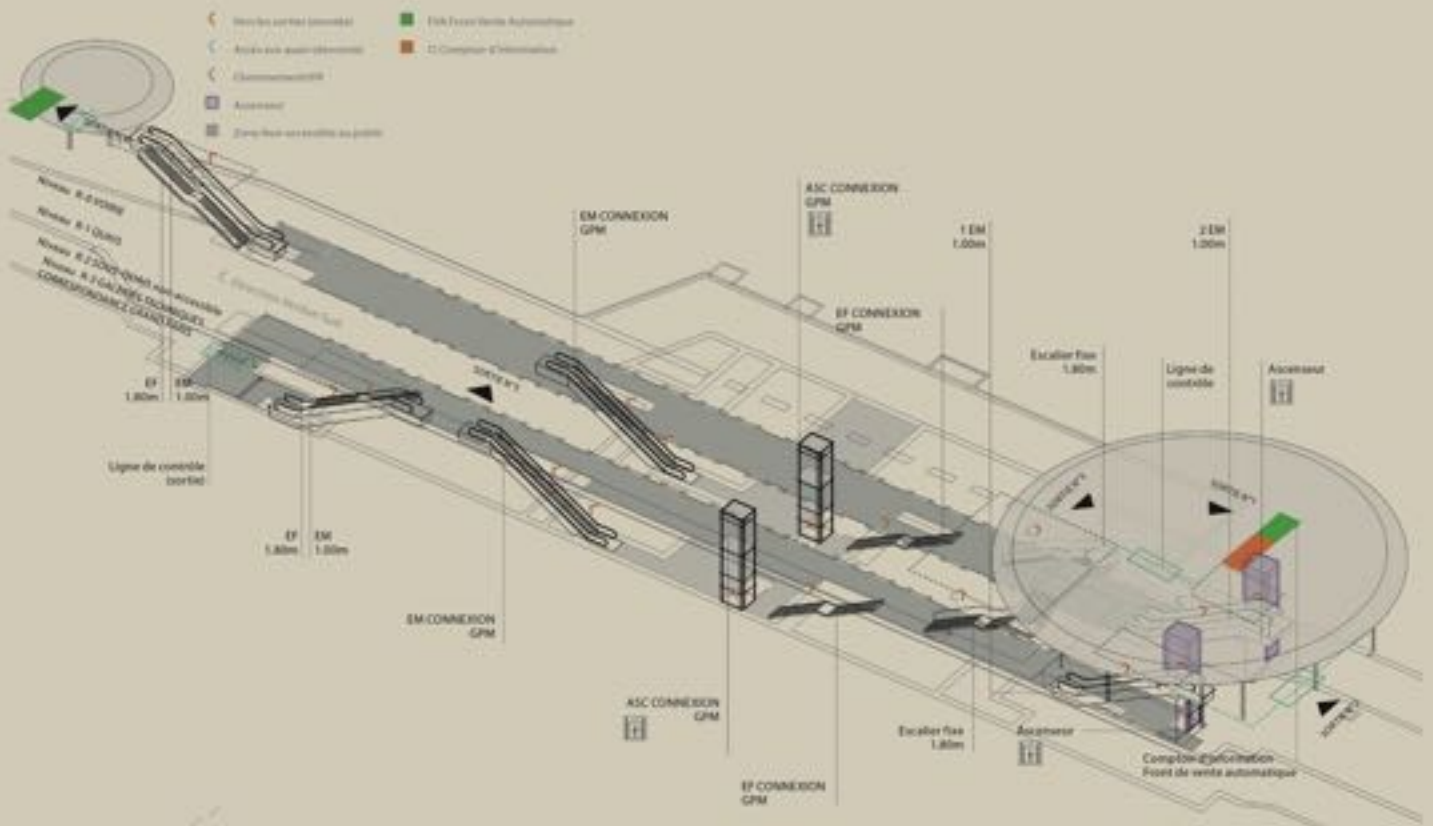
Le dessin se décline en trois familles, le mât posé au sol, la suspente accrochée au plafond et la cimaise, où le double tube file contre le mur. Cette dernière accueille une rampe de lumière qui éclaire l'ondulation murale. L'objet, bien que simple dans son architecture, est complexe dans l'articulation

des lots qui s'accrochent dessus. En effet, le lot d'aménagement fournit le support, ainsi que certaines platines.

Les équipements, tels que la signalétique, les caméras et les blocs seront gérés par les autres MOE qui viendront s'accrocher dessous. Leur position étant prédéfinies par les MOE, il faut que la dimension de la potence ainsi que sa position dans l'espace répondent à cette exigence (figure 7). ▶

© LIN

## AXONOMÉTRIE DE LA STATION BAGNEUX



3

## FAÇADE EN VERRE DE LA STATION BAGNEUX – LUCIE-AUBRAC



4

© SYSTRA



5 © LIN

Systra et Ing Ratp ont mené une synthèse fine des terminaux avec les entreprises et les maîtres d'œuvre, afin de déterminer les paramètres de chaque support.

Un schéma type est utilisé comme fond et chaque équipement est positionné l'un par rapport à l'autre au cours de la synthèse, en respectant quelques points durs comme un axe de prise de vue difficilement altérable. Le dessin est alors retranscrit schématiquement dans un tableau récapitulatif et sert de tableau de nomenclature pour la commande des supports. Le support étant fixe, il a été demandé par les MOE de laisser une marge d'adaptation sur le terrain. Par exemple, les platines fixes de caméra ont été remplacées en cours d'EXE par des éléments coulissants le long de la potence, permettant ainsi le réglage de la prise de vue en dernière minute. Il ne faut pas oublier que les panneaux de publicité ou distributeurs devront être ajoutés au cours du chantier.

#### LE TEMPS DU CHANTIER ET LE TEMPS DU RÉSEAU

Parfois, la temporalité du chantier est impactée par la temporalité des études liées au réseau dans sa globalité. C'est le cas pour les mains courantes lumineuses qui forment l'éclairage principal des escaliers et de la station, où il a été demandé à Systra d'intégrer des

rampes LED développées pour tout le réseau Ratp. Ce choix est lié au fait que la maintenance souhaite homogénéiser son stock de lampes LED. Ce choix, bien que minime en apparence, a nécessité de revoir en partie la forme du profil de la main courante, afin d'accueillir au mieux la rampe LED. De son côté, le service de conception interne à la Ratp a dû lui aussi

reprendre certains éléments du cahier des charges, afin de le rendre compatible avec le projet, mais également aux projets de la 11, 12 et 14 Nord, eux aussi destinataires de ce produit (figures 8 et 9).

Cette problématique temporelle fait écho à celle de l'arrivée de l'automatisation de la Ligne 4, non prévue initialement au projet.

La phase EXE a été l'occasion de mettre à plat les exigences liées à cette nouvelle donnée d'entrée, et la position des luminaires a dû s'adapter. En effet, des façades de quai ont été implantées le long des voies, afin d'éviter la chute d'objet ou l'intrusion de voyageurs dans le système automatique. Néanmoins, la réglementation impose une zone d'exclusion d'équipements

### PROTOTYPES DE REVÊTEMENTS EN TÔLE ONDULÉE

La tôle émaillée ressort légèrement plus laiteuse que la tôle thermolaquée



Tôles thermolaquées

Tôles émaillées

6

© SYSTRA

**5- Perspective de l'intérieur de la station avec la mise en situation des revêtements.**

**6- Prototypes de revêtements en tôle ondulée. La tôle émaillée ressort légèrement plus laiteuse que la tôle thermolaquée.**

**5- Perspective view of the station interior with simulation of coverings.**

**6- Prototypes of corrugated iron coverings. The enamelled sheet metal appears slightly more creamy than the thermolacquered sheet metal.**

7- Prototype de mât support d'équipement installé sur quai.

8- Reprise du détail de la main courante lumineuse en fonction du produit Ratp.

9- Photographie du prototype de main courante lumineuse.

7- Prototype of supporting pole for equipment installed on platform.

8- Reproduction of detail of the luminous handrail according to the Ratp product.

9- Photograph of prototype luminous handrail.



© SYSTRA  
7

électriques dans un périmètre de 2 m autour des façades.

La position du bandeau lumineux, prévu filant sur tout le long du quai, a dû être réadaptée par rapport à cette zone d'exclusion et certaines parties seront désormais démontables afin de laisser passer des équipements au-dessus des portes palières lors de la maintenance lourde. Se ménager de la souplesse dans les CCTP est essentiel, pour ne pas

se laisser dépasser par des données d'entrée nouvelles dépassant le temps du chantier.

#### OBJETS ARCHITECTURAUX ET COORDINATION

Certains objets architecturaux, comme les toitures métalliques circulaires recouvrant les deux entrées, présentent un défi de coordination au sein d'un même lot. De diamètre de 42 m

ou 12 m en fonction des accès, elles sont assises sur une forêt de poteaux ronds, à 3 m au-dessus des pavillons. Avant de commencer les plans d'EXE, l'entreprise titulaire a effectué un récolement des points d'appuis laissés par le génie civil sur la dalle de couverture de la station.

Au vu de l'antériorité importante de la phase de gros-œuvre, certains cas de figure n'avaient pas pu être anticipés

et les pieds de la charpente ont dû être adaptés en recalant certaines files de poteaux et en modifiant les points d'ancrage en fonction des aciers des massifs.

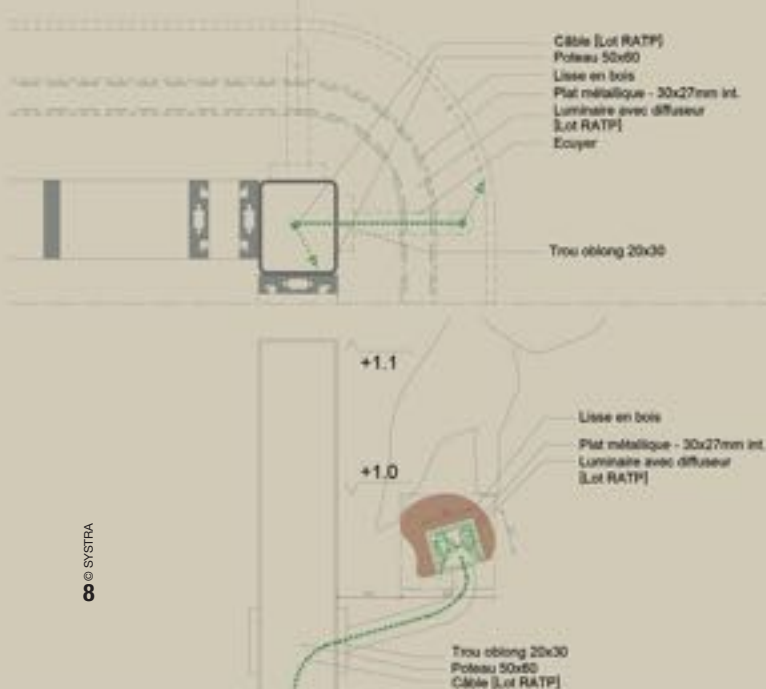
La couverture de toiture en zinc a nécessité elle aussi quelques ajustements avant d'être lancée en fabrication.

Le chéneau de récupération des eaux est situé entre deux niveaux de la couverture, laissant ainsi une lame fine en bordure extérieure. Initialement, l'entretien de ce collecteur a été imaginé par ligne de vie, afin d'éviter la présence inesthétique de garde-corps en périphérie. Après mise au point avec le CSPS, le choix de maintenance s'est tourné vers l'accès en nacelle aux crapaudines dans le but de favoriser la protection collective. Le chéneau, situé à plus d'un mètre de bord, a été élargi d'une dizaine de centimètres, afin d'être accessible pour l'agent nettoyeur. Le résultat est une toiture fine, tout en présentant une meilleure accessibilité (figure 10).

L'eau récupérée de ces toitures sert à alimenter la machine à laver des trains, située en avant gare du quai d'arrivée de la station terminus de Bagneux. Les réseaux venant de la toiture débouchent dans une fosse de récupération d'eau située au niveau -2.

Une réflexion a été menée en phase de synthèse, afin de faire passer les réseaux au niveau voirie, dans l'enceinte de la station, plutôt que dans l'espace de la place attenante, hors lot. ▷

#### REPRISE DU DÉTAIL DE LA MAIN COURANTE LUMINEUSE EN FONCTION DU PRODUIT RATP



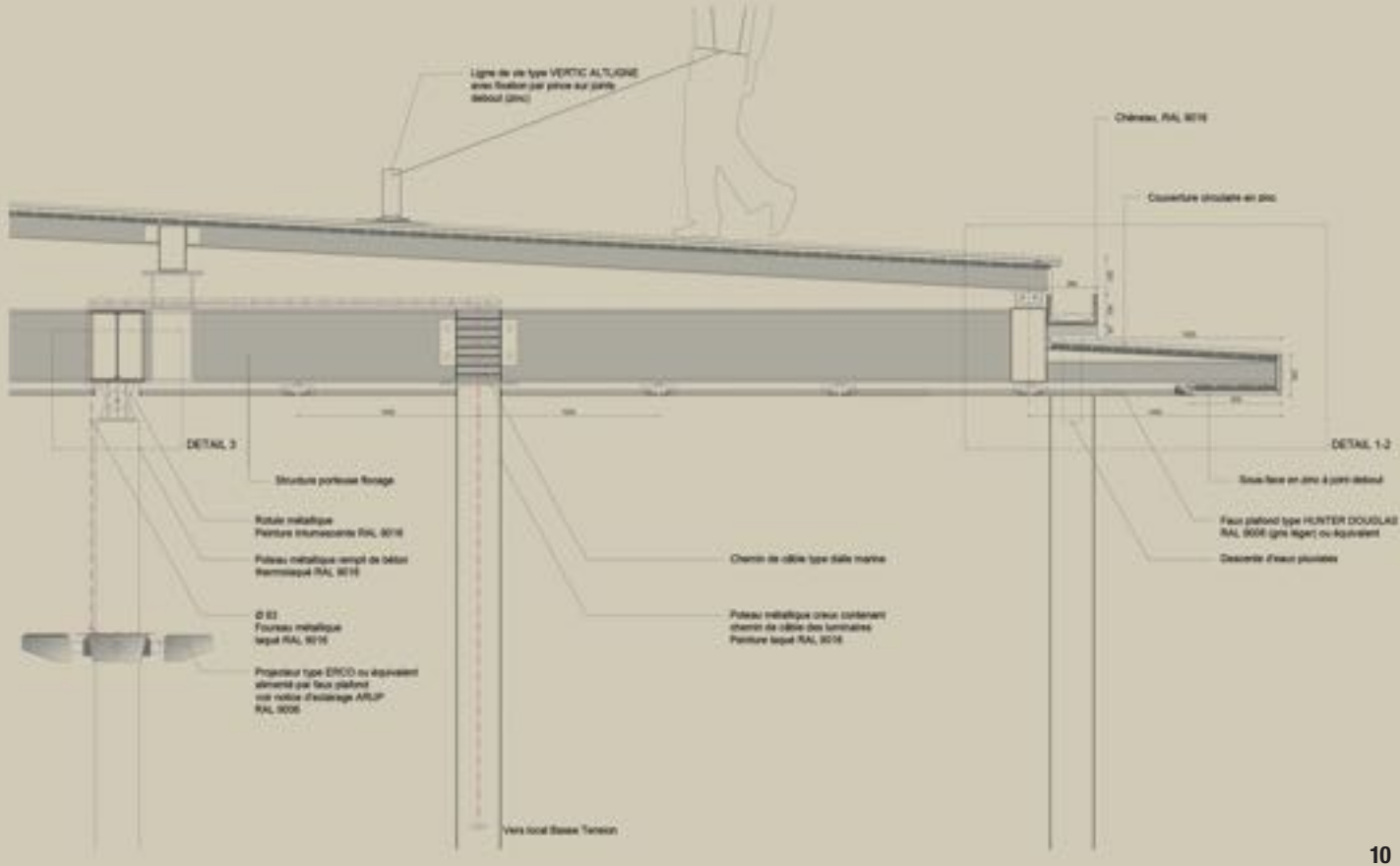
© SYSTRA



9  
© SYSTRA



## DÉTAIL DE LA TOITURE CIRCULAIRE ET DU CHÉNEAU INTERMÉDIAIRE



10

© SYSTRA

Ceci évitera une coordination supplémentaire avec les VRD, décalés temporellement par rapport aux travaux de la station.

### CONCLUSION

Le travail sur la station de Bagneux montre les défis de réalisation liés au programme d'une station de métro.

L'architecture présentée aux voyageurs doit intégrer les exigences de chaque corps d'état, tout en conservant les lignes du concept initial. Systra s'est doté d'outils comme la synthèse fine des terminaux et de prototypes de métallerie pour y répondre et ainsi mieux maîtriser la réalisation. Ces recherches préfigurent les réflexions à

**10- Détail de la toiture circulaire et du chéneau intermédiaire.**

**10- Detail of the circular roof and intermediate gutter.**

mener sur les chantiers des stations du Grand Paris Express qui présentent des défis architecturaux dépassant largement ceux de Bagneux.

La diffusion de retour d'expérience entre projets sera essentielle pour ne pas tomber dans les mêmes écueils et produire un réseau à la fois performant et esthétique. □

### ABSTRACT

## BAGNEUX-LUCIE-AUBRAC METRO STATION. THE ARCHITECTURAL CONCEPT IN TESTING METRO CONDITIONS

JOËL SCHAACK, SYSTRA

This article describes the methods developed by Systra, the engineering department (Ing) of Paris public transport operator Ratp, and Ratp project management to succeed in maintaining the refined architectural concept developed by the Lin agency, while adapting it to the demanding context of metro stations. At Bagneux, on the site of the extension of Paris metro Line 4, the contracts were designed so as to allow for some flexibility in order to leave the contracting authority time to choose products carefully while preserving the rendering. Moreover, the architectural integration of the supports and the adaptation of certain details made it possible to incorporate system equipment in the station without impacting the aesthetics or functional properties. □

## ESTACIÓN DE METRO DE BAGNEUX – LUCIE-AUBRAC. EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO ADAPTADO AL METRO

JOËL SCHAACK, SYSTRA

El presente artículo expone los métodos desarrollados por Systra, el departamento de ingeniería (Ing) de la Ratp y la ejecución de proyecto Ratp para lograr mantener el depurado concepto arquitectónico desarrollado por la agencia Lin, adaptándolo al exigente contexto de las estaciones de metro. En Bagneux, en la obra de prolongación de la Línea 4 del metro de París, los contratos se han elaborado con cierta flexibilidad para dar tiempo al contratista a elegir bien los productos, conservando el acabado. Además, la síntesis arquitectónica de los soportes y la adaptación de algunos detalles han permitido integrar los equipos del sistema en la estación sin perjuicio de la estética y la funcionalidad. □



**PRO BTP,  
LE MEILLEUR DE LA  
PROTECTION SOCIALE**

SANTÉ  
PRÉVOYANCE  
RETRAITE  
ÉPARGNE  
ASSURANCES  
ACTION SOCIALE  
VACANCES

 **PRO BTP**  
GROUPE



1  
© DAVID DELAPORTE / SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

# GARE IGR : UN MÉGA PUIITS POUR UNE GARE DOUBLE

AUTEURS : HERVÉ TOURLET, RESPONSABLE TRAVAUX MOE, SETEC - ADELINÉ ATRAMONT, ADJOINTE TRAVAUX MOE, SETEC - MARYSE ROZIER CHABERT, RESPONSABLE MOA, SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

LA GARE VILLEJUIF-INSTITUT-GUSTAVE-ROUSSY EST UNE GARE DOUBLE DE LA LIGNE 15 SUD DU MÉTRO DU GRAND PARIS EXPRESS. CETTE GARE SERA AUSSI UNE STATION DE L'EXTENSION DE LA LIGNE 14 VERS L'AÉRO-PORT D'ORLY. LES 2 LIGNES SE CROISENT PERPENDICULAIREMENT, LA LIGNE 15 AU NIVEAU BAS, ET LA LIGNE 14 ENVIRON 13 m AU-DESSUS. LA PARTICULARITÉ DE CETTE GARE RÉSIDE DANS SA CONCEPTION STRUCTURELLE. LE CHOIX A EN EFFET ÉTÉ FAIT DE CRÉER UN PUIITS DE TRÈS GRANDE TAILLE, DE 63 m DE DIAMÈTRE INTÉRIEUR, ET 4 EXTENSIONS EN TUNNELS TRADITIONNELS VOÛTÉS.

Ce futur métro représente plus de 200 km de lignes nouvelles qui s'ajoutent aux 400 km existants en Île-de-France.

La Ligne 15 sud est la ligne pionnière. Conçue par Setec et l'architecte Dominique Perrault, les travaux de la gare sont réalisés par un groupement d'entreprises Vinci-Spie-Botte.

La gare est implantée dans la partie nord du parc des hautes bruyères, en face de l'hôpital institut Gustave Roussy, qui jouit d'une reconnaissance interna-

tionale dans le domaine de la recherche et du traitement du cancer (figure 1). La particularité de cette gare réside dans sa conception structurelle qui a nourri la conception architecturale. Le choix a en effet été fait de créer un puits de grande taille, de 63 m de diamètre intérieur, et 4 extensions en tunnel traditionnel voûté pour abriter les quais des Lignes 14 et 15 dont la longueur est respectivement de 122 m et 110 m (figure 2). Le choix de conception résulte :  
→ Du croisement perpendiculaire des

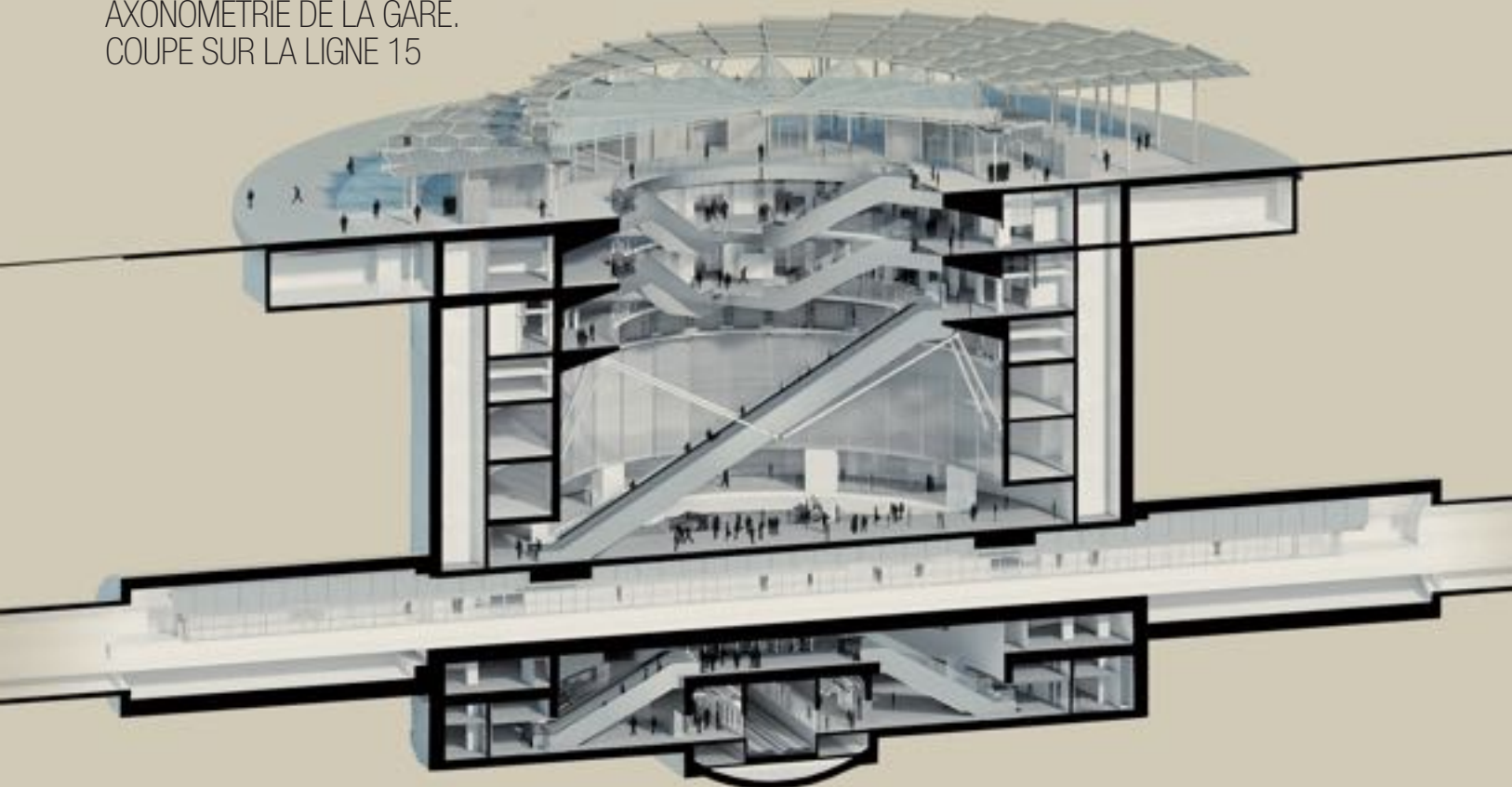
**1- Évacuation des déblais du puits, en face de l'institut Gustave Roussy.**

**1- Removal of excavated material from the shaft, opposite the Gustave Roussy Institute.**

2 lignes qui remet en cause le choix traditionnel d'ouvrage rectangulaire orienté suivant la direction des quais quand la gare est traversée par une seule ligne ;

→ De la possibilité en termes d'emprises d'opter pour cette forme de puits autostable (pas de butons) choix optimal structurellement, en particulier au vu de la grande profondeur de l'ouvrage : le fond de fouille travaux se situant à 57 m de profondeur par rapport au TN ;

## AXONOMÉTRIE DE LA GARE. COUPE SUR LA LIGNE 15



2

© DPA

→ Du contexte géotechnique et de l'absence d'immeuble avoisinant à proximité immédiate permettant de réaliser des excavations en tunnel traditionnel en limitant les risques de ce type de travaux.

Le diamètre du puits résulte de l'espace nécessaire aux largeurs de quai des 2 lignes ainsi que de l'encombrement de l'ensemble des escaliers nécessaires à l'interconnexion en partie inférieure de la gare et à la jonction avec la surface (figure 2).

**2- Axonométrie de la gare. Coupe sur la Ligne 15.**  
**3- Vue du puits de 63 m depuis la grue à tour.**

**2- Axonometry of the station. Cross section on Line 15.**  
**3- View of 63-metre shaft from the tower crane.**

### CHOIX DIRECTEURS LIÉS AU SITE

Le parc des hautes bruyères dans lequel est située la gare est une ancienne carrière de sables utilisés en fonderie, qui a cessé d'être exploitée en 1995. Le sable a été extrait jusqu'à environ 15 m de profondeur. Le remblaiement de ces carrières a été fait de manière très hétérogène. On peut donc y retrouver divers déchets, matériaux de construction, blocs de béton et métal...

La réalisation de travaux de fondations profondes dans ce contexte est délicate, à la fois en raison des obstacles que peuvent rencontrer les outils de forage que des vides qui peuvent amener des pertes brutales du fluide de forage. Le choix de conception s'est donc orienté vers un pré-terrassement sur 8 à 10 m qui présentait les avantages suivants :

- Évacuer les terrains les plus susceptibles d'être pollués de déchets anthropiques et ainsi diminuer la profondeur des parois moulées de la gare en ayant supprimé les premiers mètres pouvant contenir des matériaux incompatibles avec les outils de forage et le fluide de forage ;
- Libérer une plateforme à 8-10 m de profondeur autour du puits qui servirait, dans un premier temps, de voie de chantier, d'espace de stockage et de préfabrication autour du puits et, dans un deuxième temps, de plateforme pour construire de manière simple et économique les locaux techniques en 1<sup>er</sup> sous-sol les plus contraignants en termes d'espace et d'accessibilité pour la maintenance (poste de redressement des 2 lignes 14 et 15, locaux groupes froids...) ;
- Enlever du poids mort de terrain pesant lors des phases de creusement des tunnels en méthode traditionnelle.

Enfin il convient d'expliciter le choix de conception structurel du puits. ▷



© DAVID DELAPORTE / SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

3



4

© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

Celui-ci est constitué d'une 1<sup>re</sup> enceinte en parois moulées fines de 64 cm d'épaisseur doublée d'un contre-voile en béton armé au cours des différentes passes de terrassement. Le rôle de la paroi moulée est ici principalement de servir d'écran de soutènement provisoire pour réaliser le contre-voile et porter son poids avant réalisation du radier. Le choix de ne pas avoir recours à une paroi moulée de grande épaisseur comme structure définitive résulte :

- Des 4 percements de grande surface (environ 1 000 m<sup>2</sup> en tout) en partie basse de la gare pour les extensions de quai de la gare. Ces percements perturbent fortement le comportement autostable du puits, induisant des moments de flexion et des surcontraintes de compression qu'une paroi moulée seule n'aurait pu reprendre. Ceci d'autant plus que le béton de paroi moulée a un taux de travail bien plus faible que celui du béton coulé en place ;
- De la gestion du risque de déviation non maîtrisée des parois moulées : toute déviation excessive même

d'un seul des 29 panneaux de paroi moulée à la descente aurait remis en cause le caractère auto-stable de l'ouvrage. L'importance de l'ouvrage tant par sa profondeur que son diamètre a imposé une sécurisation de sa construction.

### LES TERRASSEMENTS DE SURFACE

#### PAROIS MOULÉES TIRANTÉES

Le pré-terrassement autour du fût a nécessité la réalisation d'un soutènement lourd dans les zones ne pouvant être talutées (au nord de l'emprise pour protéger la voie des Sables, à l'ouest et à l'est pour dégager des surfaces chantier).

Ce soutènement est constitué d'une paroi moulée de 62 cm d'épaisseur, de 210 m de long, et de 12 m à 17,50 m de profondeur (au niveau des gaines de décompression). Cette paroi est maintenue en phase provisoire par 125 tirants de 15 à 35 m de profondeur, répartis sur 2 lits.

La paroi moulée a été forée à la benne à câbles dans des terrains meubles

#### 4- Pré-terrassements et tirants.

#### 5- Fin des pré-terrassements et démarrage de la paroi moulée circulaire.

#### 6- Paroi moulée circulaire : forage simultané de 3 panneaux.

#### 4- Preliminary earthworks and tie anchors.

#### 5- End of preliminary earthworks and start of circular diaphragm wall.

#### 6- Circular diaphragm wall: simultaneous drilling of 3 panels.

### PRÉ-TERRASSEMENTS

Une pré-caractérisation chimique a été réalisée pendant la période de préparation de chantier afin de déterminer les filières d'évacuation des déblais :

- Installation de stockage de déchets inertes (ISDI) ;
- Comblement de carrière (CC) ;
- Installation de stockage de déchets inertes + (ISDI+) ;
- Installation de stockage de déchets non dangereux (ISDND) ;
- Installation de stockage de déchets dangereux (ISDD).

L'emprise du chantier a été découpée en plus de 100 mailles de 200 m<sup>2</sup>. Chaque maille a été pré-caractérisée jusqu'à sa profondeur d'excavation (jusqu'à 57 m) à raison d'un échantillon par mètre.

Le pré-terrassement sur 8 à 10 m de profondeur a représenté un volume d'environ 110 000 m<sup>3</sup> de déblais. Il a été réalisé à l'aide de 2 pelles 30 t et d'un bulldozer, d'août 2017 à février 2018. La cadence d'évacuation moyenne pendant les 3 mois les plus intenses a été de 80 semis et 2 200 t évacuées par

(remblais et sable de fontainebleau). Sa réalisation a duré environ 2 mois à raison de presque un bétonnage de panneau par jour ouvré.



5

© SETEC



6

© SETEC





jour avec des pics jusqu'à 130 semis et 3700 t évacuées par jour (figure 4). Environ 40% des déblais du pré-terrassement ont été déclassés sur site car ils contenaient des débris poubelliers. Ils ont été réorientés en filière ISDND alors que leur pré-caractérisation chimique prévoyait de les évacuer en filières ISDI ou CC.

## LE Puits

### CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Les formations géologiques rencontrées au droit de la gare sont les suivantes :

- Remblais de carrière à ciel ouvert des sables de Fontainebleau, sur les 16 premiers mètres ;
- Sables de Fontainebleau : sable fin limoneux présent sur les 16 premiers mètres dans les zones non exploitées ;

**7- Coffrage et mise en place du masque au niveau d'un plot de contre-voile renforcé au droit des amorces de la Ligne 14.**  
**8- Ferrailage d'un contre-voile renforcé.**

**7- Formwork and positioning of the mask on a reinforced shear wall section at the level of the start of faces for Line 14.**

**8- Reinforcing bars of a reinforced shear wall.**

- Marnes à Huîtres : formation marneuse, parfois plastique, reconnaissable grâce à ses coquilles d'huître. Épaisseur d'environ 2 m ;
- Calcaires de Brie : marno-calcaire d'origine lagunaire ou lacustre avec des accidents siliceux (bancs de meulière, de calcaire dur et de calcaire silicifié très dur) intercalés entre des bancs marneux ou argilo-marneux. Épaisseur d'environ 4 m ;
- Argile Verte : argile verte très plastique verdâtre. Épaisseur d'environ 7 m ;
- Marnes-calcaires de Pantin : de couleur beige, calcareuses, comportant parfois à leur sommet un niveau gypseux. Vers la base, ces marnes sont plus argileuses, de teinte verdâtre. Épaisseur d'environ 4 m.

→ Marnes d'Argenteuil : marnes argileuses, de couleur grise, bleu sombre ou ocre à vert pâle. Des lits silteux et gypseux sous forme de bancs décimétriques de gypse saccharoïde (banc de chien) caractérisent la base de la formation. Épaisseur d'environ 12 m.

→ Masses et Marnes du Gypse : dépôts lagunaires évaporitiques de gypse saccharoïde à ciment gypseux hautement soluble. Épaisseur d'environ 18 m ;

La gare est concernée par plusieurs aquifères : Sables de Fontainebleau, Calcaire de Brie, Marnes-calcaires de Pantin et Masses et Marnes du Gypse.

### PAROIS MOULÉES

La paroi moulée du fût est constituée de 29 panneaux de 7 m de large, 64 cm d'épaisseur et de 50 à 51 m de profondeur (figures 5 et 6). Elle a été forée à l'aide de 2 bennes à câbles (pour les remblais, le sable de Fontainebleau, les Marnes à Huîtres et les Argiles Vertes) et une fraise (pour les Calcaires de Brie, les Marnes de Pantin, les Marnes d'Argenteuil et les Masses et Marnes du Gypse).

La réalisation de cette paroi moulée a duré 6 mois et demi, soit une cadence sensiblement plus faible que prévu.

Cette perte de cadence peut être expliquée par 2 facteurs principaux : des pertes de boue importantes et des difficultés de décoffrage des palplanches porte-joints.

Des pertes de boue importantes ont eu lieu lors de la réalisation des premiers panneaux. Ces pertes ont notamment généré un éboulement du premier panneau qui a été remblayé avant d'être foré à nouveau. Suite à ces pertes le groupement a réduit sa cadence de forage afin de s'assurer de la stabilisation du niveau de boue dans les panneaux. Des injections ont ensuite été réalisées sur la zone jugée la plus sensible.

La finesse et la profondeur de cette paroi ainsi que les terrains rencontrés ont engendrés des difficultés de maîtrise des déviations des outils de forage. La conséquence pendant la réalisation a été un temps plus long que prévu de décoffrage des palplanches porte-joints entre les panneaux.

### CONTRE-VOILE

La paroi moulée circulaire est doublée d'un contre-voile en béton armé coulé à la descente par plots.



9

© SETEC

Sur les 15 premiers mètres le contre-voile fait 0,87 m d'épaisseur. Il a été réalisé en 4 levées de 3,75 m de haut bétonnées sur un béton de propreté par plots de 40 m de long. Le béton mis en œuvre est un béton auto-plaçant C45/55. Les plots réalisés sont d'environ 150 m<sup>3</sup>.

Sur les 9 levées suivantes le contre-voile fait 1,37 m d'épaisseur et est renforcé à 1,57 m autour des percements pour les extensions de quai en tunnel voûté traditionnel. Ces plots font jusqu'à 200 m<sup>3</sup> et ont été bétonnés avec un béton auto-plaçant C45/55 ou C60/75 pour les zones renforcées.

Les plots de 1,37 m d'épaisseur font entre 16 et 37 m de long et 2,5 m ou 3,75 m de haut.

Les plots de 1,57 m d'épaisseur font environ 28 m de long autour des amorces de la Ligne 14 et environ 25 m de long autour des amorces de la Ligne 15.

Au niveau des percements pour les tunnels traditionnels, un masque en

bois de 750 mm d'épaisseur est utilisé pour réduire l'épaisseur de 1,57 m à 0,82 m (figure 7).

La séquence de réalisation des contre-voiles est la suivante :

- Terrassement devant la paroi moulée et rabotage de la paroi ;
- Pose d'une nappe drainante sur 1/3 de la surface de la paroi moulée ;
- Mise en place d'un joint hydrogonflant et d'un tube pour post-injection en sous face du plot supérieur ;
- Réalisation d'un béton de propreté ;
- Réalisation des ancrages entre la paroi moulée et le contre-voile ;
- Ferrailage des plots, puis bétonnage et cure.

La surface importante du fût (plus de 3000 m<sup>2</sup>) permet la réalisation simultanée de ces différentes activités dans le volume.

La nappe drainante mise en place permet l'évacuation d'éventuelles venues d'eau à travers la paroi moulée non étanche jusqu'au système de drainage sous radier. Le tube post-injection est

**9- Terrassement à la pelle puis acheminement des déblais vers des points de chargement avec une chargeuse.**

**10- Remontée des déblais avec 2 pelles caméléon.**

**11- Ferrailage du radier sous la Ligne 14 Nord.**

**9- Earthworks by shovel and then transport of the excavated material to loading points with a loader.**

**10- Raising excavated material with 2 "chameleon" shovels.**

**11- Reinforcing bars of the invert under Line 14 North.**

mis en place pour permettre l'injection de résine au niveau des reprises de bétonnages horizontales entre plots en cas d'infiltrations. Les ancrages entre la paroi moulée et le contre-voile permettent de supporter le poids du contre-voile pendant la phase de descente et jusqu'à la réalisation de ses fondations. Le ratio d'armatures dans les plots de 0,87 m et 1,37 m d'épaisseur est de 100 à 150 kg/m<sup>3</sup>. Il est beaucoup plus élevé dans les zones renforcées où il peut atteindre 330 kg/m<sup>3</sup> (figure 8). La durée de réalisation d'une levée de contre-voile de 0,87 m d'épaisseur a été d'environ 10 j.

La durée de réalisation d'une levée de contre-voile renforcé a été d'environ 14 j.

## TERRASSEMENTS

Le terrassement du fût nécessite des ateliers de terrassement en fond de puits et des ateliers de remontée.

En fond de puits 2 pelles 30 t ont été utilisées dans les couches non indu-



10

© SETEC



11

© SETEC



© SETEC

12

rées. Le terrassement de la couche du Calcaire de Brie a nécessité une pelle supplémentaire équipée d'un BRH et le terrassement des Masses et Marnes du Gypse a nécessité 2 pelles supplémentaires dont une équipée d'une dent de déroctage vibrante. Pendant tout le terrassement une chargeuse (trax) est utilisée pour acheminer les déblais vers les points d'extraction situés sous les ateliers de remontée (figure 9). 2 pelles caméléon ont été utilisées, jusqu'à leur profondeur limite d'utilisation de 25 m, pour la remontée des déblais et le chargement dans les semis (figure 10). Elles ont ensuite été remplacées par 2 pelles à câbles de très grande profondeur, capables de remonter des matériaux jusqu'à 60 m de profondeur. Afin d'accélérer les évacuations le groupement a mis en place un transport par voie fluviale ainsi qu'un poste d'évacuation de nuit.

**12- Ferrailage du radier et du dernier plot de contre-voile sous la Ligne 14 Nord.**

**12- Reinforcing bars of the invert and last shear wall section under Line 14 North.**

Le transport par voie fluviale à partir d'un quai de chargement à Charenton-le-Pont a permis de réduire la distance entre le chantier et le site de déchargement des camions et donc d'augmenter le nombre de tours réalisés par jour. L'ajout d'un poste de nuit a permis l'évacuation dans de meilleures conditions de circulation et sans pénaliser le chantier qui travaillait alors de 6h à 22h.

### INSTRUMENTATION DES TERRASSEMENTS : INCLINOMÈTRES, CIBLES

L'auscultation de la paroi moulée tirantée est réalisée à l'aide des résultats de mesures :

- D'inclinomètres, noyés dans 6 des 35 panneaux de parois moulées et mesurant leur déformée horizontale ;
- De cellules de tension, qui mesurent les efforts dans 12 des 125 tirants ;
- De déplacements de cibles sur la paroi permettant de suivre la déformation et la convergence de la paroi.

L'auscultation du fût est basée sur les résultats de cibles positionnées sur le contre-voile au fur et à mesure de sa réalisation.

En effet, les inclinomètres dans la paroi moulée circulaire (8 panneaux équipés sur 29) ont été rapidement endommagés au fur et à mesure de la réalisation des scelllements entre la paroi moulée et le contre-voile.

De façon complémentaire, des jauges de contraintes en été mises en place dans les contre-voiles pour permettre d'évaluer l'incrément de contrainte dans le contre-voile lors de l'ouverture des amorces.

Des profils de nivellement ont été installés pour suivre les déformations de la rue Édouard-Vaillant, des cibles et des électro nivelles ont été installées sur les bâtiments avoisinants.

### TRAVAUX À VENIR

Les prochaines grandes phases de réalisation de la gare sont les suivantes :

- Réalisation du radier et des semelles de fondation (figures 11 et 12) ;
- Montage des plateformes d'accès métalliques pour réaliser les extensions de quais de la Ligne 14 en tunnels traditionnels ;
- Réalisation en partie en parallèle des 4 extensions de quai en tunnels traditionnels ;
- Réalisation du pont provisoire pour la traversée du tunnelier de la Ligne 14 ;
- Traversée de la gare par le tunnelier de la Ligne 14 du sud au nord, puis par le tunnelier Ligne 15 d'ouest en est ;
- Réalisation des structures internes de la gare ;
- Réalisation des locaux techniques autour de la gare. □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**EMPRISE DU SITE : 20 000 m<sup>2</sup>**  
**DURÉE DE LA PHASE GÉNIE-CIVIL : 5 ans**  
**DIMENSIONS DU FUT : 63 m de diamètre x 45 m de profondeur**  
**LONGUEUR DES QUAIS : 110 m pour la Ligne 15 et 122 m pour la Ligne 14**  
**BÉTON DE PAROI MOULÉE MIS EN ŒUVRE : 8 500 m<sup>3</sup>**  
**BÉTON DE GÉNIE CIVIL À RÉALISER : 35 000 m<sup>3</sup>**  
**DÉBLAIS À ÉVACUER : 600 000 t**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Société du Grand Paris**  
**MOE : groupement Setec (mandataire) - Ingerop**  
**ARCHITECTE : Dominique Perrault Architecture**  
**ENTREPRISES : groupement Cap (Vinci Construction - Spie Batignolles)**  
**AMO : Artemis**

## ABSTRACT

### IGR STATION: A MEGA-SHAFT FOR A DOUBLE STATION

HERVÉ TOURLET, SETEC - ADELIN ATRAMONT, SETEC - MARYSE ROZIER CHABERT, SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

**Villejuif-Institut-Gustave-Roussy Station is a double station forming part of section T3 of Line 15 South of the 'Grand Paris Express' metro project. This station will also serve as a station on the extension of Line 14 to Orly Airport. The two lines 14 and 15 cross one another perpendicularly, Line 15 on the low level and Line 14 about 13 metres above. The special feature of this station is its structural design on which the architectural design was based. It was chosen to create a very large shaft, of inner diameter 63 metres, with 4 extensions in conventional arched tunnels to house the platforms of lines 14 and 15, respectively 122 and 110 metres long. □**

### ESTACIÓN IGR: UN MEGA POZO PARA UNA ESTACIÓN DOBLE

HERVÉ TOURLET, SETEC - ADELIN ATRAMONT, SETEC - MARYSE ROZIER CHABERT, SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

**La estación de Villejuif-Institut-Gustave-Roussy es una estación doble que forma parte del tramo T3 de la Línea 15 Sur del metro del Grand Paris Express. Esta estación también acogerá la extensión de la Línea 14 hacia el aeropuerto de Orly. Las 2 Líneas 14 y 15 se cruzan perpendicularmente: la Línea 15 en el nivel inferior y la Línea 14 unos 13 m por encima. La particularidad de esta estación reside en su diseño estructural, que ha condicionado el diseño arquitectónico. En efecto, se ha optado por crear un pozo de tamaño muy grande, de 63 m de diámetro interior, con 4 extensiones en túneles tradicionales abovedados para albergar los andenes de las Líneas 14 y 15, de 122 y 110 m de longitud respectivamente. □**



1

© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS / GÉRARD ROLLANDO

# GARE D'ARCUEIL-CACHAN, UN PUIS DE DÉPART DU TUNNELIER AU CŒUR DE LA LIGNE 15 SUD

AUTEURS : JACK ROYER, CHEF DE PROJET SECTEUR CACHAN, SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS - VIORELA SEGARCEANU, ADJOINT RESPONSABLE MAÎTRISE ŒUVRE, SETEC - THOMAS VAESKEN, DIRECTEUR SECTEUR GÉNIE-CIVIL, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

LA CONCEPTION ET LA CONSTRUCTION DE LA FUTURE GARE D'ARCUEIL-CACHAN (94) A ÉTÉ FORTEMENT CONTRAINTE PAR LA CRÉATION DE L'OUVRAGE DE CREUSEMENT DU TUNNELIER EN DIRECTION DE LA GARE VILLEJUIF-LOUIS-ARAGON, TOUT EN TENANT COMPTE DE LA CONCOMITANCE DES TRAVAUX DE LA RATP QUI RÉALISAIT SON OUVRAGE À RIPER SOUS LES VOIES DU RER B AFIN DE PERMETTRE LA CONSTRUCTION EN TAUPE DE LA PARTIE OUEST DE LA FUTURE GARE AINSI QUE LA POURSUITE DES TRAVAUX DE PAROIS MOULÉES.

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE

La construction de la gare d'Arcueil-Cachan (94) s'inscrit dans le cadre de la réalisation du tronçon T3C de la Ligne 15 du Grand Paris Express. Ce tronçon comprend la réalisation de 5 gares, 8 ouvrages annexes et le creusement de 8 km avec deux tunneliers (9,5 m de diamètre). Cette gare représente un enjeu majeur pour le projet car l'ouvrage servira, entre autres, de puits de démarrage du tunnelier en direction de la gare de Villejuif-Louis-Aragon et

de puits de sortie du tunnelier partant de l'ouvrage annexe Robespierre. Il assurera également l'acheminement et l'évacuation des déblais pendant les phases de creusement du tunnelier et le stockage des voussoirs (figure 1). La gare d'Arcueil-Cachan est implantée à l'ouest sous les voies du RER B en exploitation, au droit de la station existante et sous la rue de la Coopérative, au centre sous l'ancien marché couvert et sous l'avenue Eyrolles, et à l'est sous l'ancien hôtel Kyriad. Afin de permettre

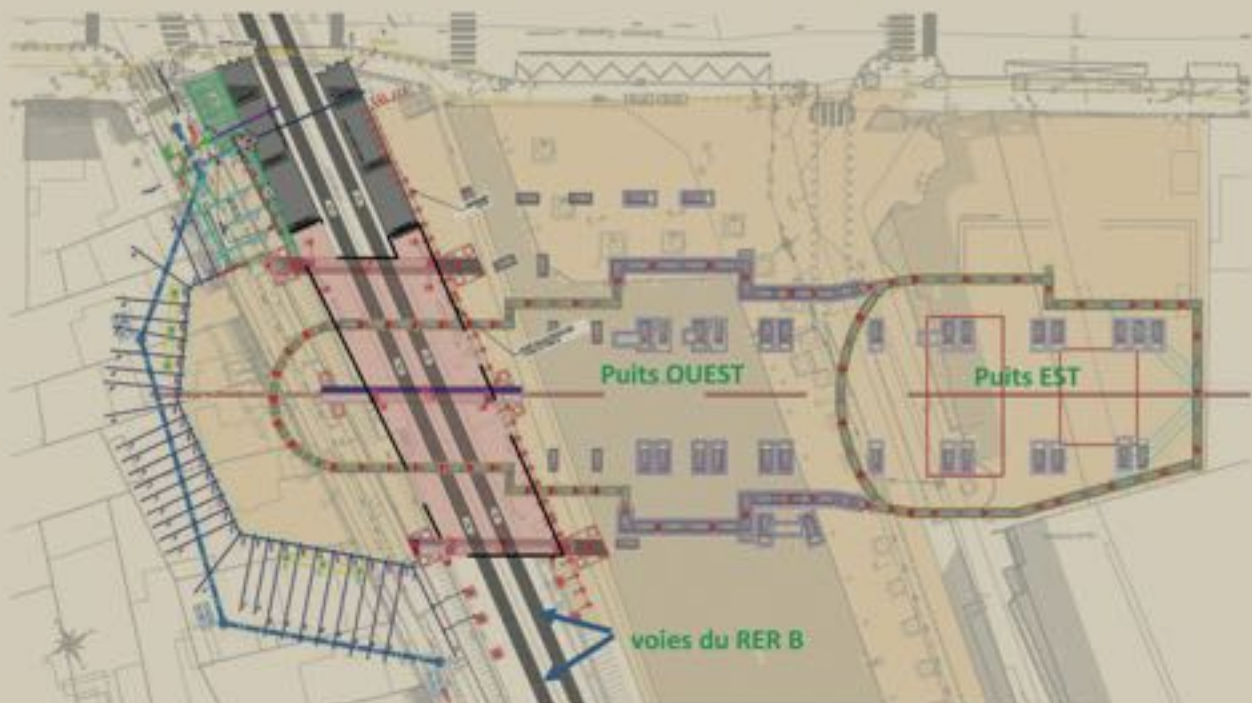
1- Vue générale  
du chantier.

1- General view  
of the site.

le montage du tunnelier en respectant les délais partiels du projet, le radier du puits Est de lancement du tunnelier a dû être terminé pour la fin de l'année 2018 (figure 2).

De 109 m de long et entre 18 m et 31 m de large, profonde d'environ 26 m au niveau des quais, la gare a vu sa construction débuter par la réalisation d'une enceinte en parois moulées depuis une plateforme à 59 NGF environ. Les travaux ont démarré en interface avec la plateforme de préfabrication du tablier Ratp à riper sous les voies du RER B afin de réaliser la gare en sous-œuvre et qui s'appuiera en définitif sur les parois moulées de la future gare. Ces travaux d'interconnexion ont

## IMPLANTATION DE L'OUVRAGE SOUS LES VOIES DU RER B



© GROUPEMENT CAP

2

été réalisés dans le cadre d'un autre marché avec la Ratp.

Dans une emprise très réduite (5000 m<sup>2</sup>) et avec un accès chantier unique, cette coactivité a engendré des adaptations importantes comme la modification de la géométrie du puits Est et l'anticipation des déviations de réseaux traversant la gare.

La réalisation de la paroi séparatrice courbe (structure provisoire permettant la "fermeture" au plus tôt du puits

### 2- Implantation de l'ouvrage sous les voies du RER B.

### 3- Interface avec le chantier RATP.

### 2- Layout of the structure under the tracks of RER B.

### 3- Interface with the Ratp project.

Est afin d'anticiper le démarrage du tunnelier) a apporté, mis à part la limitation de l'interface avec le chantier Ratp, un meilleur fonctionnement structurel de l'ouvrage et une optimisation du soutènement provisoire par la diminution du nombre de butons (figure 3).

### PUITS EST

Destiné au montage et à l'entrée en terre du tunnelier, ce puits a été cons-

truit en concomitance avec les travaux de réalisation du tablier Ratp, dans une emprise très contrainte.

Les travaux réalisés portaient sur la réalisation d'injections de prétraitement des parois moulées, des injections en gel du bouchon depuis deux emprises chantier, des travaux de déviation des réseaux, en maintenant en permanence une circulation piétonne traversant l'emprise de la gare.

### RÉALISATION DES PAROIS MOULÉES

D'une profondeur de 53 m et de 1,2 m d'épaisseur, les parois moulées ont été réalisées, en fonction du type de terrain rencontré, à l'aide de deux engins de chantier utilisés pour le creusement des panneaux de parois moulées : la benne à câbles pour les sols meubles et l'hydrofraise pour les sols durs (figure 4).

Depuis un niveau de la plateforme de travail à 59 NGF, des cages d'armatures de poids allant jusqu'à 60 t ont été mises en place et des volumes de béton de 500 m<sup>3</sup> ont été coulés (figure 5).

À ce jour, la paroi moulée est terminée à la fois pour les puits Est et Ouest. Celle-ci est instrumentée par des inclinomètres et fait l'objet d'un suivi topographique continu. Un suivi géologique et piézométrique de la fouille, ainsi que des mesures régulières du débit d'exhaure ont également été effectués.



© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS / GÉRARD ROLLANDO

3



4



5

© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS / GERARD ROLLANDO

### TERRASSEMENT À CIEL OUVERT ET POSE DES BUTONS

Une fois l'enceinte en parois moulées réalisée, le terrassement du puits Est a démarré, l'intégralité du puits étant creusée à ciel ouvert. Au fur et à mesure de l'évacuation de la terre en surface, 4 lits de butons ont été mis en place afin de soutenir les parois soumises à de fortes pressions de terre. Le système de soutènement provisoire du puits est rendu complexe par l'aménagement des trémies nécessaires aux opérations de montage et d'exploitation du tunnelier (figure 6).

Le premier lit de butonnage (55,15 NGF) est constitué de liernes métalliques en HEB 1000 et de butons métalliques

circulaires. Compte tenu de la taille des trémies et des efforts importants à équilibrer, le 2<sup>e</sup> lit de butonnage (42,20 NGF) est constitué de liernes caissons appuyées par des butons caissons (PRS) allant jusqu'à 1,5 m de haut. Afin de limiter le déplacement de la paroi moulée lors du terrassement, certains butons des deux derniers lits ont été mis en précontrainte à l'aide de vérins plats installés dans un bloc béton équipé de raccords hydrauliques. Les deux derniers lits de butonnage (38,20 NGF et 33,20 NGF) ont été déposés après la réalisation du radier et avant les opérations de montage du tunnelier (figure 7). Toute cette phase de pose de butons s'est déroulée avec une très forte

**4- Forage de la paroi moulée à la benne et à l'hydrofraise.**

**5- Équipement de paroi moulée en fibre verre.**

**6- Coupe longitudinale du puits Est et stratigraphie.**

**4- Diaphragm wall drilling by grab and hydrofraise.**

**5- Diaphragm wall equipment in glass fibre.**

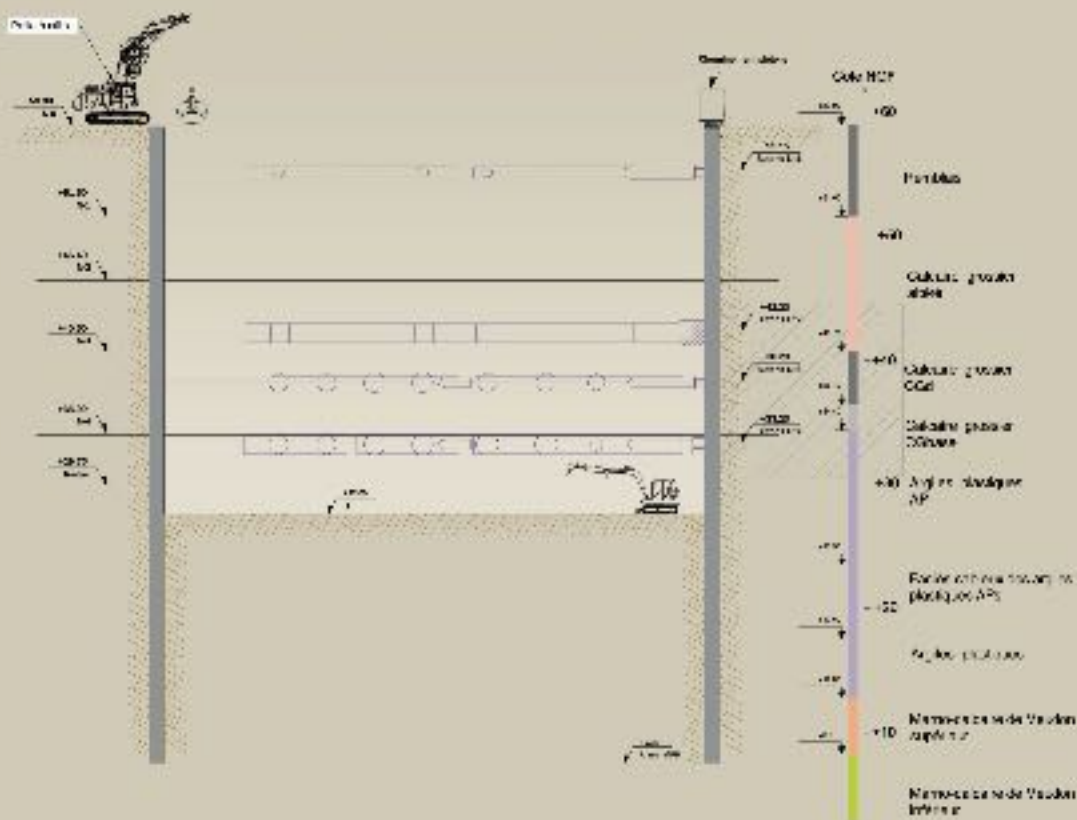
**6- Longitudinal section of the East shaft and geology of the ground.**

coactivité dans la zone. En plus du terrassement qui continuait au niveau des demi-boîtes (côté tympan ou côté paroi séparatrice), l'activité parois moulées était en cours côté puits Ouest avec la présence de deux grues de forage, la grue de manutention, les camions d'approvisionnement de cages d'armatures et les toupies de béton (figure 8).

### RÉALISATION DU RADIER

Étant donné la présence des argiles plastiques en fond de fouille (à 27,60 NGF) et donc le gonflement potentiel de ce type de terrain qui pourrait engendrer une pression sous le radier, celui-ci a été réalisé sur vide sanitaire de 50 cm. Une couche

## COUPE LONGITUDINALE DU PUIS EST ET STRATIGRAPHIE



6

© GROUPEMENT CAP

de sable de 50 cm d'épaisseur a été mise en place provisoirement, faisant office de coffrage du radier. Le sable sera ensuite pompé afin de laisser une hauteur libre aux argiles potentiellement gonflantes !

D'une hauteur variable de 1 m à 1,5 m, le radier est réalisé en béton armé C40/50, s'appuyant sur les parois moulées et sur les barrettes qui récupèrent les poteaux de la gare. Les charges dimensionnantes sont les charges des installations du tunnelier (longrines de ripage, blocs supports des trains suiveurs...) corroborées avec les 31 m d'ouverture maximale de la gare à cet endroit.

En terme d'étanchéité, la sous-face du radier ne comporte pas de couche d'étanchéité car la présence du vide sanitaire rend inutile la réalisation de celle-ci. L'ouverture des fissures en face inférieure du radier est ainsi limitée à 0,20 mm. Des trappes d'accès ont été ajoutées afin de permettre le pompage en cas de présence d'eau. Au niveau du raccordement avec la paroi moulée, des joints hydro-expansifs ont été mis en place (figure 9).

## PUITS OUEST RÉALISATION DES PAROIS MOULÉES (SOUS GABARIT RÉDUIT)

Pour le puits Ouest, une partie des parois moulées a été réalisée en gabarit réduit sous l'ouvrage Ratp en exploitation. Vu la hauteur limitée sous ouvrage (6,5 m), des machines spécifiques ont été employées pour la



7  
© ANNE CLAUDE BARBIER POUR SETEC TPI

réalisation de ces travaux (mini-cutter MBC30 et mini-benne 855 LHR), selon le même principe de fonctionnement que les machines de gabarit standard. La mise en place des cages d'armatures a été réalisée à l'aide d'une grue télescopique sur chenilles Sennebogen, équipée d'un capteur en tête de flèche qui permettait de visualiser la distance entre la tête de flèche et la sous face

**7- Lits 1 et 2 de butonnage provisoire.**

**8- Terrassement du puits pour pose du lit 3 de butonnage.**

**7- Layers 1 and 2 of temporary staying.**

**8- Shaft earthworks for placing staying layer 3.**

du tablier Ratp, afin d'éviter le heurt de celui-ci. Pas moins de 15 levées de 2,5 m de largeur et 3,5 m de hauteur et environ 450 manchons ont été nécessaires pour l'équipement d'un panneau de paroi moulée de 53 m de profondeur (figure 10).

Etant donné la hauteur limitée, le bétonnage a été réalisé à la pompe et à l'aide d'un "escargot" (colonnes de bétonnage souples sur un enrouleur), permettant de s'affranchir de la manutention sous gabarit des tubes plongeurs de bétonnage. La construction de cette partie de la gare a été réalisée simultanément aux travaux de terrassement et de la pose du soutènement provisoire du puits Est, en disposant toujours d'un accès unique (figure 11).

Ce puits est également un ouvrage de sortie du tunnelier arrivant de Robespierre. Au droit du bouchon, comme au niveau du puits Est, la paroi moulée comporte des panneaux de paroi en fibres de verre qui permettront un percement plus facile lors du passage du tunnelier.

En terme de géométrie du tympan Ouest, celui-ci est circulaire suite à une adaptation de la forme qui permet d'une part de s'éloigner de l'appui intermédiaire provisoire du pont Ratp qui sera démolé plus tard que prévu initialement et d'autre part, de réduire les sollicitations dans les panneaux de paroi moulée. Le fonctionnement en voûte (comme pour la paroi séparatrice du puits Est) a conduit également à la suppression des butons d'angle.

Afin d'éviter de causer des désordres au niveau de l'ouvrage existant et d'engendrer des perturbations du trafic, un suivi permanent s'est avéré indispensable étant donné la proximité du domaine ferroviaire. Une instrumentation de l'ouvrage et des voies Ratp a été ainsi mise en place dès les premières phases de travaux (injections préalables de prétraitement afin de limiter les pertes de boue lors de la réalisation des parois moulées, premières phases de terrassement pour atteindre la hauteur minimale à gabarit réduit sous le pont Ratp...).

Des moyens et des méthodes de prévention ont été retenus pour diminuer les risques liés à l'interface avec le RER B, comme le maintien de la grue à plus de 15 m des voies Ratp afin d'éviter l'engagement de la limite des 5 m par rapport aux caténaires ou la limitation des plots de bétonnage des parois moulées (2,80 m) et la garantie d'une prise à 36 h avant démarrage du plot adjacent afin de réduire les déformations induites à l'ouvrage ripé. ▷



8

© ANNE CLAUDE BARBIER POUR SETEC TPI



## RÉALISATION DE LA DALLE DE COUVERTURE SOUS LE RER B

### Génie civil en taupe et sortie du tunnelier

Le phasage de réalisation de la boîte Ouest est fondamentalement différent de celui du puits Est. Pour cette zone, il n'y a plus nécessité d'aller au plus vite au niveau du radier pour monter et lancer un tunnelier. L'objectif pour cette partie d'ouvrage est d'être au rendez-vous pour la sortie du troisième et dernier parcours de tunnelier entre le puits Robespierre situé à Bagneux et la gare Arcueil-Cachan : le génie civil va par conséquent être réalisé à la descente et en taupe, en conservant une trémie suffisante pour la sortie du tunnelier. Ce phasage débute par la réalisation de la dalle de couverture.

Il sera interrompu pour permettre la fin des travaux du tablier Ratp et sa mise sur appuis définitifs au droit des parois moulées de la boîte gare.

Il se poursuit ensuite avec un enchaînement de phases réalisées en taupe de terrassement, de génie civil de dalles intermédiaires et de pose de butons, pour atteindre le fond de fouille permettant la réalisation du radier sur lequel le tunnelier va déboucher depuis le tympan Ouest (figure 12).

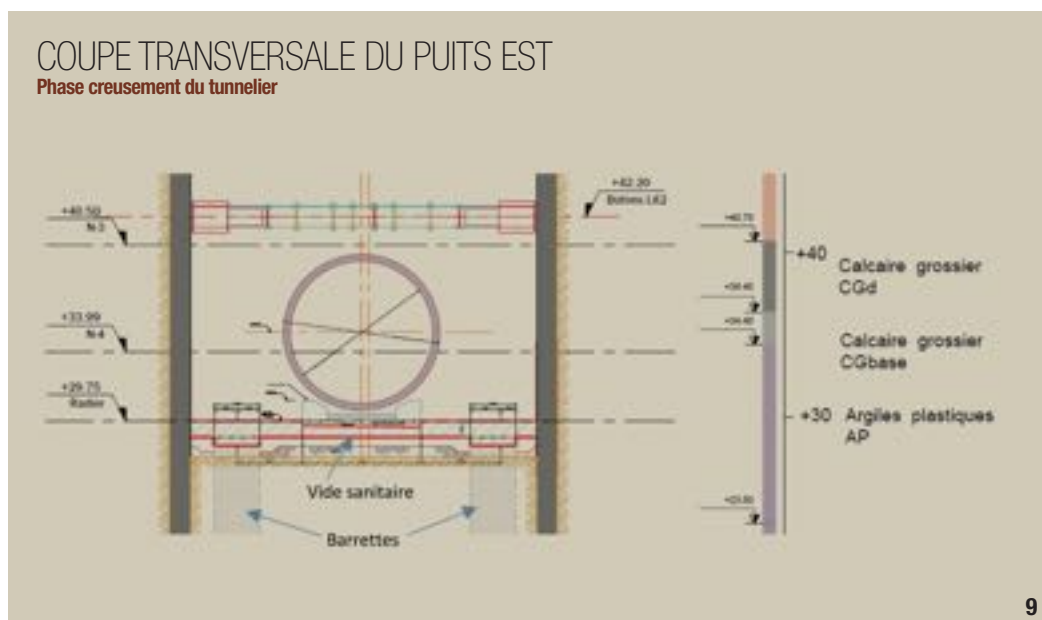
## CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

### ENVIRONNEMENT PIÉTONS

La réalisation des travaux de cette gare s'inscrit dans un environnement de flux piétons importants liés à l'interconnexion entre la gare RER B existante, qui amène des vagues de voyageurs tout au long de la journée et plus particulièrement aux heures de pointe en début et fin de journée.

Cette gare dessert en effet à la fois les communes de Cachan et d'Arcueil. Elle est déjà interconnectée au réseau de bus couvrant la zone Sud de la petite couronne francilienne. L'aménagement d'un accès au chantier par l'avenue Carnot a nécessité le déplacement de ce pôle d'interconnexion bus, après une mise au point approfondie avec les services départementaux, municipaux et Ratp. Cette gare est également fréquentée par les promotions d'étudiants de l'Estp, qui accèdent à leur campus situé au sud le long des voies RER, à l'angle des voies Marcel-Bonnet et Léon-Eyrolles.

Dans la configuration avant le démarrage des travaux de la gare Arcueil-Cachan, l'avenue Carnot et ses accès RER/bus étaient reliés au marché de Cachan et aux infrastructures de l'Estp



via l'avenue Léon-Eyrolles qui traversait les futures emprises de la gare à construire. Ce qui a ainsi conduit à en supprimer une partie et à transformer l'autre partie en une voie sans issue réservée à l'accès au chantier et aux riverains.

La ville de Cachan avait une exigence forte du maintien de cette servitude piétons pendant la totalité des phases de travaux, par le chemin le plus direct afin de limiter les distances de trajet pour les habitants, étudiants et usagers du marché. Cette servitude traversant les emprises chantier impliquait des coactivités fortes entre ces flux piétons, les zones de travaux et de survol de charges, et les accès aux emprises par les véhicules de chantier. Il en résultait un accroissement des risques. Une solution de dévoiement de cette

servitude sur une passerelle piétons en limite d'emprise à l'est a fait l'objet de négociations avec la Ville de Cachan et a été mise en place dès la fin de la réalisation des parois moulées du puits

Est en mars 2018 : cette passerelle cheminant en tête des parois moulées surplombe le puits Est, ce qui a permis aux riverains de suivre d'au plus près la réalisation du terrassement et de la pose des butons et offrira un point de vue privilégié pour le montage et le lancement du tunnelier en début d'année 2019.

**9- Coupe transversale du puits Est.**  
**10- Forage des parois moulées en gabarit réduit sous le RER B.**

**9- Cross section of the East shaft.**  
**10- Drilling diaphragm walls in a small clearance space under RER B.**

## FLUX CHANTIER

La double destination de cet ouvrage (nouvelle gare et puits de départ d'un tunnelier) a pour conséquence une concentration de flux de camions aux abords du chantier :

→ Un volume important de déblais liés à la réalisation de la gare (déblais parois moulées et déblais de terrassements) entre l'été 2017 et le début d'année 2020 ;







- Des pics ponctuels de toupies les jours de bétonnages des plots importants de parois moulées ou de parties d'ouvrage génie civil ;
- Le volume des déblais extraits par le tunnelier, dont le marinage est assuré via une bande convoyeuse débouchant sur les fosses implantées dans les emprises de chantier le long de l'avenue Eyrolles, et rechargés dans des camions pour être valorisés dans les exutoires des différentes classes de matériaux ;
- L'approvisionnement des voussoirs pour le tunnel.

**11 - Bétonnage des parois moulées à gabarit réduit sous le RER B.**

**12 - Vue 3D de la gare - Phase réalisation génie civil du puits Ouest en 2019-2020.**

**11 - Concreting diaphragm walls in a small clearance space under RER B.**

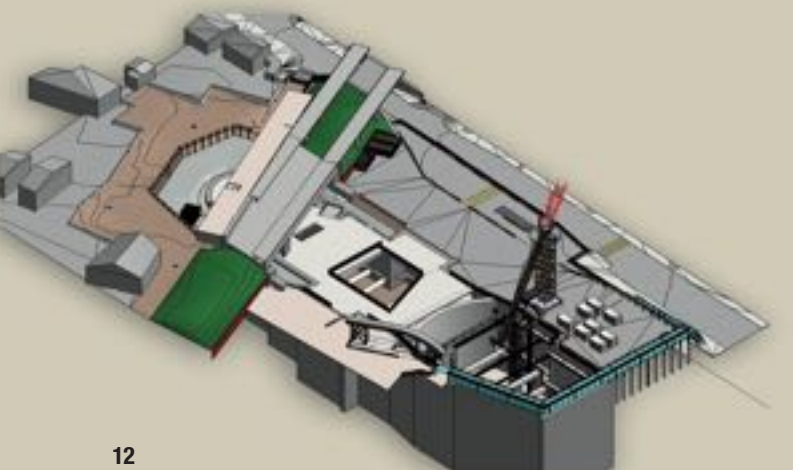
**12 - 3D view of the station - Civil works execution phase on the West shaft in 2019-2020.**

De par le recouvrement des différentes phases de travaux, ces flux ont représenté une moyenne de 120 rotations en 2018 pendant la période de coactivité des parois moulées de la boîte Ouest et du terrassement du puits Est. Ils atteindront une pointe de 200 rotations en moyenne pendant la coactivité des travaux de génie civil de la boîte Ouest et le creusement du tunnelier.

Afin de prévenir le stationnement sauvage de camions dans des zones urbaines et résidentielles à proximité immédiate de l'emprise chantier, des zones tampons d'attente pour les camions ont été aménagées le long de la RD920, régulant les arrivées sur le site par des hommes-traffic en contact et positionnés à la fois sur le site et au niveau des zones tampons. □

## VUE 3D DE LA GARE

Phase réalisation génie civil du puits Ouest en 2019-2020



12

© GROUPEMENT CAP

## PRINCIPALES QUANTITÉS

### FONDATIONS ET TRAVAUX SPÉCIAUX :

- Injections : 840 m<sup>3</sup> IRS et 530 m<sup>3</sup> gravitaire
- Forage fondations : 22 200 m<sup>2</sup>
- Béton fondations : 25 800 m<sup>3</sup>
- Acier fondations : 2 340 t et 20 t en fibres de verre

### GÉNIE-CIVIL :

- Terrassement : 86 300 m<sup>3</sup> dont 33 000 m<sup>3</sup> à ciel ouvert
- Acier butons provisoires : 2 960 t
- Béton : 22 000 m<sup>3</sup>
- Acier : 3 200 t

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Société du Grand Paris

**MAÎTRISE D'ŒUVRE :** groupement Setec (mandataire) - Ingerop et 6 architectes

**ARCHITECTE :** Ar-thème Associés

**ENTREPRISES :** groupement Cap - Vinci Construction Grands Projets (mandataire) - Spie Batignolles

**ASSISTANT À MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Artemis

## ABSTRACT

### ARCUEIL-CACHAN STATION, A STARTING SHAFT FOR THE TBM IN THE HEART OF LINE 15 SOUTH

JACK ROYER, SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS - VIORELA SEGARCEANU, SETEC - THOMAS VAESKEN, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

The future Arcueil-Cachan Station is under construction, as part of the work on Line 15 South of the 'Grand Paris Express' metro project between Villejuif-Louis-Aragon Station and Fort-d'Issy-Vanves-Clamart Station. This structure is also used in the works phase as starting shaft for the tunnel boring machine for Villejuif-Louis-Aragon Station and as TBM exit shaft from the ancillary Robespierre structure (P04) in Bagneux. It will also be used for the transport and removal of excavated material during the phases of TBM tunnel driving and storage of the segments. These TBM tunnel driving works will last for around 16 months from the spring of 2019. □

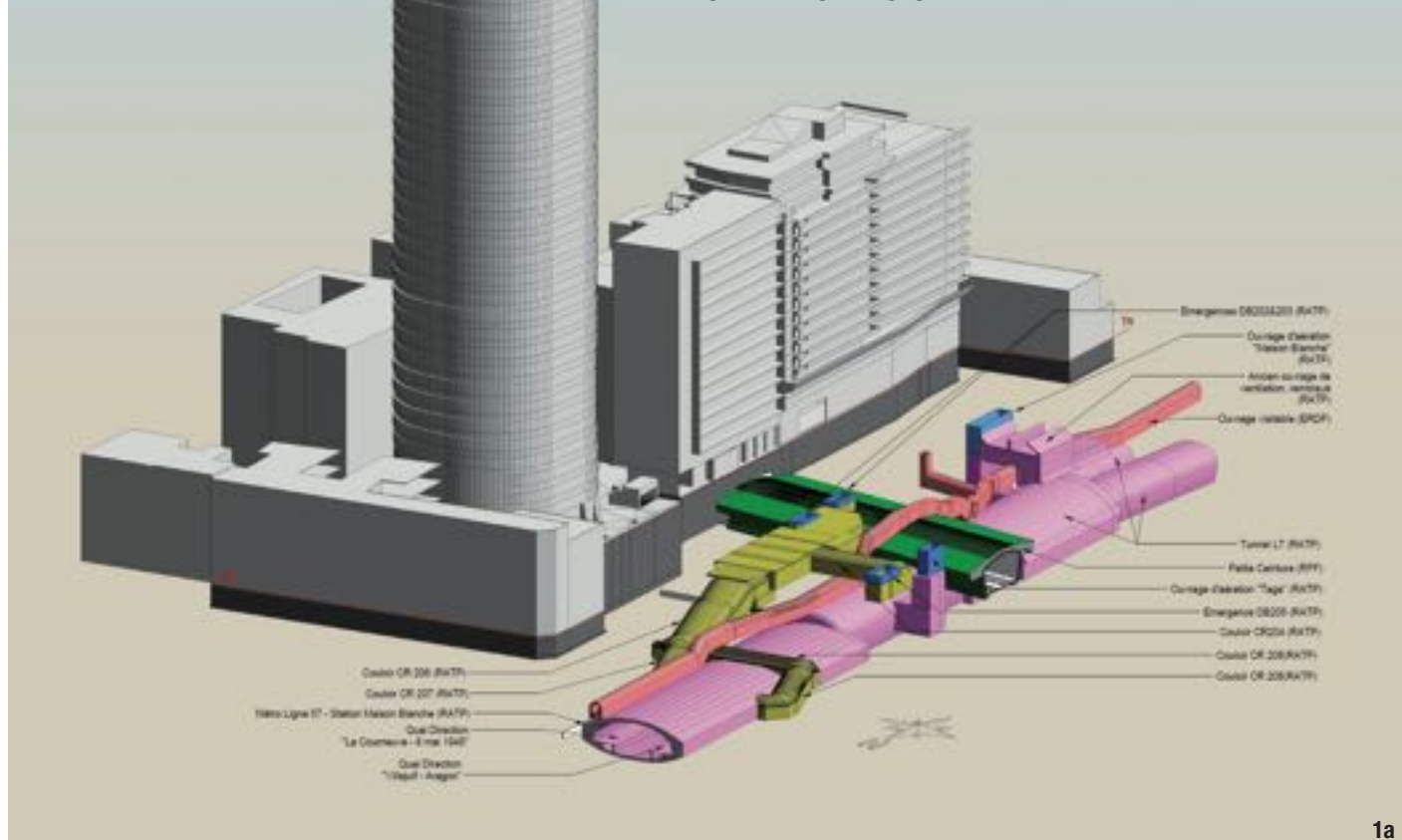
### ESTACIÓN DE ARCUEIL-CACHAN, UN POZO DE PARTIDA DE LA TUNELADORA EN EL CORAZÓN DE LA LÍNEA 15 SUR

JACK ROYER, SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS - VIORELA SEGARCEANU, SETEC - THOMAS VAESKEN, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

La futura estación de Arcueil-Cachan se encuentra en fase de realización, en el marco de la construcción de la Línea 15 Sur del Grand Paris Express (GPE), y está situada entre las estaciones de Villejuif-Louis-Aragon y Fort-d'Issy-Vanves-Clamart. Durante la fase de obras, se utiliza también como pozo de partida de la tuneladora en dirección a la estación Villejuif-Louis-Aragon y de pozo de salida de la tuneladora procedente de la obra anexa del parque Robespierre (OA P04), en Bagneux. Asimismo, permitirá el transporte y la evacuación de los escombros durante las fases de perforación de la tuneladora y el almacenamiento de las dovelas. Los trabajos de perforación de la tuneladora durarán unos 16 meses a partir de la primavera de 2019. □



## PRÉSENTATION DU SITE



1a

© PHOTO THÉRIQUE RATP

# L14 SUD GC01 GARE DE MAISON-BLANCHE - MANAGEMENT DES RISQUES

AUTEURS : YI ZHANG, DIRECTEUR TECHNIQUE ADJOINT, LÉON GROSSE - QUENTIN MARTIN-LAVIGNE, DIRECTEUR DES TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - OPHÉLIE SINAGRA, CHEF DE PROJET, SIXENSE SOLDATA - NICOLAS LAW DE LAURISTON, DIRECTEUR DE PROJET, LÉON GROSSE - MARINE LECLEF, CHEF DE PROJET, RATP

LE LOT GC01 DU PROJET DE PROLONGEMENT DE LA LIGNE 14 SUD SE SITUE ENTRE LA STATION OLYMPIADES ET LA STATION MAISON-BLANCHE. IL INCLUT UN TUNNEL DE LIAISON ENTRE LES DEUX STATIONS, LA FUTURE GARE MAISON-BLANCHE L14 ET LA CORRESPONDANCE ENTRE LA L14 ET LA L7 EXISTANTE. LES TRAVAUX DE CE LOT S'INSCRIVENT DANS UN MILIEU URBAIN TRÈS DENSE À FORTS RISQUES VIS-À-VIS DE LA GÉOLOGIE, DES AVOISINANTS ET DE L'ENVIRONNEMENT. CET ARTICLE PRÉSENTE LE MANAGEMENT DES RISQUES DU PROJET DÈS LA CONCEPTION JUSQU'À LA PHASE DE CONSTRUCTION. DES OBSERVATIONS RÉALISÉES PENDANT L'AVANCEMENT DES TRAVAUX SONT ÉGALEMENT PRÉSENTÉES POUR VÉRIFIER LES HYPOTHÈSES CONSIDÉRÉES AUX ÉTUDES.

### PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

Le projet de prolongement de la Ligne 14 Sud se situe entre la station Olympiades et le SMR au centre d'exploitation Morangis, soit environ 14 km supplémentaires de tunnel, 7 nouvelles

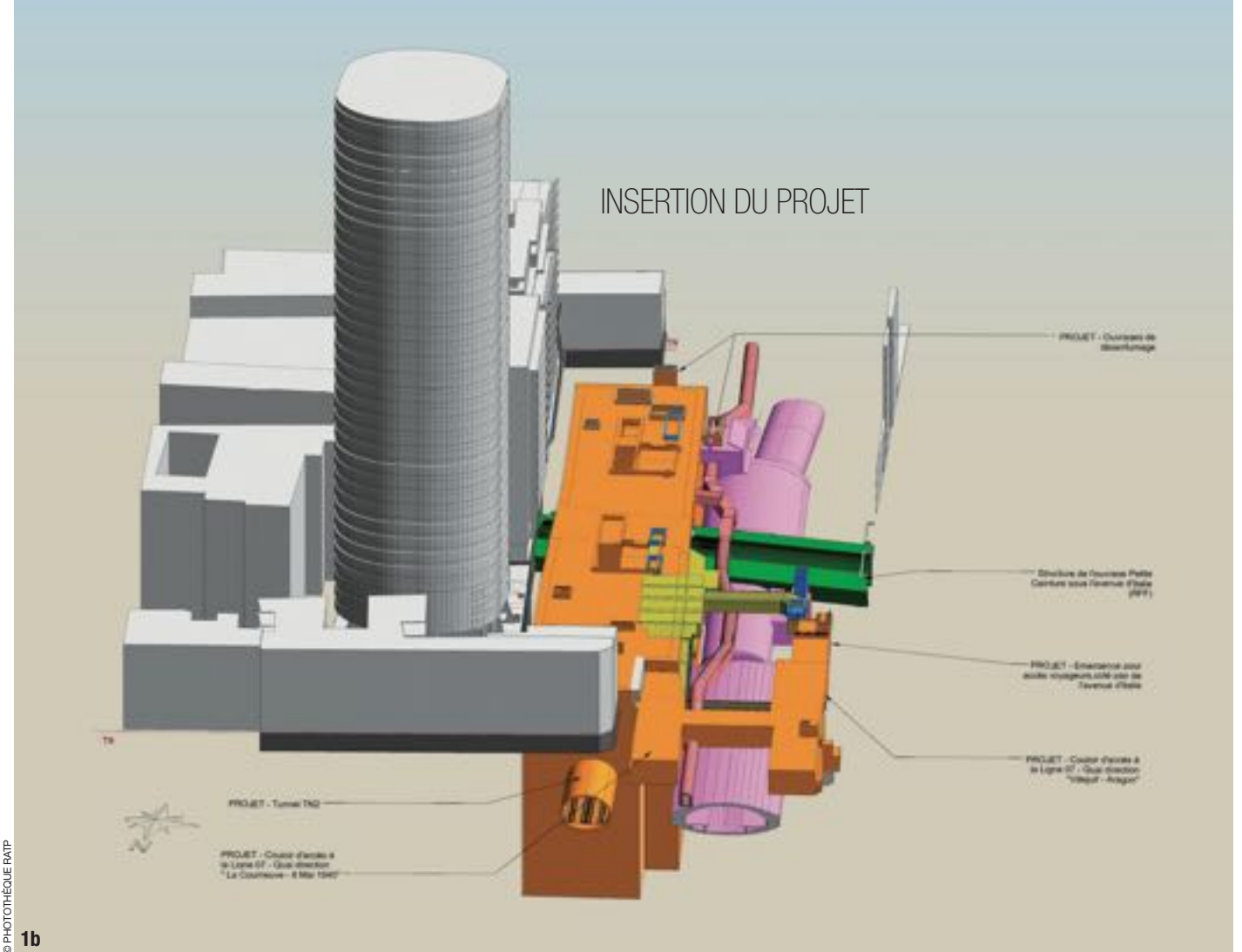
gares, 12 ouvrages annexes et 1 centre d'exploitation.

Les travaux du génie civil se composent de 4 lots, le lot GC01 a été attribué au groupement Léon Grosse/Soletanche Bachy France en février 2018. Il inclut (figure 1) :

**1a- Projet L14 Sud Lot GC01 - existant.**

**1a- Project L14 South, work section GC01 - existing.**

- Le tunnel de liaison entre le cul de sac Olympiades et la gare Maison-Blanche-Paris XIII ;
- La gare Maison-Blanche-Paris XIII (MBP) ;
- La correspondance entre la L14 et la L7 existante.



© PHOTOTHÈQUE RATP

Le tunnel TN2 reliant l'ouvrage existant est un ouvrage voûté et contre-voûté à 2 voies de 7,62 m d'ouverture, réalisé en méthode conventionnelle. Son tracé en plan comporte une courbe de 92 m de long avec un rayon de 241 m, associée à une clothoïde de 37 m de long et à un alignement droit d'une longueur de 7 m pour respec-

**1b- Projet L14 Sud Lot GC01 - projet.**  
**2a- Site urbanisé.**

**1b- Project L14 South, work section GC01 - planned.**  
**2a- Urbanised site.**

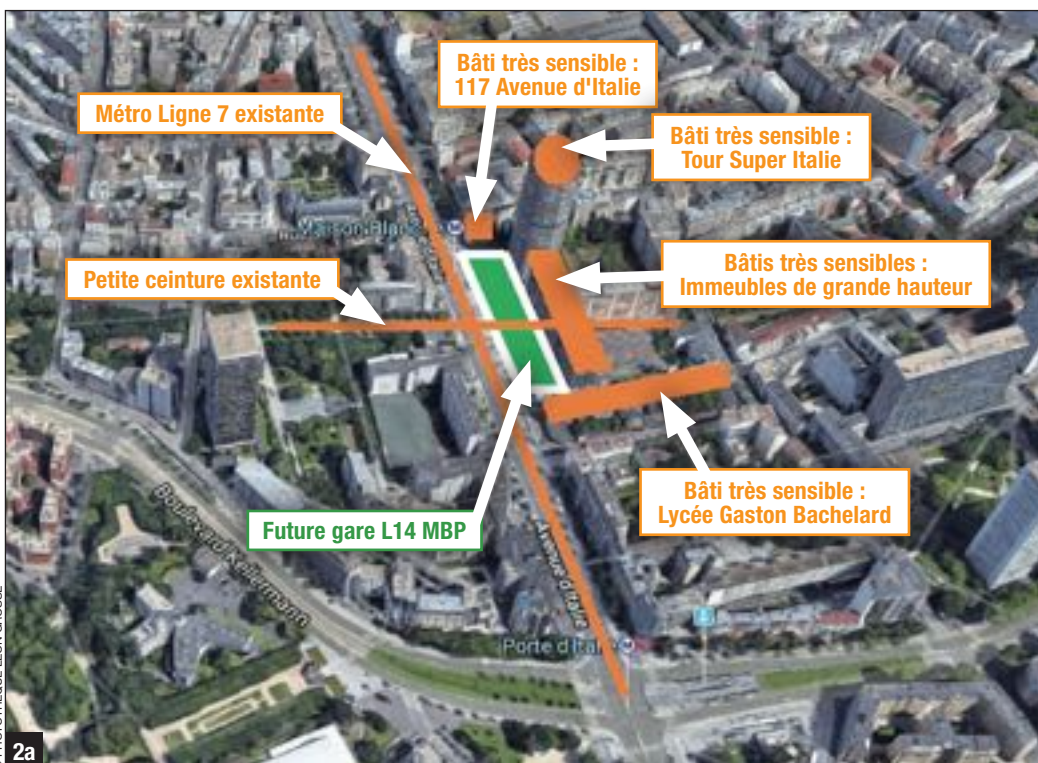
ter les critères de confort. Sa longueur totale est de 136 m. Sa profondeur varie entre 23,3 m et 18,1 m (du terrain naturel à l'intrados de la contre-voûte). Il se situe dans les calcaires grossiers et les argiles plastiques. La gare MBP est constituée d'une boîte en parois moulées quasi-rectangulaire. Les parois ont une épaisseur

de 1,5 m et une profondeur de 47 m, fichées dans la craie. L'axe principal de la gare est quasiment parallèle au tunnel du métro existant de la Ligne 7. Ses dimensions, à l'intrados des parois sont de 21,6 m de largeur moyenne en section courante, de 16 m de largeur dans la section Nord, et de 124,6 m de longueur. Sa profondeur est 23,9 m (du terrain naturel à l'arase supérieure du radier). Le radier se situe dans les argiles plastiques, un vide sanitaire de 1 m est prévu sous celui-ci.

La correspondance entre L14 et L7 est positionnée au nord de la gare MBP. Elle a une forme en H, et consiste aux accès pair et impair avec un couloir de liaison reliant ces deux parties, l'accès pair se raccorde à la Ligne 7 existante. La correspondance a une profondeur de 15,3 m, elle se situe dans les calcaires grossiers.

**RAPPEL DES RISQUES IDENTIFIÉS PENDANT LA PHASE DE CONCEPTION**

La future station Maison-Blanche-Paris XIII de la L14 s'inscrit dans un contexte en site urbain fortement contraint. C'est un projet à forts risques vis-à-vis de la géologie, de l'avoisinant et de l'environnement. Dans ce chapitre, nous rappelons des risques identifiés pendant la conception et prévus dans le marché de travaux, ainsi que certaines mesures préventives intégrées à la conception.



© PHOTOTHÈQUE LÉON GROSSE



2b



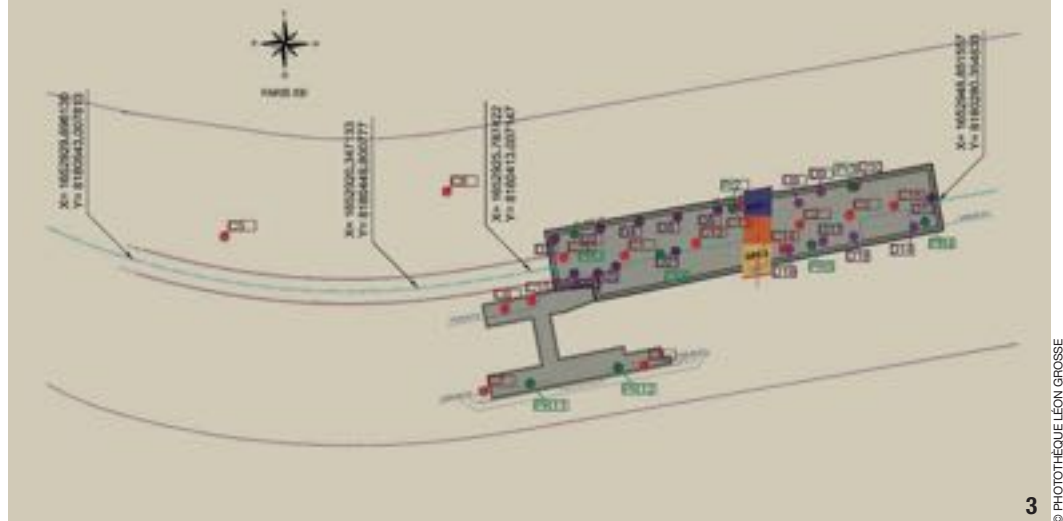
2c

© PHOTOTHÈQUE SOLETANCHE BACHY FRANCE

- 2b- Pompage et convoyeur.
- 2c- La centrale à boue.
- 3- Plan de sondages réalisés pendant mission G3.
- 4a- Vue en plan de la gare MBP.

- 2b- Pumping and conveyor.
- 2c- Slurry mixing plant.
- 3- Layout of test boring performed during assignment G3.
- 4a- Plan view of MBP Station.

PLAN DE SONDRAGES RÉALISÉS PENDANT MISSION G3



3

© PHOTOTHÈQUE LÉON GROSSE

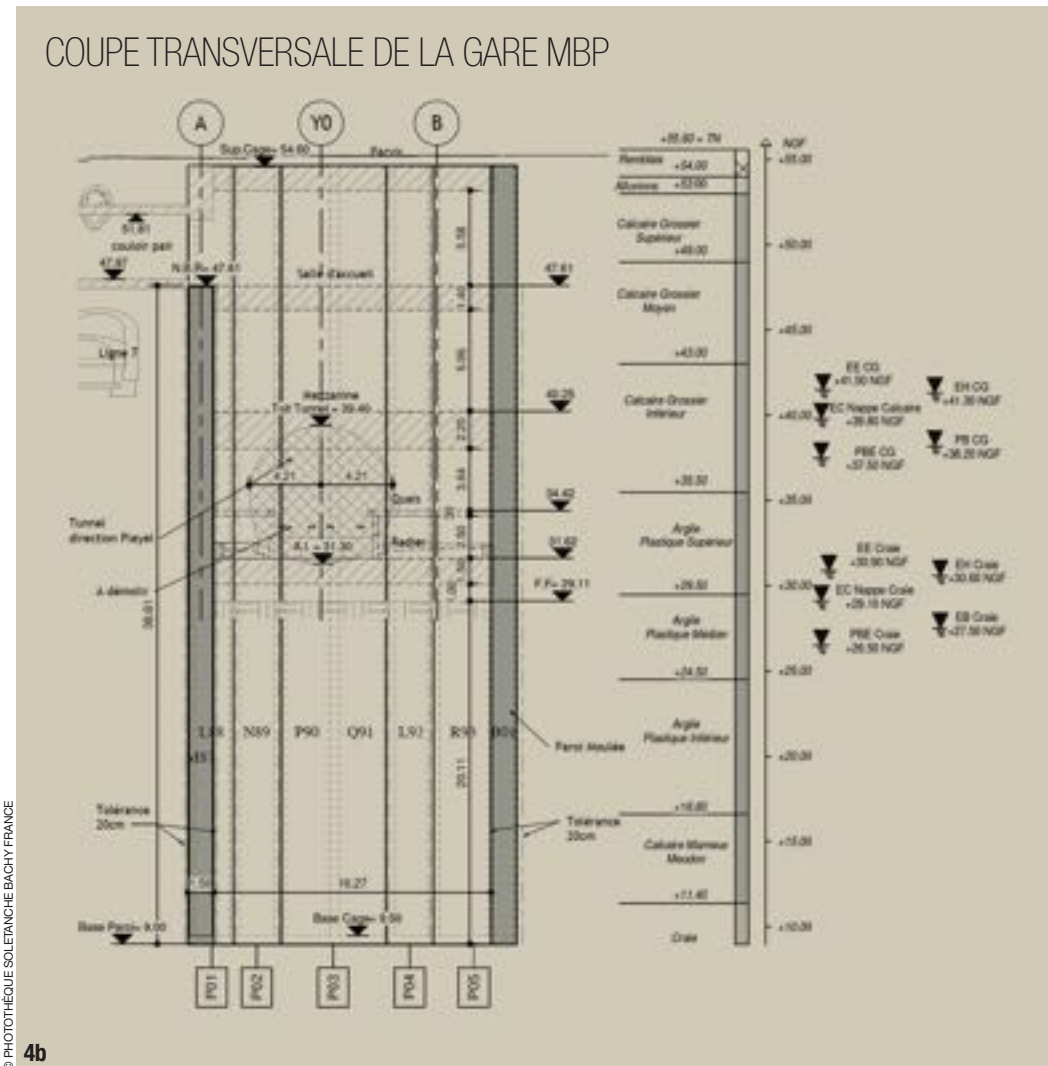
VUE EN PLAN DE LA GARE MBP



4a

© PHOTOTHÈQUE SOLETANCHE BACHY FRANCE

## COUPE TRANSVERSALE DE LA GARE MBP



## RETOUR D'EXPÉRIENCES DES PROJETS PRÉCÉDENTS

Quelques retours d'expériences des travaux souterrains réalisés dans le secteur sont disponibles, ils ont pu être pris en compte dès la phase de conception du projet.

En 1937, les travaux du garage de 510 m de long au sud-est de la station Mairie-d'Ivry de la Ligne 7 ont été réalisés, le creusement a été effectué essentiellement dans les argiles plastiques par méthode conventionnelle, un rapprochement des piédroits et un soulèvement du radier ont été constatés. Du 25 au 30 juillet 1939, le radier se brisa sous les poussées verticales de l'argile plastique. Simultanément, des poussées latérales basculaient les piédroits. Devant la gravité des désordres, il fut décidé de remblayer 237 m de souterrain au niveau de la partie accidentée. ▷

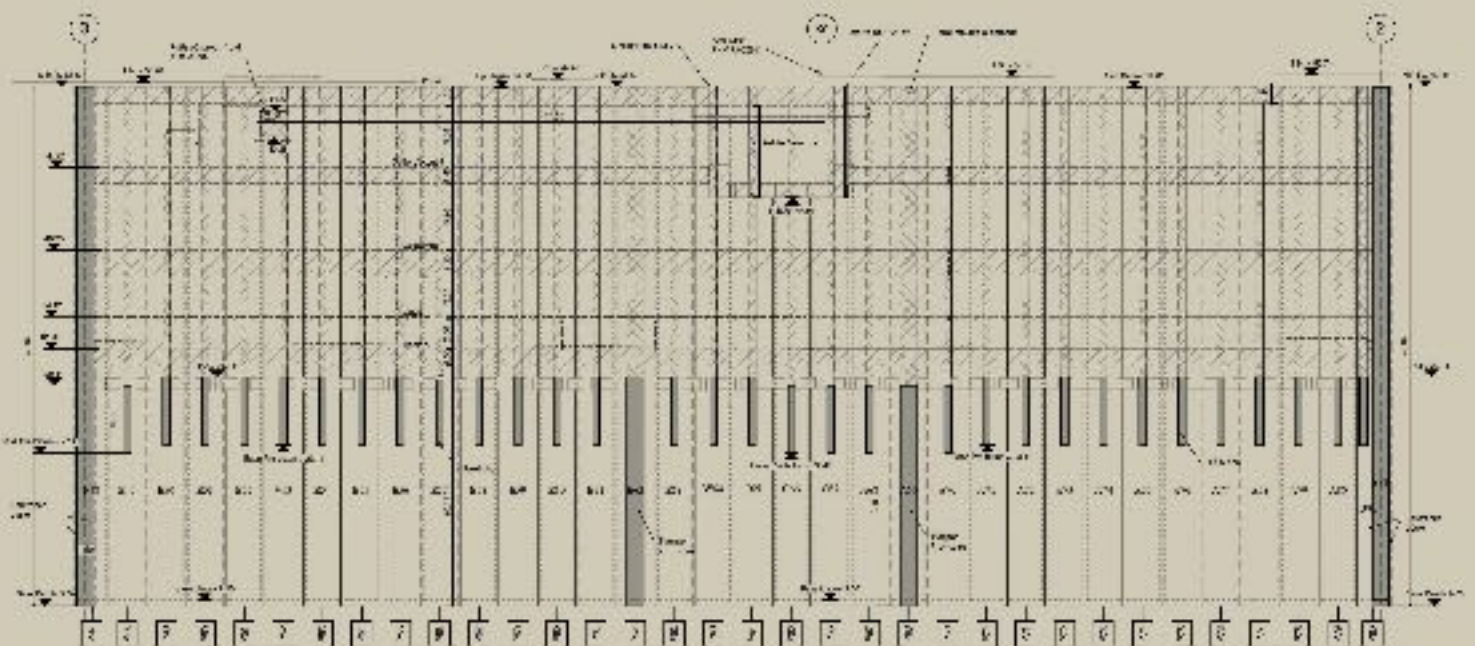
**4b- Coupe transversale de la gare MBP.**

**4c- Coupe longitudinale de la gare MBP.**

**4b- Cross section of MBP Station.**

**4c- Longitudinal section of MBP Station.**

## COUPE LONGITUDINALE DE LA GARE MBP

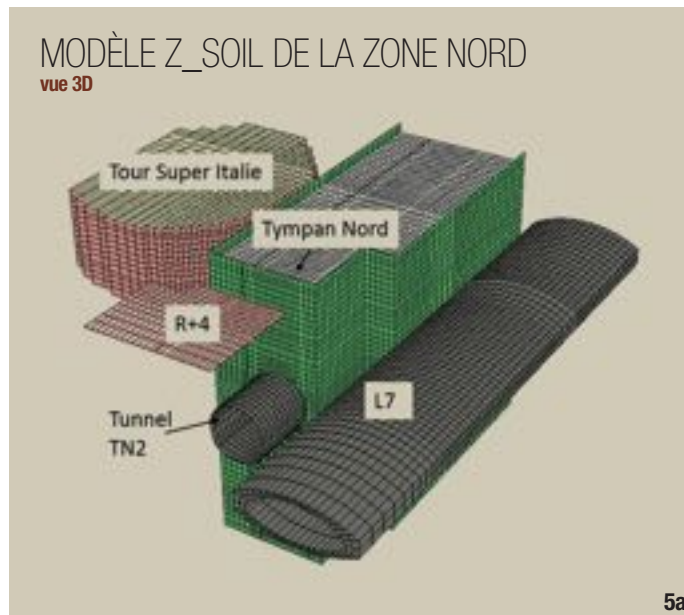


4c

© PHOTOOTHÈQUE SOLETANCHE BACHY FRANCE

Cet incident a conduit à adapter la forme du radier en contre-voûte plutôt que plane et de considérer la poussée des argiles plastiques dans le dimensionnement du soutènement et du revêtement.

En 1993, des travaux de création de collecteurs pour l'assainissement du Val de Marne ont été lancés. Dans un des puits, la galerie de recul du tunnelier (3,6 m de diamètre, 20 m de long) s'est effondrée lors des travaux de creusement en traditionnel dans les argiles plastiques. C'est le front de taille qui a cédé, au bout de 4 m de creusement, sous la pression d'eau importante d'une poche de sable située juste derrière le front de taille. L'analyse effectuée avait montré que l'accident était dû à la présence d'une poche de sables importante en communication avec les nappes hydrostatiques et d'un affaissement localisé de la couche des argiles plastiques. Les sondages réalisés depuis la surface et les reconnaissances réalisées à l'avancement du tunnel sont nécessaires pour identifier le risque de la présence de sables. En 2003, lors des travaux de prolongement de la Ligne 14, la voûte du tunnel de 14,5 m d'ouverture en construction à Olympiades s'est effondrée, entraînant la formation d'un fontis dans la cour d'une école maternelle pendant la nuit du 14 au 15 février. L'analyse menée a posteriori a conclu que les calcaires grossiers, très fracturés, avaient une qualité moindre que celle estimée et que le soutènement associé était insuffisant. Cet accident a conduit à injecter du coulis dans les calcaires grossiers au fur et à mesure



de l'avancement. Il a également conduit à adapter un soutènement lourd avec des cintres rapprochés et un revêtement plus épais.

#### ÉTUDES GÉOTECHNIQUES PRÉALABLES ET DE CONCEPTION (MISSIONS G1 ET G2)

Les reconnaissances lors des études géotechniques des missions G1 et G2 se sont étalées entre 2012 et 2017 sur 4 campagnes d'investigations différentes. Au total, 11 sondages carotés, 5 sondages pressiométriques, 4 sondages destructifs et 5 sondages pénétrométriques (CPT) ont été réalisés. Selon la synthèse du cahier B, ces études géologiques ont mis en évidence les éléments suivants :

- Le calcaire grossier supérieur est très altéré sur une épaisseur importante sans pour autant présenter de vides ou de présence de carrière, le calcaire grossier moyen est plus marneux et le calcaire grossier inférieur est raide mais fracturé ;
- Les argiles plastiques sont sensibles aux variations de teneur en eau, pouvant générer des effets associés sur le dimensionnement des ouvrages (gonflement, collage, déformation des fonds de fouille, altération des caractéristiques mécaniques, diminution de la butée mobilisable, etc.). Les caractéristiques mécaniques des argiles plastiques sont fortement liées à la profondeur ;
- L'Yprésien sableux (horizon sablo-argileux à sableux) a été reconnu localement à la base des argiles plastiques avec une nappe qui pourrait être en charge ;
- Les nappes phréatiques : nappe libre dans le calcaire grossier autour de 40 NGF, nappe captive de l'Yprésien sableux autour de 31 NGF et nappe captive de la craie autour de 28 NGF.

5a- Modèle Z\_SOIL de la zone Nord - vue 3D.

5b- Modèle Z\_SOIL de la zone Nord - coupe transversale.

5c- Modèle Z\_SOIL de la zone Nord - coupe longitudinale.

5a- Z\_SOIL model of the North area - 3D view.

5b- Z\_SOIL model of the North area - cross section.

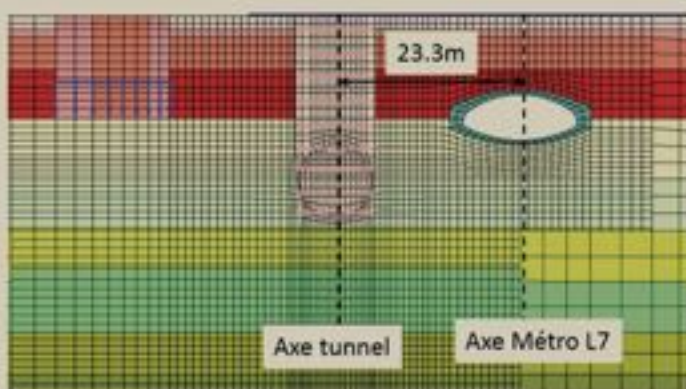
5c- Z\_SOIL model of the North area - longitudinal section.

#### CONTRAINTES SPÉCIFIQUES DU PROJET

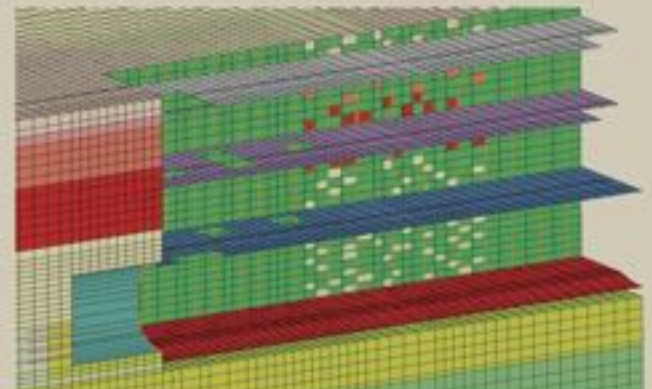
Outre des contraintes géologiques présentées précédemment, il existe d'autres contraintes spécifiques dans ce projet.

En premier lieu, l'emprise de chantier est réduite à la taille de la station dans un milieu urbain dense (figure 2), et est scindée par les accès à laisser aux mitoyens et aux pompiers.

#### MODÈLE Z\_SOIL DE LA ZONE NORD Coupe transversale

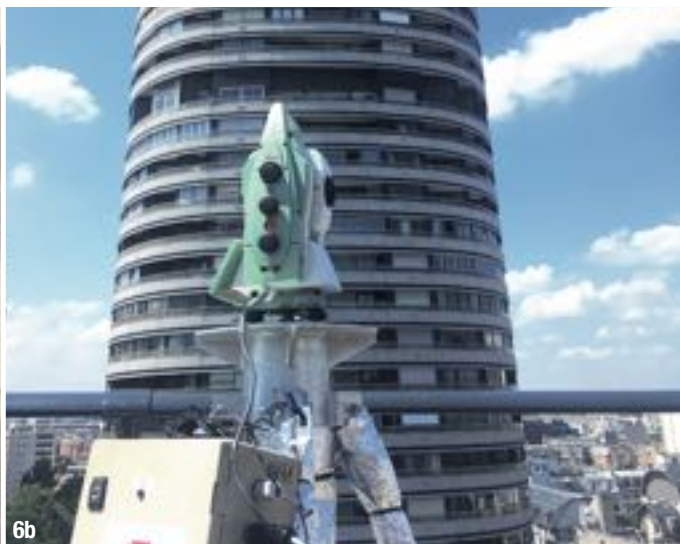


#### MODÈLE Z\_SOIL DE LA ZONE NORD Coupe longitudinale





6a



6b



6c



6d

De nombreux réseaux concessionnaires (gaz, égout, Cpcu, réseau HTA Ratp, galerie Rte/Erdf...) se situent à proximité immédiate du chantier. Une partie des installations de chantier a donc dû être déplacée dans la petite ceinture. La base vie du chantier et la centrale à béton sont situés à 300 m en contrebas du chantier, la centrale à boue de paroi moulée a été installée à 1 200 m du chantier (figure 2).

Les installations ont également dû être adaptées pour pouvoir fonctionner à distance du chantier, avec des approvisionnements plus compliqués en minimisant les risques générés :

- Pompage sur de grandes distances du béton (350 m) et de la boue (1 200 m) ;
- Dépotage des granulats de la centrale à béton à 600 m de celle-ci et acheminement par tapis convoyeur dans un tunnel de la petite ceinture ;
- Créations de chemins de conduites et aménagements pour remonter de la petite ceinture au chantier.

**6a- Théodolite et prismes dans le tunnel Ligne 7.**

**6b- Théodolite et prismes sur la tour Super Italie.**

**6c- Théodolite pour le chantier MBP.**

**6d- Capteur acoustique sur la tour Super Italie.**

**6a- Theodolite and prisms in the Line 7 tunnel.**

**6b- Theodolite and prisms on the Super Italie tower.**

**6c- Theodolite for the MBP project.**

**6d- Acoustic sensor on the Super Italie tower.**

De plus, la gestion des déblais est un des enjeux environnementaux majeurs du projet du Grand Paris Express.

Les objectifs sur la gestion des déblais de la Ligne 14 Sud GC01 sont :

- Optimiser le classement des déblais ;
- Valoriser une quantité de déblais avec un objectif minimal à atteindre, privilégiant les procédés alternatifs à un stockage ultime des déblais ;
- Assurer une traçabilité des matériaux excavés, afin de disposer de moyens de contrôle, d'ajustement et de suivi des opérations réalisées.

#### REGISTRE DES RISQUES DANS LE MARCHÉ

Depuis quelques années, les projets des travaux souterrains intègrent systématiquement un plan de management des risques (PMRi), qui a pour objectif de réduire les incertitudes affectant les données d'entrée, et par conséquent les risques résiduels, tout en étant plus réactif en cas de survenance

d'un incident en cours de travaux. Le PMRi répond essentiellement aux spécifications du nouveau fascicule 69 relatif aux travaux souterrains basé sur la terminologie et le processus de l'ISO 31000.

Le PMRi est un document contractuel. Étant un complément du CCTP, il précise la méthodologie mise en œuvre en matière de gestion des risques résiduels, tant au stade de la conception qu'à celui des travaux. Le PMRi présente la démarche d'appréciation des risques identifiés, à savoir : les matrices pour évaluer la vraisemblance, les conséquences (coût, délai, performance, sécurité personnel sur chantier, perturbation tiers, image, gravité, niveau de risque) et l'acceptabilité par le maître d'ouvrage. Le PMRi présente également les conditions de prise en charge des mesures correctives pour chaque risque résiduel.

Les risques résiduels identifiés dans le registre des risques du marché peuvent être classés en 3 catégories :

- **Géologie** : incertitude sur le comportement des argiles plastiques (déformabilité, plastification) ; incertitude sur le niveau de fissuration et d'altération du calcaire ; incertitude sur l'orientation des fractures du calcaire grossier et sa charge d'eau, etc.
- **Avoisinants** : état du tunnel et maçonnerie de la Ligne 7 existante ; incertitude sur la présence de tirants abandonnés dans le sol ; incertitude sur la sensibilité intrinsèque des bâtis en surface, etc.
- **Environnement** : nuisances sonores ; pollution des nappes ; présence d'amiante lors des démolitions, etc.

### GESTION DES RISQUES PENDANT LA PHASE DE CONSTRUCTION

Au démarrage des travaux, de nombreuses mesures ont été prises par le groupement d'entreprises pour gérer les risques pendant la phase de construction. Elles seront présentées dans ce chapitre. Une réunion mensuelle du suivi des risques a été mise en place dès le début du chantier.

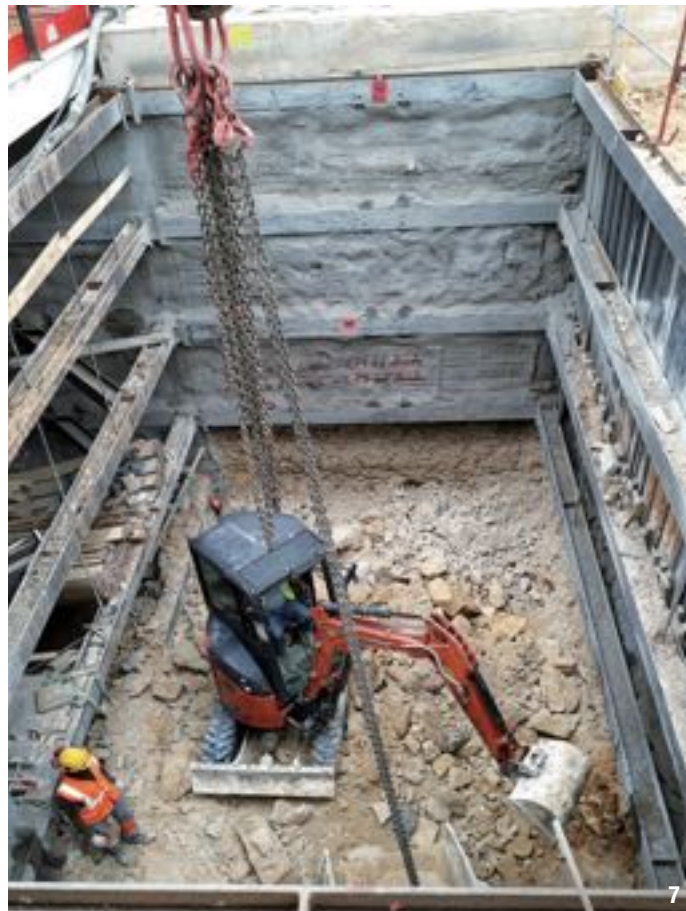
### ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION ET DE SUIVI (MISSIONS G3 ET G4)

Une mission de reconnaissances (G3) a été réalisée par le groupement entre avril et septembre 2018. Cette mission G3 vise à compléter les reconnaissances effectuées pendant les phases précédentes G1 et G2. La supervision géotechnique d'exécution (G4) est assurée par le MOE.

Au total, 14 sondages carottés, 8 sondages pressiométriques et 17 essais destructifs ont été réalisés (figure 3). De plus, de nombreux essais d'identification et de mesures des caractéristiques mécaniques ont été effectués au laboratoire, à savoir : résistance à la compression, essai Franklin, teneur en eau + poids volumique, dureté + abrasivité, granulométrie, limites d'Atterberg, teneur en carbonates, teneur en matières organiques, limite de retrait, compressibilité à l'œdomètre, gonflement à l'œdomètre, triaxial CU+U, triaxial UU.

Les résultats des sondages carottés lors de la mission G3 confirment la stratigraphie du terrain décrite au cahier B à l'issue des reconnaissances des missions G1 et G2.

Les valeurs des paramètres géotechniques sont équivalentes à celles présentées dans la synthèse du cahier B.



© PHOTO THÉÂTRE LEON GROSSE

**7- Travaux de la correspondance (accès pair zone Sud).**

**7- Connection works (South area access).**

Ces reconnaissances effectuées dans la mission G3 permettent de mettre en évidence les éléments suivants :

- Des caractéristiques plus faibles dans le calcaire grossier inférieur dans la zone du tunnel TN2 par rapport à la zone de la gare MBP, mais elles sont cohérentes par rapport aux valeurs du cahier B ;
- L'absence de la formation de l'Yprésien sableux dans la gare MBP ;
- Le caractère mécanique du potentiel de gonflement des argiles plastiques ;
- Les nappes phréatiques : nappe libre dans le calcaire grossier autour de 40 NGF, nappe captive de la craie autour de 29 NGF.

En conclusion, les résultats de la campagne de reconnaissance G3 confirment bien les risques géotechniques résiduels prévus initialement, le risque de la présence de la formation de l'Yprésien sableux s'avère faible.

### MODÉLISATION EF (2D ET 3D) ET ÉTUDES DE SENSIBILITÉ

Les simulations numériques permettent d'estimer le comportement des structures, les déformations du terrain et des bâtis avoisinants. D'ores et déjà, les modélisations aux éléments finis 2D

sont couramment utilisées pour étudier l'interaction sol-structure. Mais, les modélisations 3D demeurent réservées à des projets d'envergure.

La gare MBP est fondée sur une conception de parois moulées avec des dalles et refends (figure 4). Les refends (ou pré-butons) sont des éléments structurels dans le sens transversal de la gare (perpendiculaires à l'axe du projet) sur lesquelles prennent appui les parois moulées. Ils sont réalisés avant terrassement et sont constitués des panneaux en béton non armé en arase basse qui jouent le rôle de butons dans les argiles plastiques pour les parois moulées. Les pré-butons permettent d'assurer une butée aux panneaux de paroi moulée, contrairement aux argiles plastiques. L'étanchéité entre panneaux de parois moulées est assurée par la méthode du remordu.

Des modélisations 2D ont été effectuées pour estimer les poussées de la Ligne 7 existante lors du dimensionnement des puits blindés. De plus, la justification du tympan Nord (sans pré-butons dans le sens longitudinal) et la construction des puits d'accès pour le tunnel TN2 ont nécessité une modélisation aux éléments finis 3D. Le modèle 3D a été réalisé à l'aide du logiciel Z\_SOIL 3D (figure 5). La calibration des paramètres géotechniques et géo-mécaniques s'effectue sur une interprétation du cahier B. Les couches de sol, y compris les calcaires grossiers supérieurs très fracturés et les argiles plastiques, sont modélisées par la loi de comportement HSM (Hardening Soil Model). Les calcaires grossiers moyens et inférieurs, les calcaires marneux Meudon et la craie sont modélisés par la loi de comportement Mohr-Coulomb élastoplastique. Les calculs 3D ont permis de vérifier que les déformations des parois moulées et des bâtis avoisinants restent admissibles.

Les efforts calculés dans les parois moulées sont également utilisés pour leur dimensionnement en complément des calculs aux modules de réactions. Afin d'étudier la sensibilité des calculs 3D par rapport aux hypothèses de calcul comme les conditions drainée (long terme) ou non-drainée (court terme), le module de déformation des argiles plastiques, le frottement entre les refends et les argiles plastiques, etc., plusieurs séries d'études paramétriques ont également été réalisées, les résultats de ces études paramétriques confirment la vérification des déformations des parois moulées et des bâtis avoisinants.

### SYSTÈME D'AUSCULTATION

L'auscultation consiste en l'ensemble des mesures et des contrôles, conduits à titre préventif ou à la suite de la constatation du comportement anormal des ouvrages ou du terrain. L'auscultation peut être considérée comme une partie de la méthode observationnelle, qui est un procédé de conception continue et intégrée. Compte tenu de forts risques du lot GC01, un système d'auscultation a été élaboré et mis en place avant le démarrage rapide des travaux. Dans ce système déployé, nous pouvons distinguer deux catégories d'auscultation :

- Auscultation sur les existants ;
- Auscultation dans les ouvrages réalisés.

Les moyens d'auscultation utilisés sont :





© PHOTOTHÈQUE LÉON GROSSE  
8a

- Le système Cyclops : les théodolites automatiques permettent de faire les mesures topographiques et de suivre en temps réel les déformations ;
- Les inclinomètres, extensomètres et inclino-extensomètres : ils permettent d'ausculter les déformations des parois moulées et des terrains ;
- Les capteurs de mesures vibratoires : ces vibromètres permettent de mesurer la vibration dans les bâtis très sensibles et vulnérables ;
- Les capteurs acoustiques : ils permettent de mesurer le niveau sonore ;
- Les fissuromètres : ils permettent de suivre l'évolution des fissures constatées ;
- Les fibres optiques : ce système de mesure permet de détecter des variations de déformations sur de longs linéaires ;
- Les mesures de nivellement des voiries et des bâtis : elles permettent de contrôler les tassements ;
- Les piézomètres : ils permettent de mesurer les nappes captives ;
- Les jauges de contrainte : elles sont installées sur le soutènement et le revêtement du tunnel, et permettent de mesurer les déformations des cintres et du béton ;
- Les cellules de charge : elles permettent de mesurer la contrainte du soutènement du tunnel ;
- Les sondages de reconnaissance à l'avancement pendant le creusement du tunnel ;
- Les mesures de convergence du soutènement et du revêtement du tunnel.

**8a- Puits de démolition (BAM).**

**8b- Puits de démolition (Petite Ceinture).**

**8a- Demolition shaft (mechanical ventilation aperture).**

**8b- Demolition shaft ("Petite Ceinture").**

À présent, 11 théodolites Cyclops (5 sur les toitures et 6 dans le tunnel du métro Ligne 7), environ 1100 prismes, 11 fissuromètres, 6 vibromètres, 3 extensomètres, 5 inclino-extensomètres, 17 inclinomètres, environ 200 clous de nivellement, et 460 m de fibres optiques sont installés (figure 6).

Ce système d'auscultation permet de surveiller les mouvements des existants et les comportements des ouvrages réalisés.

#### REVUE DES RISQUES

Pendant les travaux, le groupement d'entreprises est responsable du suivi technique de l'ouvrage exécuté et de l'étude et du suivi géotechnique d'exécution.

La revue des risques permet de passer en revue l'actualisation du registre des risques. Elle s'effectue entre le groupement et le MOE au cours des réunions mensuelles suite à l'obtention de nouvelles informations ou suite à l'occurrence d'un évènement redouté. La revue des risques vise à :

- S'assurer que les moyens de maîtrise des risques sont efficaces et performants ;
- Obtenir des informations supplémentaires pour améliorer l'appréciation du risque ;
- Analyser et tirer les leçons des évènements (y compris des incidents), des tendances, etc. ;
- Détecter les changements dans le contexte interne et externe, y compris les changements concernant les critères de risque et le risque lui-même ;
- Identifier les risques émergents.

Au début des travaux, pour chaque risque du PMRi, le groupement a établi d'une part, une fiche de risque qui est ensuite mise à jour au cours des travaux et, d'autre part, un planning prévisionnel des travaux avec les risques afin de présenter les périodes où les risques sont actifs.



8b  
© PHOTOTHÈQUE LÉON GROSSE



De plus, quand des nouveaux risques sont identifiés, des fiches de nouveaux risques sont établies, discutées et soumises au MOA pour validation.

### OBSERVATIONS PENDANT L'AVANCEMENT DES TRAVAUX

Le suivi géotechnique permet d'améliorer la maîtrise de la sécurité de l'ouvrage. La comparaison entre les hypothèses considérées au niveau des études et les conditions réelles de chantier permet d'orienter les choix techniques pour être plus proche de la réalité. Dans ce chapitre, des suivis géotechniques réalisés avec l'avancement des travaux sont présentés. Grâce à ces suivis géotechniques, les hypothèses retenues pour les ouvrages réalisés ont été vérifiées. De plus, certains risques résiduels, comme la présence de tirants abandonnés, sont largement réduits.

### CORRESPONDANCE (ZONE SUD DE L'ACCÈS PAIR)

Un puits blindé de 6 casiers a été réalisé pour construire le génie civil de la zone Sud de l'accès pair. Le terrassement est réalisé à l'aide d'une grande pelle à la surface, une petite pelle au



9a  
© PHOTO THÉRIE LÉON GROSSE

fond de fouille, une benne auto-déchargeante de 2 m<sup>3</sup> et une grue automotrice de 60 t (figure 7).

Ce puits traverse les couches géologiques suivantes :

- Les Remblais (R) ;
- Les Alluvions (Ai) ;
- Les Calcaires grossiers supérieurs (CG Sup) ;
- Les Calcaires grossiers moyens (CG Moy).

Le fond de fouille du puits se situe à 48,11 NGF, dans les calcaires grossiers

**9a- Injections dans les calcaires dans la zone Nord.**

**9b- Travaux des parois moulées dans la zone Nord.**

**9a- Grouting in limestones in the North area.**

**9b- Diaphragm wall works in the North area.**

moyens. Il n'y a pas eu de venue d'eau pendant le terrassement. Les levés géologiques détaillés sont établis pour noter la nature lithologique des formations rencontrées, les données structurales importantes comme orientation et pendage, la présence de venues d'eau, etc.

### PUITS DE DÉMOLITION (CÔTÉ IMPAIR)

Plusieurs puits blindés ont été réalisés pour démolir les existants (BAM : Baie d'Aération Motorisée, galerie ErdF, tunnel de la petite ceinture) dans l'emprise de la gare MBP. Ces démolitions, avec les purges des terrains, sont nécessaires pour la construction des parois moulées. Les équipements utilisés et le mode opératoire pour réaliser ces puits sont similaires à ceux de la zone "correspondance".

Le puits pour la démolition de la BAM est le plus profond (figure 8), son fond de fouille se situe à 40,43 NGF, dans les calcaires grossiers inférieurs. Il n'y a pas eu de venue d'eau pendant le terrassement. Un sciage du rameau a été réalisé avant les travaux pour dissocier les structures de la BAM de la Ligne 7. Ce puits traverse les couches géologiques suivantes :



9b

© PHOTO THÉRIE LÉON GROSSE

- Les Remblais (R) ;
- Les Alluvions (A) ;
- Les Calcaires grossiers supérieurs (CG Sup) ;
- Les Calcaires grossiers moyens (CG Moy) ;
- Les Calcaires grossiers inférieurs (CG Inf).

Pour le puits de la démolition de la galerie Erdf, le fond de fouille se situe à 49,43 NGF, dans les calcaires grossiers supérieurs. Le fond de fouille du puits pour la démolition de la petite ceinture se situe à 45,57 NGF, dans les calcaires grossiers moyens (figure 8), un sciage au câble a été réalisé dans la voûte pour ne pas déstabiliser la partie conservée lors de la démolition. Ces travaux préalables des purges permettent d'éviter la déviation des parois moulées lors de forage, afin d'assurer leur qualité (figure 9).

## CONCLUSIONS

Le projet L14 Sud lot GC01 s'inscrit dans un milieu urbain très dense à forts risques géologiques, avoisinants et environnementaux.

Compte tenu de ces risques, le plan de management des risques est appliqué dans ce projet. En tenant compte des retours d'expérience, des études géotechniques et des contraintes spécifiques du projet, les mesures préventives ont été prises en compte dans la conception vis-à-vis de chaque risque majeur identifié.

Des mesures de mitigation sont anticipées, voire mises en place, durant les travaux. Les études géotechniques (missions G3 et G4) confirment les risques géotechniques identifiés.

Les modélisations 2D et 3D sont effectuées afin de comprendre le mécanisme



9c  
© PHOTOTHÈQUE LÉON GROSSE

de l'interaction sol-structure et d'estimer le comportement des ouvrages. Le système d'auscultation déployé et les suivis géotechniques permettent d'observer le comportement en temps réel du terrain et des ouvrages, et de les comparer par rapport aux résultats des études basées sur les modèles géotechniques.

Des études à l'aide des modélisations 3D, des auscultations complètes du site et des observations continues pendant les travaux sont mises en œuvre dans

le cadre du projet L14 Sud GC01, cet ensemble de méthodes a apporté de nombreux éléments techniques pour comprendre le comportement des sols et des ouvrages souterrains afin de mieux gérer les risques. □

**9c- Excavations en benne KS et Hydrofraise dans la zone Nord.**

**9c- Excavation by KS bucket and Hydrofraise in the North area.**

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**TERRASSEMENT : 95 000 m<sup>3</sup>**  
**BÉTON : 50 000 m<sup>3</sup>**  
**BÉTON PROJETÉ : 3 000 m<sup>3</sup>**  
**ACIERS PASSIFS : 7 000 t**  
**CINTRES : 650 t**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE (MOA) : RATP**

**MAÎTRE D'ŒUVRE (MOE) : Elios (Setec TPI, Systra, Groupe-6)**

**GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Léon Grosse (mandataire) et Soletanche Bachy France**

**SOUS-TRAITANTS PRINCIPAUX : Sept 5/GeoMod Ingénieurs Conseils (BET), Tractebel engineering (Contrôle externe), Sixense (auscultation), Cipa S.P.A. (tunnel), Ads Démantèlement (Démolitions)**

**CONTRÔLE TECHNIQUE : Apave**

**SPS : Yseis**

## ABSTRACT

### L14 SOUTH GC01 MAISON-BLANCHE STATION - RISK MANAGEMENT

YI ZHANG, LÉON GROSSE - QUENTIN MARTIN-LAVIGNE, SOLETANCHE BACHY - OPHÉLIE SINAGRA, SIXENSE SOLDATA - NICOLAS LAW DE LAURISTON, LÉON GROSSE - MARINE LECLEF, RATP

**Risk management for the Line 14 South project, work section GC01, corresponds to a very dense urban environment with high risks relative to the geology, the neighbouring structures and the environment. Based on experience feedback and geotechnical studies, the design took into account specific project constraints and certain preventive measures with regard to the identified major risks. Moreover, monthly risk monitoring meetings were organised to update the risk register and identify new risks during the works. Finally, studies using 3D modelling, comprehensive detailed analysis of the site and continuous observations during the construction phase were performed to understand the mechanism of soil-structure interaction and the actual behaviour of the soils and underground structures. □**

### L14 SUR GC01 ESTACIÓN DE MAISON-BLANCHE - GESTIÓN DE LOS RIESGOS

YI ZHANG, LÉON GROSSE - QUENTIN MARTIN-LAVIGNE, SOLETANCHE BACHY - OPHÉLIE SINAGRA, SIXENSE SOLDATA - NICOLAS LAW DE LAURISTON, LÉON GROSSE - MARINE LECLEF, RATP

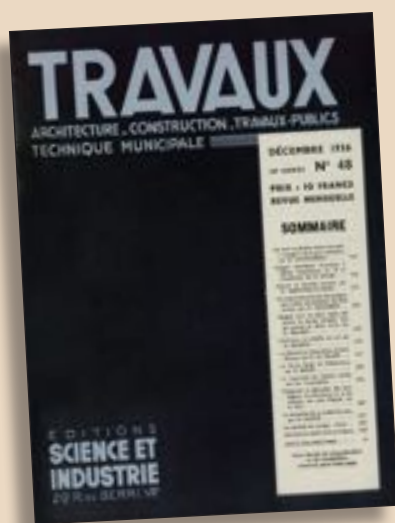
**La gestión de los riesgos en el marco del proyecto de la Línea 14 Sur lote GC01 tiene en cuenta un medio urbano muy denso con elevados riesgos en términos de geología, áreas circundantes y medio ambiente. Basándose en la experiencia y en estudio geotécnicos, el diseño ha integrado las restricciones específicas del proyecto y algunas medidas preventivas frente a los principales riesgos identificados. Además, se han organizado reuniones mensuales de seguimiento de los riesgos para actualizar el registro de riesgos e identificar nuevos riesgos durante las obras. Finalmente, se han realizado estudios mediante modelos 3D, auscultaciones completas del emplazamiento y observaciones continuas durante la construcción para comprender el mecanismo de la interacción suelo-estructura y el comportamiento real de los suelos y las construcciones subterráneas. □**



# TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LES ABRIS EN DOUBLE AUVENT DES QUAIS À VOYAGEURS DE LA GARE D'AMIENS

PAR M. CAMBOURNAC, INGÉNIEUR EN CHEF DES TRAVAUX ET DE LA SURVEILLANCE  
À LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER DU NORD  
TRAVAUX N°48 - DÉCEMBRE 1936

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR MICHEL MORGENTHALER



Nous sommes en 1935, en France. Les compagnies de chemin de fer manifestent leur préoccupation du confort des voyageurs en les protégeant de la pluie et du vent, mais seulement dans les gares importantes.

À cet effet, on érige des halls généralement métalliques comportant de grandes surfaces vitrées. Ce sont des constructions souvent remarquables, hardies et harmonieuses. Mais les locomotives à vapeur crachent des fumées qui encrassent les vitrages

et attaquent les éléments métalliques, notamment les "petits bois" entre les vitres. En outre, les dilatactions thermiques, qui souvent ne sont pas bien maîtrisées, entraînent des bris de vitres et détériorent le mastic, provoquant des défauts d'étanchéité. D'opéreux travaux d'entretien en vitrerie et peinture sont donc nécessaires.

Ces considérations ont amené la Compagnie des chemins de fer du Nord à lancer un appel d'offres pour le remplacement du hall de la gare

d'Amiens, et à retenir le projet en béton de la Société anonyme des Anciens Établissements Ed. Zublin, A. Perrière & Cie. Il s'agissait d'un double auvent en voûtes minces de béton armé, porté par des appuis distants d'environ 15 m, portée constituant une audace à l'époque. Le tracé courbe des quais impliquait des surfaces gauches sur les voûtes, rendant le dessin élégant mais la réalisation délicate. Les photographies et dessins de l'article montrent un ouvrage d'allure étonnamment moderne.

## ABSTRACT

### TREASURES FROM OUR ARCHIVES: DOUBLE-CANOPY SHELTERS FOR THE PASSENGER PLATFORMS OF AMIENS STATION

TRAVAUX N°48 - DECEMBER 1936

M. CAMBOURNAC

**We are in 1935, in France.** The railway companies show their concern for passengers' comfort by protecting them from the rain and wind, but only in the major stations. For this purpose, halls are erected, usually metallic and with large glazed surface areas. These are often remarkable structures, bold and harmonious. But the steam engines spit out smoke which makes the glazing dirty and attacks the metallic members, and in particular the glazing bars between the glass panes. In addition, thermal expansion, which is often not under proper control, causes glass pane breakage and damages the putty, causing sealing defects. Expensive glazing and painting maintenance works are therefore required. These considerations led Compagnie des chemins de fer du Nord to issue an invitation to tender for replacement of the Amiens Station hall, and to select the concrete project of Société anonyme des Anciens Etablissements Ed. Zublin, A. Perrière & Cie. This was a double canopy in thin reinforced concrete arches, carried by supports about 15 metres apart, a span length which was bold at that time. The curved layout of the platforms implied curved surface areas on the arches, making for an elegant design but difficult work performance. The photographs and drawings accompanying the article show a structure of amazingly modern appearance. □

### TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: LAS MARQUESINAS DE DOBLE TECHO DE LOS ANDENES DE VIAJEROS DE LA ESTACIÓN DE AMIENS

TRAVAUX N°48 - DICIEMBRE DE 1936

M. CAMBOURNAC

**Nos encontramos en Francia, en 1935.** Las compañías ferroviarias responden a su preocupación por el confort de los viajeros protegiéndolos de la lluvia y el viento, pero únicamente en las estaciones importantes. Para ello, se erigen vestíbulos en general metálicos con grandes superficies acristaladas. Se trata de construcciones a menudo espectaculares, atrevidas y armoniosas. Pero las locomotoras de vapor escupen humo que ensucian los cristales y atacan los elementos metálicos, en especial los marcos que separan los cristales. Además, las dilataciones térmicas, a menudo mal controladas, generan roturas de cristales y deterioran la masilla, lo que provoca fallos de estanqueidad. Todo ello requiere onerosas obras de mantenimiento de los acristalamientos y de pintura. Dichas consideraciones llevaron a la Compañía de Ferrocarriles del Norte a lanzar una licitación para sustituir el vestíbulo de la estación de Amiens, en la que resultó elegido el proyecto de hormigón de Société Anonyme des Anciens Etablissements Ed. Zublin, A. Perrière & Cie. Se trataba de un doble techo en finas bóvedas de hormigón armado, soportado por apoyos con una separación de unos 15 m, una solución muy atrevida en aquella época. El trazado curvado de los andenes requería superficies alabeadas en las bóvedas, que conferían elegancia al diseño pero complicaban la realización. Las fotografías y diseños del artículo muestran una construcción de aspecto sorprendentemente moderno. □

ÉDITION MENSUELLE  
DE  
SCIENCE ET INDUSTRIE

CH.-J. HEUDELOT \*  
Administrateur délégué

# TRAVAUX

ARCHITECTURE — CONSTRUCTION — TRAVAUX PUBLICS  
TECHNIQUE MUNICIPALE  
Pour abonnements voir tarif

29, RUE DE BERRI, 29  
PARIS (8<sup>e</sup>)

Téléphone : ÉLYSÉES 85-13 (3 lignes)

DÉCEMBRE 1936 N° 48

## Les abris en double auvent des quais à voyageurs de la gare d'Amiens

Par M. CAMBOURNAC

*Ingenieur en chef des travaux et de la surveillance  
à la Compagnie du chemin de fer du Nord*

**S**OUCCIEUSES du confort des voyageurs, les Compagnies de Chemins de fer se préoccupent, au moins dans les gares de quelque importance, de les abriter contre la pluie et le vent. À l'origine, on a construit, dans ce but, de grands halls, le plus souvent métalliques, dont certains constituent des ouvrages d'art remarquables par la hardiesse de leur conception et l'harmonie de leurs formes.

Ces halls métalliques entraînent des dépenses d'entretien élevées. Ils comportent de grandes surfaces vitrées qui s'en-creussent rapidement sous l'action des fumées des locomotives

et qu'il faut nettoyer fréquemment pour conserver aux halls leur clarté. Ces fumées attaquent, en outre, les éléments métalliques de la construction, notamment les petits bois du vitrage. Comme, d'autre part, la dilatation de ces grandes surfaces ne peut être généralement assurée que d'une manière assez aléatoire, les verres ne restent pas correctement mastiqués dans les petits bois : il tend à se produire des fuites, voire même des bris de vitres, qu'on doit conjurer par un entretien préventif ; il en résulte des dépenses élevées de peinture et de vitrerie.

En dépit de cette vigilance, on n'empêche pas à la longue



Fig. 1. — Vue des abris en double auvent des quais à voyageurs de la gare d'Amiens

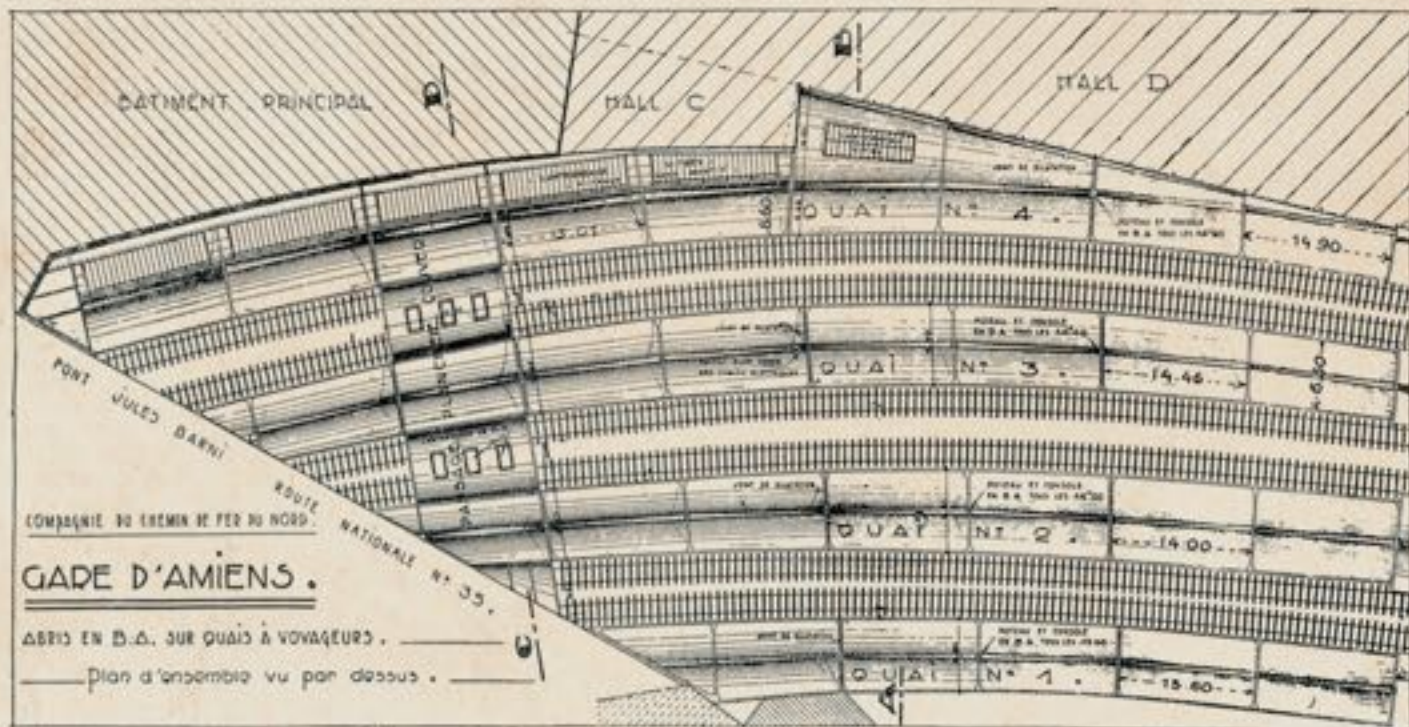


Fig. 2. — Plan d'ensemble vu par-dessus

la corrosion des éléments de la construction, qui oblige à des réparations, et à des remplacements coûteux.

La nécessité de telles réparations se faisait sentir impérieusement à Amiens où les voies et quais de la ligne de Paris à Boulogne et Calais étaient abrités par un grand hall à 3 travées de 115 m de longueur moyenne épousant le tracé courbe des voies. Construit en 1866, ce grand hall était fortement attaqué. Les multiples appuis qui le supportaient gênaient, d'autre part, la rectification de tracé qu'on se propose de réaliser dans la traversée de la gare d'Amiens en vue de relever notablement la limitation de vitesse à 40 km à l'heure, qu'imposent les courbes actuelles de sa voie.

Pour ces divers motifs, il fut décidé de le remplacer, non par un grand hall, mais par une série de portiques à double auvent couvrant individuellement chaque quai, conformément à la pratique généralement suivie à l'heure actuelle, qui conduit à de moindres dépenses d'établissement et surtout à de sensibles économies d'entretien.

Après avoir fixé le programme d'ensemble auquel ces portiques devaient satisfaire, la Compagnie du Nord en mit la réalisation au concours, laissant aux constructeurs la latitude de les constituer en métal (acier doux ou acier chrome-cuivre) ou en béton armé.

Avec l'un et l'autre matériau, le problème comportait une difficulté tenant à la courbure du tracé des quais et au fait que la largeur de ces quais n'est pas constante : les rives des auvents à écartement variable devant se situer dans un plan horizontal, et l'arête centrale, dans un autre plan horizontal, les surfaces des auvents étaient nécessairement des surfaces gauches. Il était, au surplus, assez difficile, en métal, d'éviter de donner aux rives un tracé polygonal, tandis qu'on pouvait concevoir qu'on réaliserait, en béton, des lignes de rives en courbe continue. *A contrario*, dans ce genre de construction qui n'est, après tout qu'un vaste parapluie, la construction métallique atteint à une légèreté d'aspect dont le béton armé ne paraît pas pouvoir approcher.

De nombreux projets furent présentés.

La Compagnie du Nord fixa son choix sur la solution présentée par la Société anonyme des Anciens Etablissements Ed. Zublin, A. Perrière & C<sup>ie</sup>, tant en raison de son prix avantageux que de l'application hardie et opportune qu'elle faisait, au cas particulier d'Amiens, de la construction en voûtes minces de béton armé.

Les travaux à exécuter comportaient la couverture de 4 quais présentant en plan les dispositions représentées sur le dessin n° 2.

On remarque sur ce plan que l'espacement des supports est de 15 m environ et que la largeur des doubles auvents varie de 6 à 8,60 m. Sur le côté droit de la gare, le portique du quai n° 4 doit se raccorder avec la partie conservée de l'ancien hall métallique et avec le bâtiment principal de la gare.

La figure 3 donne une coupe en travers des portiques. Chacun d'eux est constitué par deux voûtes minces de 5 cm d'épaisseur formant noue à leur point de réunion. L'ensemble des deux voûtes, en forme de V très ouvert, constitue une sorte de poutre auto-portante s'appuyant sur les poteaux espacés de 13 à 15 m. Au droit de chaque poteau, un tympan triangulaire raidit l'ensemble. En outre, pour éviter des déformations par flambage, la rive des voûtes minces est raidie par une poutre qui forme, d'autre part, bandeau décoratif.

Ce n'est, sans doute pas la première fois qu'une telle solution a été appliquée à la couverture des quais de chemins de fer, mais, à ma connaissance, la portée maximum atteinte n'avait pas encore dépassé 10 m. Faire passer cette portée à 15 m constitue une extrapolation hardie, d'autant plus intéressante que, comme il a été dit précédemment, le problème se trouvait compliqué par la forme courbe des quais et par le fait que leur largeur est variable.

Ces voûtes doivent être étanches. Ce résultat a été recherché par une mise en œuvre soignée du béton, dont la composition et la granulométrie avaient été spécialement étudiées. La surface supérieure des voûtes a reçu une couche de produit bitumineux ; cette protection a été renforcée au moyen de produits de même nature dans la noue qui doit collecter les eaux. Les eaux recueillies descendent dans les tuyaux en fibro-ciment noyés dans les poteaux.

On remarquera également sur le plan que l'ouvrage devait comporter la couverture de passages planchéiés perpendiculaires à la direction générale des quais ; cette couverture a été obtenue au moyen de voûtes minces sans tirant, reposant sur les poutres bordures des doubles auvents (fig. 4 et fig. 5).

La surface inférieure des auvents a été laissée brute de décoffrage, sans enduit : on se propose de l'utiliser comme surface diffusante pour éclairer les quais la nuit par l'éclairage indirect.

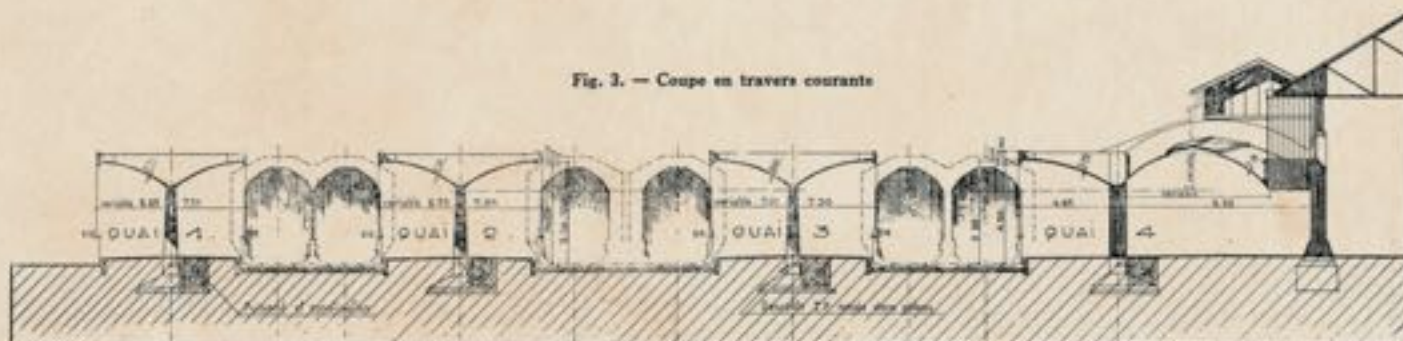


Fig. 3. — Coupe en travers courants

Les travaux ont été effectués de mai à décembre 1935. Ils ont nécessité des précautions particulières. Les échafaudages ont dû être disposés pour la plus grande partie, en porte à faux, de manière à ménager le gabarit des trains et à permettre à toute époque la libre circulation des voyageurs et des chariots à bagages. Le coffrage qui devait donner au béton laissé brut une surface lisse et unie a été réalisé en contre-plaqué approprié de 5 mm d'épaisseur : on a pu réaliser ainsi, d'une manière entièrement satisfaisante, et particulièrement économique, les surfaces gauches continues que comportait le projet. Le ferrailage était délicat ; il fallait donner aux barres d'armature leur courbure exacte et les disposer à leur place avec une très grande exactitude, en raison de l'épaisseur très mince de la voûte (5 cm) dans laquelle se croisent par endroit, jusqu'à 3 barres de 10 mm de diamètre.

Le bétonnage a été rendu difficile du fait qu'il n'était pas possible d'employer la vibration. En raison de la pente, le béton aurait coulé dans la noue et on n'aurait pu s'y opposer qu'en établissant un deuxième coffrage parallèle au premier, ce qui, en raison de la courbure et du

gauche des surfaces, était pratiquement impossible à réaliser.

Les figures 6, 7, 8, 9, et 10 permettent de se rendre compte de l'aspect des nouveaux portiques. Par la courbure régulière de leurs bandeaux de rive, moulée sur celle des voies, par la variation continue de leurs surfaces gauches, ils accusent une adaptation parfaite de la construction au problème à résoudre,

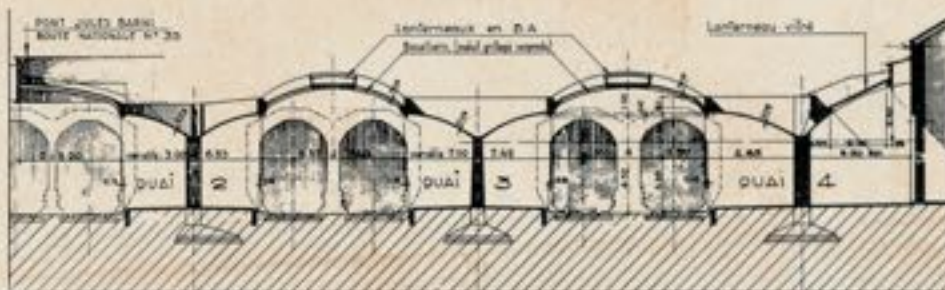


Fig. 4. — Coupe en travers par les passages planchés

et produit de ce fait, une impression beaucoup plus satisfaisante que l'ancien hall métallique. Ils prennent valeur d'élément décoratif, là où l'ancien hall n'avait plus figure que d'instrument utilitaire. Les quais y ont nettement gagné en



Fig. 5. — Vue perspective des passages planchés



Fig. 6. — Détail d'armatures des voûtes



Fig. 7. — Coffrage des membranes en contreplaqué

**NOTE SUR LES CALCULS ET ESSAIS**

M. l'ingénieur en chef Cambournac a décrit plus haut les particularités de cet ouvrage, constitué essentiellement par deux voûtes minces ou coquilles, formant noue à leur ligne de jonction, et constituant d'ensemble un V très ouvert, posé sur des poteaux espacés de 15 m.

Les calculs ont été conduits suivant la méthode habituelle de calcul des voûtes minces, c'est-à-dire, travaillant en membrane sans flexion.

Nous donnons ci-dessus un aperçu de cette méthode.

**Voûte**

Appelons :

$\psi_0$  l'angle d'ouverture de la voûte ;

$2l$  la portée de la voûte entre axes des piliers ;



Fig. 8  
Passages planchés  
sous cintres



Fig.  
Vues générales sous quai 4  
Fig. 16  
Y

clarté, et l'atmosphère s'y libère beaucoup plus rapidement qu'autrefois des fumées des locomotives.

Cette heureuse réalisation fait honneur aux ingénieurs qui l'ont conçue et aux entrepreneurs qui l'ont réalisée.

On trouvera ci-après une note de M. Schaetzel, ingénieur aux Anciens Établissements Zublin & Perrière, exposant le principe de la méthode de calcul qui a servi à l'établissement du projet.

En raison de l'extrapolation que constituait cette construction, il a d'ailleurs paru convenable, avant tout commencement d'exécution, de vérifier par un essai en vraie grandeur, les résultats des calculs. La note de M. Schaetzel rend compte de ces essais et montre l'heureuse contribution qu'ils ont apportée à la mise au point du projet.

Cambournac.





$f$  la flèche au sommet de la voûte ;  
 $b$  la largeur de la voûte entre nus extérieurs des rives ;  
 $b_1$  l'épaisseur de la poutre de rive.

Chaque coquille de la voûte présente une section transversale à fibre moyenne circulaire à tangente horizontale en son point haut.

Expression du rayon de courbure de la voûte :  $R$

$$R = \frac{(\frac{1}{2}b - b_1)^2 + f^2}{2 \times f} \sin \Psi_0 = \frac{\frac{1}{2}b - b_1}{R}$$

La théorie des voûtes minces, auto-portantes, dites coquilles part de l'hypothèse que toutes les charges sont transmises à la



Fig. 11

voûte uniquement par des efforts de tensions centrés sur la voûte ou en d'autres termes, que la voûte n'est soumise à aucun moment de flexion.

En un point quelconque de la section transversale de la voûte  $M$  :

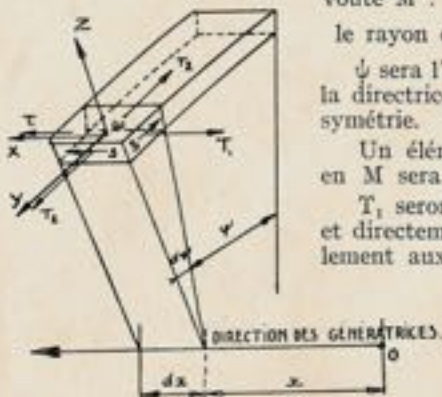


Fig. 12

le rayon de courbure étant  $R$   
 $\psi$  sera l'angle de la normale à la directrice en  $M$  avec l'axe de symétrie.

Un élément infiniment petit en  $M$  sera défini par  $d\psi$  et  $dx$ .  
 $T_1$  seront les tensions égales et directement opposées parallèlement aux génératrices ;

$T_2$  les tensions égales et faisant entre elles l'angle  $d\psi$  tangentes à la directrice à chaque bord de l'élément ;

$S$  les tensions de cisaillement agissant sur les bords de l'élément.

Les équations d'équilibre dans les 3 directions peuvent s'écrire :

Direction  $oz$

$$ZRd\psi dx = -T_2 dx d\psi$$

d'où :

$$(1) \quad T_2 = -Z R$$

Direction  $Y$   $YRd\psi dx + \frac{\partial T_2}{R\partial\psi} R d\psi dx + \frac{\partial S}{\partial x} R d\psi dx = 0$

d'où :

$$(2) \quad \frac{\partial S}{\partial x} = -\frac{\partial T_2}{\partial\psi} \frac{1}{R} - Y$$

Direction  $X$

$$\frac{\partial S}{R\partial\psi} dx R d\psi + \frac{dT_1}{\partial x} R d\psi dx + x R d\psi \cdot dx = 0$$

d'où :

$$(3) \quad \frac{\partial T_1}{\partial x} = -\frac{\partial S}{R\partial\psi} - x$$

Après intégration

$$(2') \quad S = - \int \frac{\partial T_2}{R\partial\psi} dx - \int Y dx + f_1(\psi)$$

$f_1(\psi)$  étant une constante par rapport à  $x$  et

$$(3') \quad T_1 = - \int \frac{\partial S}{R\partial\psi} dx - \int x dx + f_2(\psi)$$

$f_2(\psi)$  étant une constante par rapport à  $x$ .

### Cas du poids propre

Soit  $g$  le poids propre par unité de surface de la voûte.

$$Z = g \cos \psi \quad Y = g \sin \psi \quad X = 0$$

Dans le cas d'une voûte circulaire  $R = \text{constante}$

$$\text{et } \frac{\partial T_2}{\partial\psi} = +gR \sin \psi$$

Prenant l'origine des abscisses au milieu de la voûte et écrivant que pour  $x = 0$  :  $S = 0$

et pour  $x = l$  :  $T_1 = 0$

on obtient :  $f_1(\psi) = 0$

$$\text{et } f_2(\psi) = -\frac{l^2 g \cos \psi}{R}$$

et finalement :

$$(4') \quad T_2 = -g R \cos \psi$$

$$(5') \quad S = -2 g x \sin \psi$$

$$(6') \quad T_1 = \frac{x^2 - l^2}{2} \frac{g \cos \psi}{R}$$

Il en résulte que l'effort

$S$  est nul au sommet de la voûte ;

$S$  est maximum pour  $x = l$  et  $\psi$  maximum, c'est-à-dire aux angles ;

$T_1$  compression est maximum pour  $\psi = 0$  et  $x = l$ .

### Cas d'une surcharge $p_0$ par unité de surface horizontale

$$p = p_0 \cos \psi ;$$

$$Z = p_0 \cos^2 \psi ; \quad Y = p_0 \sin \psi \cos \psi ; \quad X = 0 ;$$

$$T_2 = -p_0 R \cos^2 \psi \text{ compression transversale ;}$$

$$S = -1,5 p_0 \sin 2\psi x \text{ effort tranchant ;}$$

$$T_1 = -\frac{3 p_0}{2 R} \cos 2\psi (l^2 - x^2) \text{ compression ou traction longitudinale.}$$

### NOU

Soit  $p$  la charge verticale totale de la noue au  $m^2$  cette charge a comme composante dans chaque voûte tangentielle à cette voûte

$$p' = \frac{1}{2} p x \frac{1}{\cos \psi}$$

En résumé, la partie basse de chaque coquille sera calculée pour une charge uniformément répartie de

$$T_2 \text{ max (poussée) } + p'$$

en continuité sur 2 travées, en adoptant pourtant pour le moment positif maximum, l'expression  $\frac{1}{10} g l^2$  pour tenir compte d'une dénivellation possible des appuis.

Contraintes admises $R_b$ .....	65	kg/cm <sup>2</sup>
$R_a'$ .....	12	kg/mm <sup>2</sup>
Cisaillement .....	6,5	kg/cm <sup>2</sup>
Adhérence .....	6,5	—

### Poutre de rive

Rien de spécial dans le calcul de cette poutre. A signaler toutefois qu'elle est calculée verticalement en continuité sur 2 travées et que dans le calcul des charges par unité de longueur ne rentrent que son poids propre augmenté du poids



éventuel de la voûte sur une largeur maximum qui a été évaluée à 50 cm.

L'absorption de la poussée à la partie supérieure de la voûte doit être vérifiée.

#### Voûte d'essai

Étant donné la portée exceptionnelle et non encore réalisée de la double voûte, l'entreprise a procédé de son propre chef à un essai préalable, grandeur nature, qui a été effectué sous le contrôle des ingénieurs de la Compagnie du Chemin de fer du Nord et avec la collaboration de M. L'Hermitte, directeur adjoint du Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics.

L'entreprise a construit sur un de ses chantiers de la banlieue parisienne, une double voûte type, de 15 ml de portée entre piliers, et 8 ml de largeur transversale.

La seule différence consistait dans la travée unique réalisée alors qu'à Amiens, les joints de dilatation établis toutes les deux travées formaient des éléments de deux travées continues, ce qui renforçait la valeur des résultats de l'essai.

Le bétonnage de la voûte fut effectué en superciment au dosage de 360 kg pour 600 l de gravillon et 600 l de sable de Seine. Il fut terminé le 20 décembre 1934 par une température moyenne de + 10° le jour et + 6° la nuit.

Le ferrailage fut exécuté en acier doux du commerce, et le coffrage des sous-faces, partie en planches, partie en treillage céramique à titre d'essai.

Toutes précautions avaient été prises pour assurer une fondation des piliers largement suffisante afin qu'aucun tassement ne vienne troubler les résultats de l'essai de charge.

Le décintrage eut lieu le 10 janvier 1935, c'est-à-dire 21 jours après la fin du bétonnage.

Les essais avaient pour but principal :

De rechercher l'influence de la présence des poutres de rive (élément perturbateur du calcul) ainsi que la tenue de l'ensemble de l'ouvrage.

Après enlèvement des échafaudages, on a mesuré à l'aide de 8 fleximètres, les flèches suivantes en 1/10 de mm :

Sous poutres de rive maximum .....	270
— noue — — — — —	83
— extrémité de console .....	90

Il a été mesuré également le tassement des fondations

Pilier Nord.....	5 1/10 de mm
— Sud .....	15 —

En outre pour juger de l'utilité de tirants éventuels dans la travée entre les deux rives, il avait été installé à deux endroits

différents et avant décoffrage, 2 fils invar qui ont accusé lors du décintrage une extension de 70 et 35 1/10 de mm.

Ensuite, il a été procédé à l'essai suivant :

La poutre de rive de 40 cm de hauteur a été renforcée par un sous-tendeur en rond de 21 mm de diamètre pour augmenter la rigidité jugée nettement insuffisante lors du décoffrage.

On a placé dans l'axe de cette poutre un vérin et la poutre a été relevée de 20 mm environ, c'est-à-dire de la flèche relative qu'elle avait prise au décintrage. On a ensuite tendu la barre de 26 mm à l'aide de 2 manchons filetés et on a enlevé l'étau qui la soutenait ainsi que le vérin.

Devant cet essai exécuté le 16 janvier 1935, on a fait les observations suivantes :

Flèche maximum au milieu de la rive 153 1/10 de mm.

Flèche maximum à l'extrémité des consoles 82 1/10 de mm.

Conclusion de l'essai du 16 janvier 1935.

Manque de rigidité de la poutre de rive dont la hauteur est portée de 40 à 65 mm.

Manque de rigidité des consoles-tympan dont la hauteur est augmentée d'emblée par la modification de la rive.

#### Essais de charge

Celui-ci fut exécuté le 20 février 1935.

Pour éviter les mouvements dus à des charges dissymétriques de la voûte pendant le chargement, on a placé en différents points de celle-ci des étaçons, puis procédé à la mise en place d'une première surcharge de 50 kg:m<sup>2</sup> à raison d'un sac de ciment par m<sup>2</sup> puis enlevé les étais :

Flèche maximum au milieu de la noue 15 1/10 de mm.

En vérifiant le même processus pour la surcharge de 100 kg par m<sup>2</sup>, il a été relevé :

Flèche maximum comme ci-dessus 60 1/10 de mm.

La surcharge imposée étant de 60 kg:m<sup>2</sup>, les essais n'ont pas été poursuivis au delà de 100 kg:m<sup>2</sup>

#### Conclusion

Des résultats précédents, on peut conclure que si pour de telles portées absolument exceptionnelles, il est utile d'avoir une poutre de rive contre les efforts de flambage du bord extérieur des voûtes, il faut construire cette poutre de façon qu'elle se porte elle-même, sans apporter d'efforts perturbateurs dans la coquille.

Schaetzel.

Pour bénéficier des prix actuels  
sans majoration

RENOUVELEZ OU SOUSCRIVEZ  
VOTRE ABONNEMENT 1937 à « TRAVAUX »

avant le 31 décembre 1936

Voir Conditions actuelles d'abonnement  
et modes de règlement



# C'est le métier qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

[www.btp-banque.fr](http://www.btp-banque.fr)

Vivre le progrès.

Together.  
Now &  
Tomorrow.

Venez nous rencontrer à

**bauma**

Munich, April 8th-14th

Plus d'informations sur  
[www.liebherr-bauma.com](http://www.liebherr-bauma.com)



\* Ensemble, Aujourd'hui & Demain.

## Les chargeuses sur chenilles Liebherr : force, souplesse et rentabilité

- Une manoeuvrabilité hors du commun
- Remarquable capacité de chargement et cycles de fonctionnement rapides
- Le nec plus ultra des cabines – Ergonomique et clair

Liebherr-France SAS  
2, Avenue Joseph Rey, B.P. 90287  
68005 Colmar Cedex  
Tel. : +33 3 89 21 30 30  
E-mail : [info.lfr@liebherr.com](mailto:info.lfr@liebherr.com)  
[www.facebook.com/LiebherrConstruction](http://www.facebook.com/LiebherrConstruction)  
[www.liebherr.com](http://www.liebherr.com)

# LIEBHERR